

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

**INFLUENCIA DE LA FERTILIZACIÓN EN DOS
ESPECIES DE PINO EN VIVERO Y CAMPO**

MITSUO HERAS MARCIAL

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS


MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO


2021


La presente tesis titulada: **INFLUENCIA DE LA FERTILIZACIÓN EN DOS ESPECIES DE PINO EN VIVERO Y CAMPO**, realizada por el alumno: **MITSUO HERAS MARCIAL**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO 
DR. ARNULFO ALDRETE

ASESOR 
DR. ARMANDO GÓMEZ GUERRERO

ASESOR 
DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, noviembre de 2021

INFLUENCIA DE LA FERTILIZACIÓN EN DOS ESPECIES DE PINO EN VIVERO Y CAMPO

Mitsuo Heras Marcial, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

El uso de fertilizantes para la producción de planta forestal en viveros es importante, ya que un régimen de nutrición apropiado mejora la calidad y favorece el desempeño de las plantas en campo. El uso de fertilizantes de liberación controlada permite suministrar los nutrimentos requeridos por las plantas durante su desarrollo, y en el vivero se pueden administrar en una sola aplicación. En este trabajo se plantea identificar los efectos directos de distintas dosis de fertilización, sobre el crecimiento de *Pinus patula* en condiciones de vivero y su supervivencia en campo.

En el vivero GUMAIR, en Acaxochitlán, Hidalgo se evaluaron ocho tratamientos con distintas combinaciones de dosis de fertilización y tiempos de liberación de nutrientes de 8 y 12 meses para ambas especies. Posteriormente las plantas se establecieron en campo para evaluar su supervivencia y crecimiento después de un año. Después de 7.5 meses de la siembra en vivero se encontró que el efecto de las dosis de fertilización fue significativo en todas las variables ($p \leq 0.0001$) en comparación con el testigo. Los tratamientos de dosis máximas (T3 y T4) mostraron valores significativamente mayores en todas las variables, el tratamiento intermedio (T8) resultó con valores similares, excepto para la altura, relación peso seco radical y aéreo y el índice de robustez. Sin embargo, este último tratamiento presentó el mayor valor promedio de Índice de Calidad de Dickson; en campo coinciden los mismos tratamientos con el mayor crecimiento obtenido después de un año de establecida la plantación y con la concentración de nutrientes en el follaje, con excepción de la variable supervivencia en donde el tratamiento T8 resultó con el mayor promedio (95%). Las plantas con características morfológicas deseadas y mejor desempeño en campo se obtuvieron con una dosis combinada de 4 g de fertilizante de 8 meses y 4 g de 12 meses de liberación para *Pinus patula* y para *Pinus teocote* en condiciones de vivero con 8 g de fertilizante de 8 meses y 4 g de 12 meses de liberación.

Palabras clave: Calidad de planta, evaluación morfológica, fertilizantes de liberación controlada, supervivencia en campo.

INFLUENCE OF FERTILIZATION IN TWO PINE SPECIES IN NURSERY AND IN FIELD

Mitsuo Heras Marcial, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

The use of fertilizers to produce forest plant in nursery is important since an appropriate nutrition regime improves the quality and favors the performance of the plants in field. The use of controlled release fertilizers allows to provide the required nutrients for the plants during their development, and in the nursery, those can be administered in one application. In this work it is proposed to identify the direct effects of different fertilizer dosage, on the growth of *Pinus patula* in nursery conditions and their survival in field.

Eight treatments were evaluated in the GUMAIR nursery, in Acaxochitlan, Hidalgo with different fertilizer dosage combinations and nutrients release period of 8 and 12 months for both species. Subsequently, the plants were established in field to evaluate their survival and growth after one year. After 7.5 months from sowing in the nursery it was found that the effect of the fertilizer dosage was significant in all the variables ($p \leq 0.0001$) in comparison with the control. The maximum dosage treatments (T3 and T4) showed values significantly higher in all the variables, the intermediate treatment (T8) resulted with similar values, except for the height, root to shoot ratio and sturdiness quotient. Nevertheless, this last treatment showed the greater average value of Dickson Quality Index; in field the same treatments coincide with the greater growth obtained after one year of establishing the plantation and with the nutrient's concentration in the foliage, with exception of the variable survival where the treatment T8 resulted in the greater average (95%). The plants with desired morphological characteristics and greater performance in field were obtained with combined dosage of 4 g of fertilizer of 8 months and 4 g of 12 months of nutrients release for *Pinus patula* and for *Pinus teocote* in nursery conditions with 8 g of fertilizer of 8 months and 4 g of 12 months of nutrients release.

Key words: Plant quality, morphological evaluation, controlled release fertilizers, in field survival.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado para realizar mis estudios de maestría.

Al todo el personal académico y administrativo del Colegio de Postgraduados por su apoyo profesional durante mi estancia.

Al Dr. Arnulfo Aldrete por su profesionalismo y disposición para ser mi consejero académico y por su amistad.

Al Dr. Armando Gómez por sus valiosas enseñanzas académicas y por sus observaciones para lograr realizar esta investigación.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez por su disposición para ser mi asesor académico y por sus enseñanzas.

A la familia Vargas, en especial a la Lic. Irma Vargas por su apoyo para realizar esta investigación en su etapa de vivero.

Al Ing. Saúl Neri por su apoyo en esta investigación en la etapa de campo.

A mis compañeros por su apoyo en las actividades de campo en la realización de esta investigación, en especial a Vicente García.

DEDICATORIA

A la mujer más perfecta que he conocido en mi vida, porque a pesar de las adversidades, me enseña a levantarme y seguir siempre adelante con paso firme, a ti mamá.

A mi prima María Elena por impulsarme y enseñarme que con esfuerzo y dedicación los sueños se cumplen.

A esas personitas que me motivan a ser mejor cada día y a los que tanto quiero:
Jalil y Misrain.

A mi amigo José Luis Cubas por compartir grandes enseñanzas, ser mi amigo y ahora mi ángel que sé me cuida desde donde quiera que él esté.

A Francisco Leyva Garibay, por ser un gran apoyo en la realización de esta investigación, por ser mi amigo y por estar siempre.

A mis amigos: Rosa María, Javier, Eber, Jared, Rocío por todo su apoyo siempre.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos particulares	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3.1. Descripción de las especies producidas	3
3.1.1. <i>Pinus patula</i>	3
3.1.2. <i>Pinus teocote</i>	5
3.2. Fertilización para crecimiento y desarrollo de las plantas	7
3.3. Tipos de fertilizantes	8
3.4. Fertilizantes de liberación controlada.....	9
3.5. Uso de los fertilizantes de liberación controlada en viveros forestales.....	10
3.6. Uso de fertilizantes en plantaciones forestales	11
4. MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1. Etapa de vivero	12
4.1.1. Área de estudio.....	12
4.1.2. Insumos utilizados	13
4.1.3. Tratamientos establecidos.....	13
4.1.4. Manejo de insumos y condiciones de producción.....	14
4.1.5. Variables evaluadas	15
4.1.6. Diseño experimental y análisis estadístico	16
4.2. Etapa de campo.....	16
4.2.1. Área de estudio.....	16
4.2.2. Establecimiento y manejo de la plantación.....	18
4.2.3. Variables evaluadas	19
4.2.4. Diseño experimental y análisis estadístico	20
5. RESULTADOS.....	20
5.1. Evaluación de planta en vivero	20

5.1.1.	Características morfológicas de <i>Pinus patula</i>	20
5.1.2.	Características morfológicas de <i>Pinus teocote</i>	22
5.2.	Evaluación de planta en campo	24
5.2.1.	Supervivencia	24
5.2.2.	Contenido nutrimental.....	26
5.2.3.	Crecimiento de la plantación	28
6.	CONCLUSIONES	29
7.	LITERATURA CITADA.....	30
8.	ANEXOS	36
	Anexo I. Crecimiento de planta de <i>Pinus patula</i> después de 7.5 meses de establecida en vivero, por tratamiento.	36
	Anexo II. Crecimiento de planta de <i>Pinus teocote</i> después de 7.5 meses de establecida en vivero, por tratamiento.	36
	Anexo III. Planta de <i>Pinus patula</i> establecida en campo en Cuaunepantla, Hidalgo, después de 12 meses de plantación.	36

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1.** Dosis utilizada por tratamiento para producción en vivero y desarrollo en campo para *Pinus patula* y *P. teocote*. 14
- Cuadro 2.** Valores estadísticos promedio y comparación de medias por tratamiento, para las variables morfológicas medidas a las plantas de *Pinus patula* después de 7.5 meses de la siembra. 21
- Cuadro 3.** Valores estadísticos promedio y comparación de medias por tratamiento, para las variables morfológicas medidas a las plantas de *Pinus teocote* después de 7.5 meses de la siembra. 23
- Cuadro 4.** Porcentaje de supervivencia promedio en campo por tratamiento, en tres evaluaciones (4, 9 y 12 meses después de la plantación) en *Pinus patula*..... 25
- Cuadro 5.** Valores promedio por tratamiento, de la concentración de los principales nutrimentos en follaje de las plantas de *Pinus patula*, después de 9 meses de establecida la plantación. 27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de <i>Pinus patula</i> : A) conos femeninos, B) árbol adulto, C) ramillas y acículas, D) corteza de árbol adulto. Fuente: enciclovida.com.....	4
Figura 2. Morfología de <i>Pinus teocote</i> : A) árbol adulto, B) conos, ramillas y acículas. Fuente: enciclovida.com.....	6
Figura 3. Localización del vivero GUMAIR. Fuente: Google Earth Pro (2021).	13
Figura 4. Localización del sitio de plantación de <i>Pinus patula</i> . Fuente: Google Earth Pro (2021).	17
Figura 5. Localización del sitio de plantación de <i>Pinus teocote</i> . Fuente: Google Earth Pro (2021).	18
Figura 6. Crecimiento promedio en altura por tratamiento al momento de la plantación (gris claro) y 12 meses después (gris oscuro).....	28
Figura 7. Crecimiento promedio en diámetro por tratamiento al momento de la plantación (gris claro) y 12 meses después (gris oscuro).....	29

1. INTRODUCCIÓN

Las reforestaciones en bosques de clima templado promovidas por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) a través de los distintos apoyos que ofrece, tuvieron un nivel promedio de supervivencia en campo de 63.77%, en el año 2018. Sin embargo, en las zonas en donde se llevan a cabo las reforestaciones, los valores de supervivencia de la planta son altamente variables debido a la presencia de sequía, heladas, pastoreo y diversos factores ambientales; otro factor que es decisivo para la supervivencia en campo es la calidad de la planta, especialmente en términos del contenido nutrimental que se obtiene durante la producción en vivero (CONAFOR, 2018).

Una deficiencia nutrimental moderada puede ocasionar un estrés fisiológico en la planta, reduciendo el crecimiento y ocasionando alteraciones en su morfología. Las plántulas con una nutrición adecuada alcanzan mejores tallas especificadas para cada especie por los estándares establecidos en cada vivero. El efecto de la fertilización en las plántulas dependerá del tipo, dosis, forma y época de su aplicación (Radwan *et al.*, 1971; Landis y Dumroese, 2009).

Rodríguez (2008) refiere que el control de la calidad de la planta se debe ver de dos formas: una para obtener ciertos estándares morfológicos y fisiológicos, que denotan la calidad de la planta y otra que está relacionada con la especificación de dichos estándares en la evaluación en campo, los cuales en México han sido poco evaluados e investigados.

El uso de fertilizantes en los sistemas de producción de planta forestal en los viveros de México es de suma importancia, ya que un régimen de nutrición apropiado mejora la calidad y favorece el desempeño de las plantas en campo (Landis y Dumroese, 2009). A pesar de ello, los procedimientos y rutinas de fertilización particulares para cada especie se desconocen, así como el efecto del contenido nutrimental de las plántulas al salir del vivero sobre su desempeño en campo.

El uso de fertilizantes permite suministrar los nutrimentos requeridos por las plantas durante su desarrollo y en condiciones de vivero se puede regular su aplicación

(Landis, 1989), contribuyendo así a producir plantas de calidad, lo cual se puede traducir en una elevada supervivencia tras su establecimiento en campo.

Los fertilizantes de liberación controlada permiten suministrar los nutrientes requeridos por las plantas durante su desarrollo, y en el vivero se pueden administrar en una sola aplicación. Esto simplifica el proceso de producción, reduce los costos de mano de obra y minimiza las pérdidas por lixiviación durante la aplicación de los riegos (Landis y Dumroese, 2009).

Los fertilizantes referidos presentan un potencial para aumentar la competitividad de las plantas forestales para una variedad de sitios de reforestación. Sin embargo, existe un pobre conocimiento sobre ellos, sobre sus patrones de liberación, sus mecanismos de interacción con los medios de crecimiento (Rose *et al.*, 2004) y sobre su interacción con la calidad de la planta, así como su supervivencia y crecimiento inicial en campo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Identificar los efectos directos de distintas dosis de fertilización sobre las características morfológicas de *Pinus patula* Schl. et Cham y *P. teocote* Schiede ex Schltld. en condiciones de vivero y su supervivencia y crecimiento en campo.

2.2. Objetivos particulares

- Probar el efecto de diferentes concentraciones de fertilizantes mezclados en los sustratos para la producción de *Pinus patula* y *P. teocote*.
- Determinar las concentraciones de N, P y K en el follaje de las plantas producidas.
- Analizar la supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus patula* y *P. teocote*.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Descripción de las especies producidas

3.1.1. *Pinus patula*

Pinus patula es un pino endémico de México, comúnmente conocido como ocote, ocote colorado, ocote liso, pino colorado, pino chino, pino de México y pino triste (Monroy, 1995), a nivel internacional se le conoce como “Spreading-leave” o “Mexican weeping pine” (Farjon, 2010). En México existen dos variedades de esta especie, *Pinus patula* y *P. longipendunculata* Loock ex Martínez, la primera con una distribución desde la Sierra Madre Oriental hasta la Sierra de Pápalos en Oaxaca y muy escaso en Chiapas (Dvorak, 2002), mientras que la segunda se distribuye de manera natural en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, Hidalgo, Veracruz, Puebla, Tlaxcala y Oaxaca (Velázquez *et al.*, 2004).

El árbol alcanza una altura de 30 a 35 m y de 50 a 90 cm de diámetro. Su copa es abierta y redondeada, tronco recto y libre de ramas hasta una altura de 20 m, con una raíz profunda y poco extendida, la corteza en árboles jóvenes es delgada, de textura escamosa y coloración rojiza, en individuos maduros es gruesa, agrietada y de tonalidad oscura, aunque en bajas temperaturas conserva las características de los árboles juveniles (Perry, 1991). Las ramillas son delgadas y caídas, presentan cuatro y rara vez cinco acículas, de entre 15 a 25 cm, con uno a cuatro canales resiníferos, márgenes finamente aserrados y color verde pálido a verde amarillento (Wormald, 1975). Los conos masculinos tienen un pedúnculo corto, son ovoides-oblongos a cilíndricos, de 1 a 2 cm de longitud; se originan en las ramas como en el tronco en grupos de hasta 10 o más; la floración se presenta de finales de febrero a principios de marzo, llegando a su madurez a mitades del mes (Vela, 1980). Los conos femeninos son fuertes, persistentes y seróticos, cafés lustrosos, cónicos y ligeramente curvados, de 7 a 10 cm de longitud. La polinización y maduración de semillas dura de 18 a 24 meses (Velázquez *et al.*, 2004).



Figura 1. Morfología de *Pinus patula*: A) conos femeninos, B) árbol adulto, C) ramillas y acículas, D) corteza de árbol adulto. Fuente: enciclovida.com

Es una especie que presenta su nicho ecológico en los bosques mesófilos de montaña, esto debido a la ocurrencia de nubes y neblina. Crece en áreas con suelos profundos (> 60 cm). Puede presentarse en masas puras o asociado con otras especies como *Pinus teocote* Schiede ex. Schltdl. Et Cham., *P. ayacahuite* Ehrenb. Ex Schltdl., *P. douglasiana* Martínez, *P. leiophylla* Schiede ex. Schltdl. Et Cham., *P. maximinoi* H. E. Moore, *P. pseudostrobus* Lindl., *Quercus* spp., *Liquidambar styraciflua* L., *Cupressus benthamii* Endl., *Juniperus* spp., *Abies religiosa* (Kunth)

Schltl. *Et Cham.* Y rara vez con *P. greggii* Engelm. Ex Parl. Y *Taxus* sp. (Perry, 1991; Dvorak, 2002; Velázquez *et al.*, 2004).

Pinus patula crece en diversas exposiciones dentro de su distribución natural, sin embargo, se ve favorecido en exposiciones este, noreste y sureste del país debido a los vientos que entran desde el Golfo de México (Vela, 1980). En cuanto a la temperatura se menciona por Gillespie (1992), que en su área de distribución varía de 10 a 18 °C de temperatura media anual.

Vela (1980), menciona que la especie prospera en suelos profundos con Ph ácido, relación C:N alta, contenido de calcio alto, potasio y fósforo bajo, materia orgánica abundante, pobres en arcillas, con buena humedad e infiltración y elevada capacidad de intercambio catiónico.

Por su potencial productivo y capacidad para adaptarse a diferentes condiciones climáticas y edafológicas, es ampliamente utilizado para la producción de madera de aserrío y de material celulósico (Gómez *et al.*, 2012). El género *Pinus* es el más utilizado en las plantaciones a nivel mundial y la especie mayormente utilizada para este fin es *Pinus patula*, la cual ha sido introducida en varios países del hemisferio sur (Dvorak, 2002).

3.1.2. *Pinus teocote*

Pinus teocote es comúnmente conocido como ocote, ocotl, pino real, pino chino, pino rosillo, jalocote; esta especie tiene una amplia distribución, es endémica de México y común en las regiones intertropicales y subtropicales del país (Gernandt y Pérez, 2014). En el sur del país, el fenotipo de la especie es de mala calidad y crece en laderas de grava o rocas bastante secas, en Durango y Nuevo León se identifican rodales de muy buen aspecto en sitios húmedos y bien drenados, en altitudes donde ocurren heladas durante los meses de invierno esta especie ha sobrevivido (Martínez, 1948).

Es un árbol de talla mediana, alcanzando una altura de 10 a 20 m, con tronco recto y a veces bifurcado y de un diámetro promedio de 75 cm, su copa es amplia y redondeada, Perry (1991) menciona que este árbol adopta una copa redonda

cuando es adulto y piramidal cuando es joven, corteza pardo.rojiza o grisácea con resina. Hojas rígidas erectas en fascículos de 2 a 5 la mayoría de 3, de 6 a 18 cm de largo, con márgenes aserrados. Conos femeninos en grupo de 2 a 3, algunas veces solitarios, persistentes, con pedúnculo corto, pardo oscuros o grisáceos, ovoides a ovoides cónicos, de 3 a 6 cm de largo; semilla alada, triangular de 3 a 4 mm de largo y de 2 a 3 mm de ancho, color café oscuro. La liberación de polen ocurre en abril y mayo, mientras que la época de maduración de frutos de octubre a enero (Critchfield y Little, 1971).



Figura 2. Morfología de *Pinus teocote*: A) árbol adulto, B) conos, ramillas y acículas. Fuente: enciclovida.com

Su distribución altitudinal esta de los 1,000 a los 3,000 msnm (Perry, 1991). Prospera en ares con una precipitación de 600 a 1,500 mm anuales y temperaturas de 14 a 38 °C. La especie está adaptada a los climas subhúmedos a húmedos y a sitios secos, crece mejor en suelos francos y francos arcillosos, bien drenados, pero

también ocurre en suelos secos y rocosos, sin alcanzar un tamaño comercial (Donahue, 1991).

En el centro y sur del país *P. teocote* es morfológicamente similar a *P. lawsonii*, mientras que en el norte se asemeja a *P. arizonica* (Martínez, 1948). Los árboles pueden tener brotes epicórmicos en el fuste. Se encuentra asociada en el sur con *P. leiophylla*, *P. lawsonii*, *P. arizonica*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. patula*, y *P. rudis* (Perry 1991). En el norte se asocia con *P. arizonica*, *P. cembroides*, *P. cooperi*, *P. chihuahuana* y *P. engelmannii*. Sin embargo, en el centro de México esta especie se encuentra en rodales puros.

La madera de este árbol es utilizada en la construcción en general. Se utiliza localmente como postes y para leña, además de su resina es utilizada para el tratamiento de enfermedades inflamatorias (Escobar, 1999).

3.2. Fertilización para crecimiento y desarrollo de las plantas

El crecimiento de los árboles está determinado por la eficiencia fotosintética, la respiración y la distribución de los componentes de biomasa, los cuales están en función de la genética de cada árbol, así como del clima y el suelo, que a su vez regulan la disponibilidad de agua y nutrientes (Fox *et al.*, 2007). Al subsanar algún factor limitante (luz, agua o nutrientes), el crecimiento se verá afectado positivamente (Mengel *et al.*, 2001).

La fertilización es una práctica que tiene como objetivos, el fungir como fuente adicional de nutrientes, para subsanar los requerimientos de los cultivos de alto rendimiento, restituir los nutrientes extraídos por cosecha o perdidos por lixiviación y promover la resistencia a factores bióticos y abióticos (Salgado y Núñez, 2012).

La fertilización influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas, afectando tanto parámetros fisiológicos como morfológicos. Probablemente, más que ninguna otra práctica de cultivo, con la posible excepción del riego, la fertilización controla tanto la tasa como el tipo de crecimiento. Un programa de fertilización para un vivero forestal donde se produce en contenedores deberá diseñarse para mantener

concentraciones específicas de los diferentes nutrientes minerales por especie y para permitir los cambios necesarios durante el ciclo del cultivo (Landis, 1989).

Tradicionalmente la fertilización en vivero forestal se realiza en cuatro etapas: germinación, crecimiento inicial, crecimiento rápido y lignificación o endurecimiento (SEDAGRO, 2007).

En especies forestales en campo, la fertilización se realiza para producir una mayor cantidad de madera, ya sea en volumen o peso, procurando minimizar el deterioro de su calidad y en otros casos para promover la producción de semillas (Smethurst, 2010).

Se han determinado cuatro etapas de aplicación de fertilización de acuerdo con su utilidad en campo: la primera en el establecimiento de una plantación, la segunda al momento del cierre de copas, cuando se muestran deficiencias nutrimentales por suelo deficiente de nutrientes, la tercera cuando se realizan aclareos y la cuarta puede realizarse entre 3 y 10 años antes de la cosecha para incrementar el volumen final (Evans y Turnbull, 2004).

3.3. Tipos de fertilizantes

Un fertilizante es cualquier material, natural o sintético, que contiene al menos el 5 % de cualquiera de los tres nutrientes primarios (en forma de $N-P_2O_5-K_2O$) y son sustancias que promueven la nutrición del suelo para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Salgado y Nuñez, 2012).

La presentación de los fertilizantes es muy variada. Dependiendo del proceso de fabricación, pueden ser de diferentes tamaños y formas: gránulos, píldoras, cristales, polvo de grano grueso o compacto. Los fertilizantes se agrupan en categorías: a) sólidos, b) ultrasolubles, c) líquidos y d) gaseosos. Su aplicación puede ser directamente al suelo, al follaje o a través del riego. De acuerdo con el tipo de aplicación se presenta la eficiencia, teniendo que el aplicado directamente al suelo, las pérdidas son del 50 % o más del total del contenido nutrimental (FAO y IFA, 2000).

En los árboles, se estima que el N puede perderse entre 10-20 % por volatilización o lixiviación y 70% quedarse en el suelo; el P tiene tasas de recuperación del 30%, quedando fijado o inmovilizado en los componentes del suelo y el K tiene tasas variables, perdiéndose por lixiviación o quedando fijado a arcillas con un posterior aprovechamiento (Salgado y Núñez, 2012; Binkley y Fisher, 2013).

El uso de fertilizantes tradicionales en campo en México ha demostrado ser efectivo, reportándose efectos positivos en el crecimiento (López y Estañol, 2014); sin embargo, la eficiencia al ser aplicados directamente al suelo varía entre 5 y 25 % (Salgado y Núñez, 2012), por lo que se promueven nuevas tecnologías que crearon a los fertilizantes de liberación controlada como una alternativa de aplicación y para reducir las pérdidas (Chandra *et al.*, 2019).

3.4. Fertilizantes de liberación controlada

Los fertilizantes de liberación controlada son los que no liberan el 100 % de los nutrientes en el momento de su aplicación, sino que los liberan gradualmente, a lo largo de periodos determinados, en función de la temperatura, la humedad, la actividad microbiana, la composición química y la porosidad del suelo, o de los sustratos donde se aplican (Rose *et al.*, 2004). Son fertilizantes sólidos que contienen los macronutrientes principales (N, P y K), en algunos casos combinados con Ca, Cu, Fe, Mg, S, B, Mo y Zn. Su envoltura de polímeros permite el paso del agua hacia el interior para disolver los nutrientes y ser liberados paulatinamente (Landis, 1989).

La composición de los fertilizantes de liberación controlada está hecha por una sal base y una cobertura que permite la liberación lenta de la sal base por hidrólisis, degradación o difusión, en un periodo que varía de 3 hasta 18 meses. Chandra *et al.*, (2019) mencionan que algunas ventajas de este tipo de fertilizantes son: menos pérdidas por lixiviación, disponibilidad de los nutrientes desde el inicio del crecimiento de las raíces y menor tiempo y energía para la absorción.

Otras ventajas al utilizar este tipo de fertilizantes son: evitan quemar a la planta o las hojas por exceso, minimizan el daño a semillas o plántulas por exceso de sales, se pueden distribuir, manejar y almacenar de mejor manera, su utilización se pueda dar en vivero, campo e invernadero, disminuyen pérdidas por lixiviación, altas temperaturas o luz, no generan toxicidad, reducen el tiempo y la energía para su absorción, tienen una mayor eficiencia de uso, se aplican en menor frecuencia, reducen la mano de obra y tienen mayor disponibilidad de los nutrimentos al inicio del crecimiento de las raíces (Rose *et al.*, 2004; Landis y Dumroese, 2009; Ali y Danafar, 2015; Chandra *et al.*, 2019).

El uso de este tipo de fertilizantes se ha dado mayormente en la producción de planta en vivero, aunque también se han reportado usos en aplicación en campo (Jacobs *et al.*, 2003; Haase *et al.*, 2006; Landis y Dumroese, 2009).

3.5. Uso de los fertilizantes de liberación controlada en viveros forestales

Aguilera *et al.*, (2016), produjeron *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada y evaluaron la efectividad de tres fertilizantes (Basacote Plus, Multicote y Osmocote Plus) combinados con dos sustratos (con aserrín (S1), compuesto de aserrín de pino compostado, corteza de pino compostada y vermiculita (70:15:15); y con turba (S2), compuesto por turba de musgo, perlita y vermiculita (60:20:20)), dichos autores mencionan que después de 9.5 meses de siembra, el efecto por el sustrato, fertilizante y dosis fue significativo en el diámetro del tallo, el peso seco aéreo, el peso de la raíz, el peso seco total y la relación peso seco aéreo / peso seco de la raíz.

En el mismo estudio, la concentración de N, P y K en el follaje aumentó con el nivel de los fertilizantes. En 16 de 18 tratamientos se obtuvieron plantas con diámetro medio mayor a 6 mm. Los fertilizantes retuvieron entre 15 y 45 % de N, P, K; Basacote retuvo la cantidad mayor de éstos. En el segundo sustrato con 8 g·L⁻¹ de alguno de los fertilizantes (Basacote, Multicote, Osmocote) las plantas tuvieron las características morfológicas recomendables para usarlas en una plantación y las

concentraciones mayores de N, P y K en el follaje. La producción de plantas con calidad alta es posible mediante el uso de fertilizantes de liberación controlada combinados con turba de musgo o aserrín de pino, como componentes principales en las mezclas de sustrato (Aguilera *et al.*, 2016).

En otro estudio realizado por Hernández *et al.* (2013), se evaluó el crecimiento de plántulas de *Pinus montezumae* Lamb. producidas en contenedor en mezclas de sustratos compuestas con corteza de pino y aserrín que formaron nueve mezclas y un tratamiento testigo (60 % turba + 20 % perlita + 20 % vermiculita), y se determinaron características físicas y químicas. En donde se obtuvo que se puede reducir de manera significativa o incluso eliminar el uso de turba como sustrato en la producción de planta forestal.

Para *Pinus patula*, Guzmán (2017) evaluó el efecto de cuatro sustratos (S1= 1:1, aserrín y corteza; S2= 2:2:1, aserrín, corteza y lombricomposta; S3= 1.5:1.5:2, aserrín, corteza y lombricomposta; S4= 3:1:1, turba de musgo, perlita y vermiculita) y tres dosis de fertilizante (3, 5 y 7 g L⁻¹) de Osmocote Plus 15-9-12 de 8 a 9 meses de liberación en las características morfológicas y concentración de nutrimentos en el follaje, también se valoró el costo del sustrato y las dosis de fertilizante por litro. Los resultados mostraron que tres de los sustratos poseen características apropiadas para producir planta en contenedor; además, adicionando una dosis de 7 g L⁻¹ a S1 y S2 se producen plantas con características morfológicas dentro de los estándares de calidad a un menor costo.

3.6. Uso de fertilizantes en plantaciones forestales

La productividad de las plantaciones está relacionada con varios factores, dentro de los que destacan la calidad de planta producida en vivero, la preparación del sitio de plantación, el control de la densidad, el manejo de la calidad del suelo, la fertilización y la biotecnología, al tener estas prácticas se pueden obtener rendimientos de hasta 3.5 veces mayores a los registrados en bosques naturales (Munsell y Fox, 2010).

Lázaro *et al.* (2011) en su estudio de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en un latizal de *Pinus patula* de 10 años de edad en Aquixtla, Puebla, probaron que se puede incrementar la productividad forestal en campo al mejorar la disponibilidad nutrimental mediante la fertilización, y recomiendan para las condiciones edáficas y climáticas del sitio una dosis de 185-0-0 kg ha⁻¹ de NPK para volumen de follaje nuevo y 138-0-0 kg ha⁻¹ de NPK para peso seco.

Jackson *et al.* (2011) en una investigación realizada sobre la respuesta de plántulas de *Pinus palustris* al suministro de nitrógeno en contenedor en vivero y sus efectos posteriores en el rendimiento de la plantación, sugieren que una tasa de aplicación de aproximadamente 3 mg N por semana durante 20 semanas más dos aplicaciones adicionales durante la etapa de endurecimiento, producen un crecimiento satisfactorio en el vivero, así como una respuesta favorable en campo.

Para *P. radiata*, Albaugh *et al.* (2004) encontraron que el efecto de la remoción de malezas (en bandas, durante los 2 primeros años) y en combinación con la preparación del suelo y la fertilización (27-32, 30-36 y 1.5-1.8 kg ha⁻¹ de N, P y B) generó respuestas estadísticamente significativas en el diámetro al cuello de la raíz (entre 43 y 155% más), diámetro a la altura de pecho (entre 29 y 406% más) y altura total (25 a 125% más que el control) en comparación con la preparación del suelo y la fertilización de manera individual (27-32, 30-36 y 1.5-1.8 kg ha⁻¹ de N, P y B), después de 3 años de establecidas.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Etapa de vivero

4.1.1. Área de estudio

La investigación en la etapa de vivero se desarrolló del 30 de enero al 18 de septiembre de 2020, en el vivero forestal "GUMAIR", ubicado en el municipio de Acaxochitlán, en el estado de Hidalgo (Figura 1), a una altitud de 2,400 m y localizado en las coordenadas geográficas 20°09'08'' de latitud norte y 98°13'11'' de longitud oeste. El municipio de Acaxochitlán tiene temperatura media de 15.1°C y precipitación media anual de 915.5 mm (CONAGUA, 2019).



Figura 3. Localización del vivero GUMAIR. Fuente: Google Earth Pro (2021).

4.1.2. Insumos utilizados

Se utilizaron bloques (charolas) de poliestireno expandido de 77 cavidades de 160 cm³ de capacidad. El sustrato consistió en una mezcla de: 70 % aserrín fresco (sin compostar) de pino, 20 % corteza de pino compostada, 5 % vermiculita y 5 % perlita a la cual se le suministraron las dosis de fertilización correspondientes a cada tratamiento. Se utilizaron fertilizantes de liberación controlada: Multicote Agri® (8) 18-6-12 +2CaO+3.5MgO+2.1Si+ME (producto comercial que libera los nutrientes durante 8 meses a temperatura media del sustrato de 21°C) y Multicote® (12) 19-10-13 +2MgO+ME (producto comercial que libera los nutrientes durante 12 meses a temperatura media del sustrato de 21°C).

4.1.3. Tratamientos establecidos

La combinación de las dosis de los fertilizantes tanto en vivero como en campo generó 8 tratamientos (Cuadro 1). Los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T8 fueron evaluados en vivero, debido a que en esta etapa se les aplicó la dosis de fertilización

y posteriormente en campo se adicionó una dosis extra a los tratamientos T5, T6 y T7. Cada tratamiento incluyó 4 repeticiones o charolas.

Cuadro 1. Dosis utilizada por tratamiento para producción en vivero y desarrollo en campo para *Pinus patula* y *P. teocote*.

Tratamiento	FLC en vivero		FLC en Campo
	TL 8	TL 12	TL 12
	Dosis (g L ⁻¹)	Dosis (g L ⁻¹)	Dosis (g árbol)
T1	8	0	0
T2	8	2	0
T3	8	4	0
T4	8	6	0
T5	8	0	6
T6	8	0	12
T7	8	0	18
T8	4	4	0

Donde: FLC=Fertilizante de liberación controlada, TL= Tiempo (meses) de liberación de nutrimentos

4.1.4. Manejo de insumos y condiciones de producción

Las paredes internas de las cavidades de las charolas se impregnaron con una solución de hidróxido cúprico al 7% para promover la poda química de las raíces laterales de las plantas.

Los materiales utilizados para el sustrato se pasaron por un cernidor con malla de 10 mm para conseguir una mezcla homogénea y sin partículas gruesas.

Las semillas se remojaron en agua durante 8 h, y posteriormente se desinfectaron con agua oxigenada al 5 % durante 20 min; además se impregnaron con Bactiva®

(*Basilus* spp. y *Trichoderma* spp.) en dosis de 0.15 g L⁻¹ como método biológico para reducir la presencia de enfermedades.

El área de producción del vivero cuenta con estructura de tipo casa sombra con malla negra de 50 % de cobertura, con soporte de estructura metálica, mesas metálicas porta charolas de 1.5 m de ancho por 80 cm de alto y sistema de riego por microaspersión. La malla sombra se mantuvo en el área de producción desde la siembra hasta el mes de abril.

El desarrollo de las plantas en el vivero no presentó afectaciones por plagas o enfermedades, ni por fenómenos meteorológicos.

4.1.5. Variables evaluadas

Características morfológicas de las plantas producidas

Las plantas se evaluaron 7.5 meses después de la siembra, tiempo en el cual se liberan los nutrientes contenidos en los gránulos de los fertilizantes. Se extrajeron 12 plantas por charola, de manera aleatoria, resultando un total de 48 plantas por tratamiento. Se midió la altura de la planta con una regla metálica desde la base hasta la yema apical, así como el diámetro en la base de su tallo con un vernier digital; se cortaron para separar parte aérea y radical, y ambas partes se colocaron por separado en bolsas de papel. Posteriormente, se secaron en horno durante 72 h a 70°C, para después determinar el peso seco de la raíz y el peso seco de la parte aérea en una báscula digital.

Con los datos se obtuvieron los siguientes indicadores de calidad de planta que han sido propuestos por Duryea (1985) y Landis *et al.*, (2010):

- Relación peso seco aéreo y peso seco radical (PSA/PSR)
- Índice de Robustez (IR)
- Índice de Calidad de Dickson (ICD)

4.1.6. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar, representado por el modelo:

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

Donde: μ es la media general,

τ_i el efecto del i -ésimo tratamiento y

ε_{ij} el error experimental en la unidad j del tratamiento i .

Los valores de las variables de respuesta se analizaron en el programa InfoStat versión 2019e, mediante un Análisis de la Varianza (ANOVA) y comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) entre tratamientos para determinar los efectos de las dosis de fertilización.

4.2. Etapa de campo

4.2.1. Área de estudio

La etapa de campo para *Pinus patula* se estableció el 4 de septiembre de 2020 en un predio particular en la localidad de Cuaunepantla, en el municipio de Acaxochitlán, Hidalgo a una altitud de 2,262 m y localizado en las coordenadas geográficas 20°10'52" de latitud norte y 98°13'30" de longitud oeste. La localidad de Cuaunepantla tiene temperatura media de 15 °C y precipitación media anual de 915.5 mm (CONAGUA, 2019).

El sitio de plantación es de vocación forestal, ligeramente ondulado y con una pendiente suave; en los alrededores se cuenta con una zona boscosa y una zona en aprovechamiento forestal. Se realizó el análisis de suelo mediante una mezcla compuesta extraída de cinco zonas del terreno y posteriormente se analizó en el Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal de la Universidad Autónoma Chapingo siguiendo la metodología de acuerdo a la NOM 021-SEMARNAT-2000.

El suelo presenta una densidad aparente de 0.89 g cm⁻³, con un pH de 5.02 (fuertemente ácido), textura franca, baja capacidad de intercambio catiónico (11.42

cmol kg⁻¹) y un alto contenido de materia orgánica (14.33%); además de un alto contenido de nitrógeno inorgánico (54.59 mg kg⁻¹) y bajos contenidos de fósforo (P) y potasio (K) (3.74 y 186 mg kg⁻¹ respectivamente), de acuerdo a la NOM 021-REC/NAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2002).

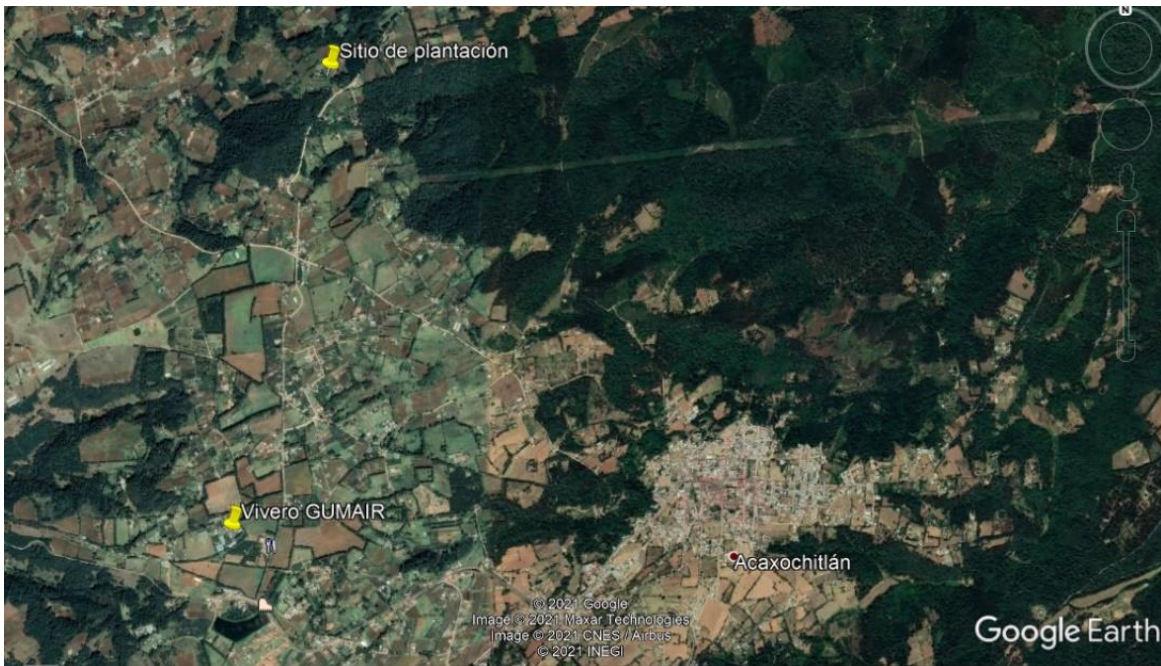


Figura 4. Localización del sitio de plantación de *Pinus patula*. Fuente: Google Earth Pro (2021).

Pinus teocote se estableció el 18 de septiembre de 2020 en el Ejido Nopalillo, municipio de Epazoyucan, Hidalgo a una altitud de 2,880 m y localizado en las coordenadas geográficas 20°04'20'' de latitud norte y 98°34'7'' de longitud oeste. El Ejido Nopalillo tiene temperatura media de 15°C y precipitación media anual de 600 mm (CONAGUA, 2019).

En este sitio se presenta un clima más seco en comparación con el sitio de *Pinus patula*, con pendiente suave y en terrenos que fueron utilizados para la agricultura.



Figura 5. Localización del sitio de plantación de *Pinus teocote*. Fuente: Google Earth Pro (2021).

4.2.2. Establecimiento y manejo de la plantación

De las plantas producidas en vivero, se seleccionaron en forma aleatoria 10 por tratamiento y repetición (charola), teniendo 40 plantas por tratamiento, y un total de 320 plantas de todo el experimento para llevarlas a campo.

La plantación se realizó en un diseño en marco real con separación de 2.5 metros entre plantas, el método de plantación fue el tradicional, utilizando pala recta para abrir cepas de aproximadamente 30 cm por 30 cm.

En el caso de las plantas de los tratamientos T5, T6 y T7 se les adicionó una dosis de fertilizante de liberación controlada (Multicote 12) al momento de la plantación (Cuadro 1). El fertilizante se distribuyó alrededor del árbol en un radio de 10 cm y a una profundidad de 1 cm y se tapó con tierra utilizando la pala.

4.2.3. Variables evaluadas

Después de establecida la plantación, se midieron la altura y el diámetro a la base del tallo de cada planta, para tomar estos datos como punto de referencia para estimar el crecimiento después de un año.

Para determinar la supervivencia se realizó un censo de los árboles en tres evaluaciones en distintas etapas de la plantación. El primer censo se realizó a los 4 meses, tiempo en el cual las plantas habían pasado por el estrés de la plantación y el frío de una parte del invierno, el segundo censo fue a los 9 meses, después de que se completaron el invierno y la época calurosa antes de iniciar el período de lluvias, un último censo a los 12 meses, posterior a la mayor parte del período de lluvias y a la etapa de mayor crecimiento en campo.

A los 9 meses de la plantación, se realizó una evaluación para determinar la concentración nutrimental (N, P y K) de las plantas. Para este propósito se obtuvo una muestra de acículas, conforme a Wells & Allen (1985), tomadas de la parte media de los tallos de todos los árboles de cada tratamiento, se formó una muestra compuesta de cada tratamiento de los 4 bloques del diseño experimental en campo y se colocaron en bolsas de papel estraza debidamente etiquetadas. Posteriormente, las acículas se secaron en estufa a 70°C por 72 h. Luego se seleccionaron 100 acículas representativas de cada muestra y fueron enviadas al Laboratorio de Nutrición del Colegio de Postgraduados para determinar contenido de nitrógeno (N) por el método micro-Kjeldahl, y fósforo (P) y potasio (K) por espectrometría de emisión óptica de inducción de plasma acoplado (Varían ICP OES 725-ES; Mulgrave, Australia, utilizando digestiones con una mezcla de H₂SO₄:HClO₄ (2:1, v:v) de acuerdo con Alcántar & Sandoval (1999).

Después de 12 meses de la plantación, se evaluó el crecimiento de las plantas, tiempo durante el cual se liberan los nutrientes contenidos en los gránulos de los fertilizantes. Para evaluar el crecimiento se midió la altura y el diámetro a la base del tallo.

4.2.4. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue en bloques al azar, representado por el modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde: μ es la media general,

τ_i el efecto del i-ésimo tratamiento,

β_j el efecto del j-ésimo bloque, y

ε_{ij} el error experimental en la unidad j del tratamiento i.

Los valores de las variables de respuesta se analizaron en el programa InfoStat versión 2019e, mediante un Análisis de la Varianza (ANOVA) y comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) entre tratamientos para determinar los efectos de las dosis de fertilización.

5. RESULTADOS

5.1. Evaluación de planta en vivero

5.1.1. Características morfológicas de *Pinus patula*

El efecto de las dosis de fertilización fue significativo para todas las variables ($p \leq 0.0001$) (Cuadro 2). Los tratamientos T3 y T4 mostraron los valores mayores en todas variables, mientras que el tratamiento T8 resultó con valores similares a excepción de la altura, la relación peso seco aéreo y peso seco radical y el índice de robustez; sin embargo, el tratamiento T8 es el que presenta el mayor valor promedio en cuanto al Índice de Calidad de Dickson. En el caso del diámetro, el tratamiento T4 fue el que mostró el valor promedio mayor con 4.63 mm, para la altura el mismo tratamiento presentó también valor mayor con un promedio de 36.61 cm (Cuadro 2).

En la Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 en su apéndice normativo C, se establecen los estándares morfológicos de calidad para las especies utilizadas con fines de conservación y restauración. En el caso de *Pinus patula*, se establece que, para la edad de 6 a 7 meses, las plantas deben tener de 25 a 30 cm en altura y

deben ser mayores a 3.5 mm en diámetro. Siguiendo estos estándares para la variable altura se obtuvo que los tratamientos tres, cuatro y ocho presentan valores por arriba de la norma, mientras que para la variable diámetro solamente los tratamientos T1, T5 y T7 estuvieron por debajo del estándar.

Cuadro 2. Valores estadísticos promedio y comparación de medias por tratamiento, para las variables morfológicas medidas a las plantas de *Pinus patula* después de 7.5 meses de la siembra.

T	Diámetro (mm)	Altura (cm)	PSA	PSR	PST	PSA/PSR	IR	ICD
1	3.08d	17.61d	1.75c	0.56c	2.31c	3.34c	5.84c	0.26c
2	3.94b	26.50c	3.06b	0.83a	3.89b	4.01bc	6.95b	0.38ab
3	4.53a	34.90a	3.91a	0.76a	4.66a	5.45a	7.79ab	0.36ab
4	4.63a	36.61a	4.20a	0.74ab	4.94a	5.80a	8.03a	0.36ab
5	3.36cd	15.23e	1.88c	0.57c	2.44c	3.52c	4.63d	0.31bc
6	3.68bc	18.86d	2.15c	0.56c	2.71c	3.81bc	5.24cd	0.30bc
7	3.36cd	17.14de	2.21c	0.60bc	2.81c	3.70bc	5.55c	0.32bc
8	4.46a	31.32b	3.75a	0.89a	4.65a	4.47b	7.17b	0.42a

Donde: T=Tratamiento, PSA=Peso Seco Aéreo, PSR=Peso Seco Radical, PST=Peso Seco Total, PSA/PSR=Relación Peso Seco Aéreo sobre Peso Seco Radical, IR=Índice de Robustez, ICD=Índice de Calidad de Dickson. Letras en superíndice indican la comparación de medias.

Prieto *et al.* (2009), mencionan que la relación altura/diámetro, conocida como índice de robustez, debe tener valores menores a seis, y que es un indicador de la resistencia de la planta a la desecación por viento, de su sobrevivencia y crecimiento en sitios secos; por lo tanto, valores mayores a 6 indican que la planta es de tallo delgado en relación a su altura. En esta investigación se obtuvo que los tratamientos T1, T5, T6 y T7 cumplen con este criterio, en tanto los tratamientos T2, T3, T4 y T8 sobrepasan el valor de 6.

En cuanto a la relación PSA/PSR, la norma de calidad indica que debe fluctuar entre 1.5 y 2.5. Relaciones mayores a estos valores nos indican una desproporción y sistema radical insuficiente para proveer a la parte aérea de la planta. Esta relación se obtuvo en valores mayores a los indicados por Prieto *et al.* (2009); sin embargo, esto puede explicarse en parte debido a que las charolas se impregnaron con cobre para provocar la poda química de raíces, además de las dosis de fertilizantes utilizadas, lo cual se reflejó en un incremento mayor de altura.

Sáenz *et al.*, (2010), clasificaron al ICD de acuerdo a intervalos específicos que van de 0.2 a 0.5, en donde valores menores a 0.2 fueron considerados de calidad baja, entre 0.2 y 0.5 de calidad media y mayores a 0.5 de calidad alta. En los resultados de este estudio, el tratamiento T8 presentó un ICD de 0.42, mayor valor promedio, por lo que de acuerdo con lo anterior establecido, la calidad de la planta puede clasificarse como media.

Guzmán (2017) menciona que evaluó el efecto de cuatro sustratos y tres dosis de fertilizante (3, 5 y 7 g L⁻¹) de Osmocote Plus 15-9-12 de 8 a 9 meses de liberación en las características morfológicas y concentración de nutrimentos en el follaje de *Pinus patula*, también se valoró el costo del sustrato y las dosis de fertilizante por litro. Los resultados de este autor indicaron que tres de los sustratos poseían características apropiadas para producir planta en contenedor; además, adicionando una dosis de 7 g L⁻¹ a S1 y S2 se producen plantas con características morfológicas dentro de los estándares de calidad y a un menor costo. Aguilera *et al.* (2020) mencionan en su investigación sobre crecimiento en campo de *Pinus patula* como efecto de la poda radicular y los contenedores utilizados en vivero que con una dosis de 8 g L⁻¹ se obtienen plantas de calidad en vivero.

5.1.2. Características morfológicas de *Pinus teocote*

El análisis de varianza realizado para *Pinus teocote* muestra que el efecto de las dosis de fertilización fue significativo para los tratamientos ($p \leq 0.0001$). En el Cuadro 3 se observan los valores promedio por tratamiento, se observa que la altura va de

los 15.48 a los 33.46 cm siendo el tratamiento 4 el del valor máximo, el diámetro oscila entre los 5.14 y 6.23 mm, en donde el tratamiento T3 muestra el mayor valor.

Cuadro 3. Valores estadísticos promedio y comparación de medias por tratamiento, para las variables morfológicas medidas a las plantas de *Pinus teocote* después de 7.5 meses de la siembra.

T	Diámetro (mm)	Altura (cm)	PSA	PSR	PST	PSA/PSR	IR	ICD
1	5.24b	15.48d	2.90c	0.94b	3.84de	3.28b	3.06d	0.64ab
2	6.17a	21.53c	3.69b	1.05b	4.74bc	3.82ab	3.62cd	0.69a
3	6.23a	32.93a	4.78a	0.91a	6.12a	3.95ab	5.50a	0.70a
4	5.83ab	33.46a	4.44a	1.06b	5.35ab	5.24a	5.95a	0.50b
5	5.67ab	20.61c	3.58b	0.91b	4.59bcd	4.49ab	3.76c	0.66ab
6	5.77ab	20.08c	3.23bc	1.00b	4.30cde	3.87ab	3.578cd	0.66ab
7	5.14b	16.27d	2.77c	1.06b	3.67e	3.32b	3.26cd	0.59ab
8	6.16a	27.00b	3.63b	1.00b	4.63bc	4.01ab	4.56b	0.59ab

Donde: T=Tratamiento, PSA=Peso Seco Aéreo, PSR=Peso Seco Radical, PST=Peso Seco Total, PSA/PSR=Relación Peso Seco Aéreo sobre Peso Seco Radical, IR=Índice de Robustez, ICD=Índice de Calidad de Dickson. Letras en superíndice indican la comparación de medias.

Rodríguez (2008) menciona que entre más bajo sea el valor del Índice de Robustez, la planta será más gruesa y baja, lo cual la hará apta para ambientes con limitaciones de humedad o fríos. Prieto *et al.* (2009) mencionan que su valor debe ser menor a 6; dicho valor se cumple en todos los tratamientos, logrando así obtener planta de calidad deseada para ambientes secos, tal es el caso del hábitat del *Pinus teocote*.

Para obtener plantas de calidad se debe tener una relación PSA/PSR baja para aumentar la posibilidad de sobrevivir; puesto que al presentar una estructura radical

bien desarrollada se obtendrá una mejor absorción de nutrientes y accesibilidad al agua (Escobar y Rodríguez, 2019). En esta investigación se obtuvieron valores altos en cuanto a esta relación.

De acuerdo con Reyes *et al.* (2005), los valores altos en el Índice de Calidad de Dickson representan un buen y equilibrado desarrollo de la planta, en cuanto Rueda *et al.* (2014) mencionan que plantas con un ICD > 0.5 son de buena calidad. *Pinus teocote* obtuvo valores arriba del 0.5 en todos los tratamientos, logrando así obtener planta de buena calidad, destacándose el tratamiento T3 con el valor de 0.70.

5.2. Evaluación de planta en campo

La etapa de campo se realizó solamente para *Pinus patula*, ya que en el caso de *Pinus teocote* se presentó una helada en el lugar de plantación y se tuvo una mortalidad del 100 %.

5.2.1. Supervivencia

Los resultados obtenidos de la variable supervivencia en la etapa de campo señalan que la plantación de *Pinus patula* en las tres evaluaciones realizadas a los 4, 9 y 12 meses de establecida, para cada uno de los tratamientos, el porcentaje de plantas vivas fue superior al 72 % (Cuadro 4) y el porcentaje de supervivencia promedio en todos los tratamientos fue de 75 %. Estos valores son significativamente superiores a los reportados por Mexal *et al.*, (2008) en plantaciones establecidas en el Valle de México con *Pinus patula* a los 4, 10 y 26 meses en donde se obtuvieron índices de 44, 33 y 27 % respectivamente. Sin embargo, Sosa y Rodríguez (2003) reportan en su investigación sobre el efecto de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de *Pinus patula* en un área quemada, que 12 meses después de la plantación obtuvieron 93 % de supervivencia; en tanto Villota (2021) en su estudio sobre el comportamiento de cuatro procedencias de *Pinus patula* en la estación experimental La Favorita en Ecuador, reporta que el porcentaje de supervivencia

hasta el séptimo mes después de la plantación fue de 100% y a partir del octavo y hasta los 12 meses varió de 88.67 % a 92.33 %, lo cual es un valor más cercano a lo obtenido en esta investigación en algunos tratamientos.

Cuadro 4. Porcentaje de supervivencia promedio en campo por tratamiento, en tres evaluaciones (4, 9 y 12 meses después de la plantación) en *Pinus patula*.

	4 meses	9 meses	12 meses
T1	97%	90%	90%
T2	95%	90%	72%
T3	95%	85%	78%
T4	95%	90%	85%
T5	100%	90%	75%
T6	100%	85%	75%
T7	100%	85%	85%
T8	100%	95%	95%

Donde: T1= dosis 8 g L⁻¹ de TL8, T2= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 2 g L⁻¹ de TL12, T3= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 4 g L⁻¹ de TL12, T4= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 6 g L⁻¹ de TL12, T5= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 6 g árbol⁻¹ de TL12 (campo), T6= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 12 g árbol⁻¹ de TL12 (campo), T7= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 18 g árbol⁻¹ de TL12 (campo) y T8= dosis 4 g L⁻¹ de TL8 y 4 g L⁻¹ de TL12, TL= Tiempo de liberación.

El valor del porcentaje de supervivencia promedio obtenido muestra que el tratamiento T8 es el más alto con un 95%, mientras que los tratamientos T2, T5 y T6 son los de valor menor con un 72 y 75% respectivamente, estos dos últimos tratamientos fueron fertilizados adicionalmente en campo.

Al relacionar el manejo de nutrientes en vivero con los primeros meses en campo, Trubat, Cortina & Vilagrosa (2010) destacan que el manejo de nutrientes en el vivero muestra un fuerte potencial para modificar la morfología de las plántulas de *Quercus suber*, pero la relación entre estos cambios y la supervivencia de las plántulas a

corto plazo sigue siendo difícil de alcanzar, lo cual se puede constatar en esta investigación debido a diversos factores tanto medio ambientales como de la plantación.

5.2.2. Contenido nutrimental

Escobar y Rodríguez (2019) señalan que los valores recomendados de concentración nutrimental foliar en especies de *Pinus* son: para N de 1.4 a 2.2 %, P de 0.2 a 0.4 % y K de 0.4 a 1.5 %. En otro estudio sobre indicadores de calidad de planta, realizado por Prieto y Sáenz (2011), proponen para los pinos nativos las concentraciones de nutrimentos en el follaje: N de 1.1 a 3.5 %, P de 0.1 a 0.6 % y para K de 0.5 a 2.5%. De acuerdo con las escalas anteriormente descritas se puede establecer que se produjeron plantas de calidad; en cuanto a las recomendaciones de Escobar y Rodríguez (2019), para el nitrógeno y potasio se produjeron plantas de calidad y en el caso del fósforo las concentraciones son bajas. Binkley y Fisher (2019) han propuesto que en general las concentraciones críticas de P equivalen al 10 % de las concentraciones de N y en este estudio están entre 7 y 9 %.

En todos los tratamientos, la concentración de nitrógeno en el follaje se incrementó conforme aumentó la dosis de fertilización en vivero (Cuadro 5), tal como lo reportan Sloan & Jacobs (2013), quienes analizaron fertilizantes de liberación controlada en comparación con fertilizantes inmediatamente disponibles y con testigos sin fertilizar; dichos autores concluyen que los niveles generalmente más altos de N foliar en el primer año de la plantación de *Picea glauca* y *Populus tremuloides* fueron en los árboles fertilizados con tasas mayores de fertilizantes de liberación controlada en la zona de las raíces.

Cuadro 5. Valores promedio por tratamiento, de la concentración de los principales nutrimentos en follaje de las plantas de *Pinus patula*, después de 9 meses de establecida la plantación.

	N	P (%)	K
T1	1.65	0.15	0.66
T2	1.97	0.15	0.59
T3	2.08	0.14	0.61
T4	2.17	0.14	0.60
T5	1.72	0.15	0.63
T6	1.91	0.14	0.60
T7	1.79	0.13	0.55
T8	2.11	0.14	0.63

Donde: T1= dosis 8 g L⁻¹ de TL8, T2= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 2 g L⁻¹ de TL12, T3= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 4 g L⁻¹ de TL12, T4= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 6 g L⁻¹ de TL12, T5= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 6 g árbol⁻¹ de TL12 (campo), T6= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 12 g árbol⁻¹ de TL12 (campo), T7= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 18 g árbol⁻¹ de TL12 (campo) y T8= dosis 4 g L⁻¹ de TL8 y 4 g L⁻¹ de TL12, TL= Tiempo de liberación.

Para esta investigación se obtuvo el tratamiento T4 con el mayor porcentaje de nitrógeno, seguido del tratamiento T8; en tanto las plantas que fueron fertilizadas en campo no tuvieron este mismo comportamiento siendo el tratamiento T6 el que obtuvo mayor porcentaje de nitrógeno. Para el caso del fósforo no hubo diferencia significativa entre los porcentajes contenidos en las plantas estando en un rango de 0.13 a 0.15 % en todos los tratamientos. El contenido de potasio en las plantas tuvo variación siendo el tratamiento T1 el de mayor porcentaje de contenido y el tratamiento T6 el de menor porcentaje.

5.2.3. Crecimiento de la plantación

De acuerdo con la comparación de la evaluación realizada al momento de la plantación y después de 12 meses, los brinzales han tenido un crecimiento en altura de 71 cm en promedio para todos los tratamientos (Figura 6) y de 11.44 mm en diámetro (Figura 7).

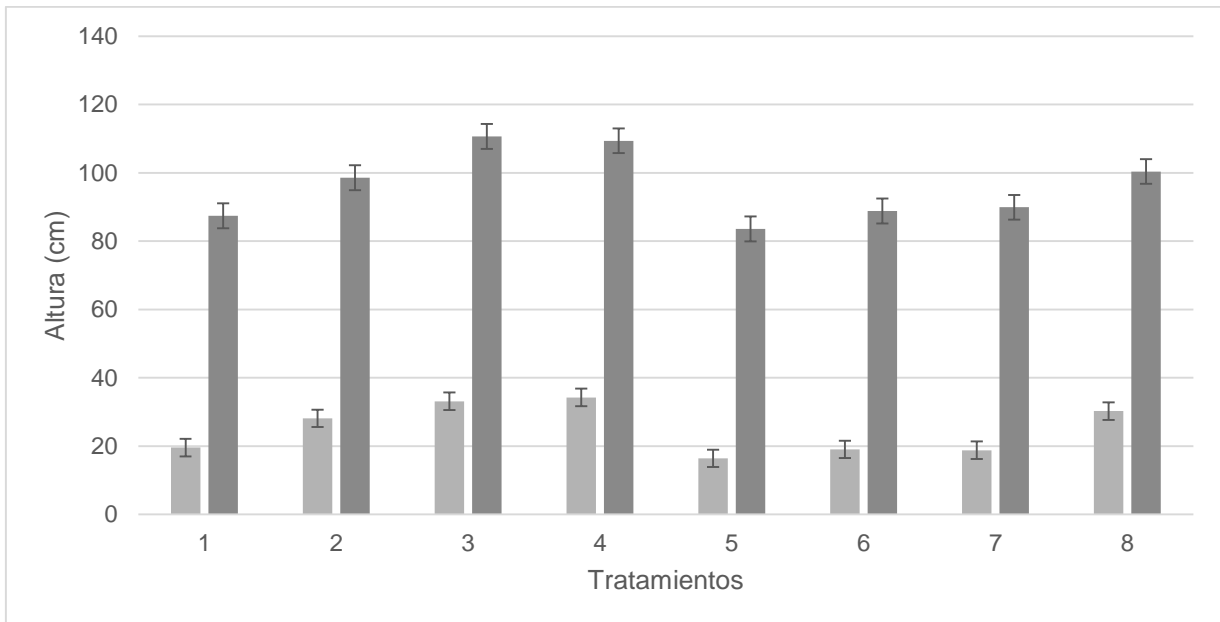


Figura 6. Crecimiento promedio en altura por tratamiento al momento de la plantación (gris claro) y 12 meses después (gris oscuro). Donde: T1= dosis 8 g L⁻¹ de TL8, T2= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 2 g L⁻¹ de TL12, T3= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 4 g L⁻¹ de TL12, T4= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 6 g L⁻¹ de TL12, T5= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 6 g árbol⁻¹ de TL12 (campo), T6= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 12 g árbol⁻¹ de TL12 (campo), T7= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 18 g árbol⁻¹ de TL12 (campo) y T8= dosis 4 g L⁻¹ de TL8 y 4 g L⁻¹ de TL12, TL= Tiempo de liberación.

El tratamiento T3 presentó el mayor crecimiento promedio en altura (110.66 cm) seguido del tratamiento T4 (109.38 cm) y T8 (100.37 cm), los dos primeros fertilizados adicionalmente desde el vivero y que tuvieron los mayores tamaños al salir del vivero. En cuanto al crecimiento en diámetro, se obtuvieron resultados similares, el tratamiento T3 fue el que alcanzó un diámetro promedio mayor con 18.64 mm, seguido de los tratamientos T4 y T8 con un crecimiento de 18.32 y 17.67 mm respectivamente. Los crecimientos obtenidos resultan mayores comparados

con el estudio realizado por Aguilera *et al.* (2020) quienes obtuvieron crecimientos en altura de 154.0 y 147.1 cm para *Pinus patula* a dos años de haberse establecido en campo.

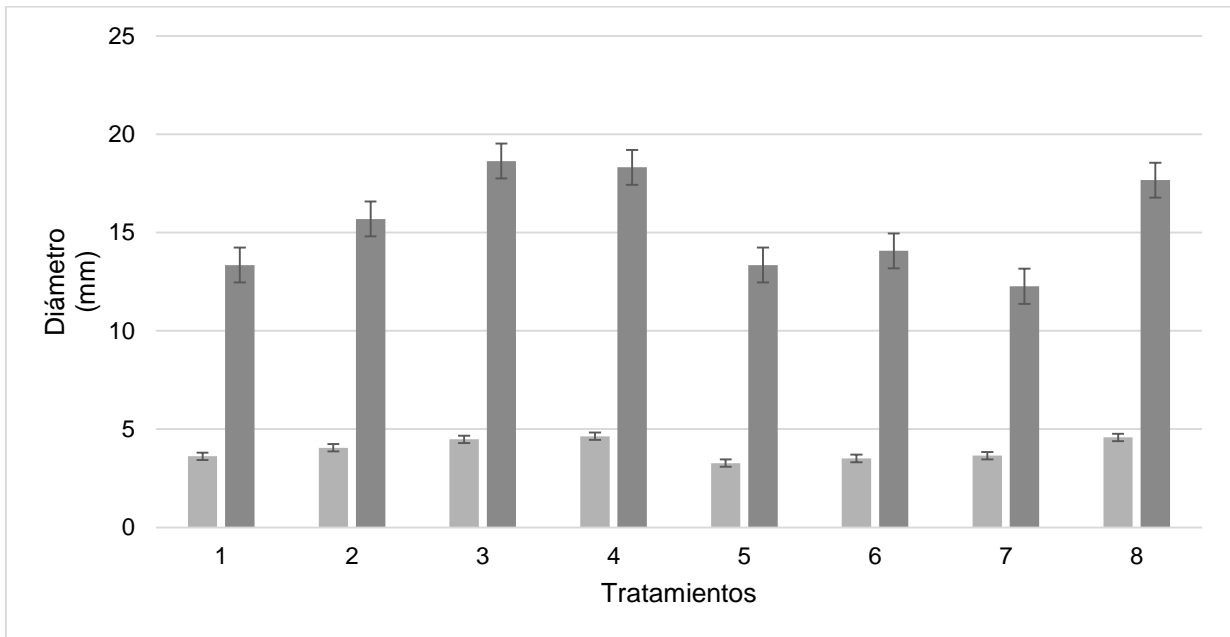


Figura 7. Crecimiento promedio en diámetro por tratamiento al momento de la plantación (gris claro) y 12 meses después (gris oscuro). Donde: T1= dosis 8 g L⁻¹ de TL8, T2= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 2 g L⁻¹ de TL12, T3= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 4 g L⁻¹ de TL12, T4= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 6 g L⁻¹ de TL12, T5= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 6 g árbol⁻¹ de TL12 (campo), T6= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 12 g árbol⁻¹ de TL12 (campo), T7= dosis 8 g L⁻¹ de TL8 y 18 g árbol⁻¹ de TL12 (campo) y T8= dosis 4 g L⁻¹ de TL8 y 4 g L⁻¹ de TL12, TL= Tiempo de liberación.

6. CONCLUSIONES

El efecto de la fertilización en los tratamientos establecidos fue significativo en comparación con el testigo y la combinación de las dosis de fertilizantes genera plantas con características morfológicas adecuadas para su establecimiento, con porcentajes de supervivencia altos en las primeras etapas de desarrollo en campo.

El uso de fertilizantes de liberación controlada permite suministrar en una sola aplicación los nutrientes que la planta requiere para su desarrollo en vivero y al

adicionarse un fertilizante de liberación de 12 meses la planta lleva a campo parte de los nutrientes, con lo cual se adapta y soporta los primeros meses en campo para así tener una supervivencia alta y buen crecimiento.

Para *Pinus teocote* en las condiciones de esta investigación en vivero, se recomienda utilizar una dosis de 8 g de fertilizante de liberación de 8 meses en combinación con una dosis de 4 g de fertilizante de liberación de 12 meses.

Las dosis recomendadas para *Pinus patula* en las condiciones de esta investigación son 4 g de fertilizante de liberación de 8 meses en combinación con una dosis de 4 g de fertilizante de liberación de 12 meses.

7. LITERATURA CITADA

- Aguilera R. M., A. Aldrete, J. J. Vargas H., J. López U., M. A. López L., V. M. Ordaz C. 2020. Crecimiento en campo de *Pinus patula* Schltdl. & Cham. como efecto de la poda radicular y los contenedores utilizados en vivero. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 26(2), 307-319.
- Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V.M. Ordaz C. 2016. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. Agrociencia. 50(1):107-118.
- Albaugh, T. J., R. Rubilar, J. Alvarez and H. L. Allen. 2004. Radiata pine response to tillage, fertilization, and weed control in Chile. Bosque 25(2):5–15.
- Alcántar G., G., & Sandoval V., M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal: Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Chapingo, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Universidad Autónoma Chapingo.
- Ali, S. and F. Danafar. 2015. Controlled-Release Fertilizers: Advances and Challenges. Life Science Journal 12(11):33–45.
- Binkley, D. and R. Fisher. 2013. Ecology and Management of Forest Soils. 4th ed. Wiley-Blackwell. Hoboken, USA. 363 p.
- Binkley, D., and Fisher, R. F. 2019. Ecology and management of forest soils. Jhon Wiley & Sons.
- Chandra, M. S., M. Lal, R. K. Naresh, S. Yadav, R. Kumar, R. Kumar, S. W. Chand, N. Varsha, P. Chandan and N. Lavanya. 2019. Role of polymer coated fertilizers (PCFS) an advance technology for improving nutrient use efficiency and crop

- productivity: A review. *International Journal of Chemical Studies* 7(6):2667–2679.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2019. Normales climatológicas-Servicio Meteorológico Nacional. [En línea]. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75 (revisado el 15 de octubre de 2019).
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2018. Informe de Resultados del Monitoreo de Restauración Forestal y Reconversión Productiva 2016. Universidad Autónoma Chapingo .138 p.
- Critchfield, W. and Little Jr, E.L. 1971. Geographic distribution of the pines of the World. U.S. Department of Agriculture. Publication No. 991. 97 p.
- Donahue, J.K. 1991. Genetic test establishment report. Camcore. 11 p.
- Duryea, M. L. 1985. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Oregon State University. Corvallis, OR USA. 143 p.
- Dvorak, W. S. 2002. *Pinus patula* Schiede & Schltdl. & Cham. In: Vozzo, J. A. (ed). Tropical tree seed manual. USDA Forest Service. Agriculture Handbook 721. Washington, DC, USA. pp: 632–635.
- Escobar A, S, y Rodriguez T, D. A.. 2019. Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10 (55): 4-38.
- Escobar, L. E. 1999. Estudio etnobotánico de plantas medicinales en el estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México.
- Evans, J. and J. Turnbull. 2004. *Plantation Forestry in the Tropics: The Role, Silviculture and Use of Planted Forests for Industrial, Social, Environmental, and Agroforestry Purposes*. 3rd ed. Oxford University Press. Oxford, UK. 482 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) and IFA (International Fertilizer Industry Association). 2000. *Fertilizers and their use. A pocket guide for extension officers*. 4th ed. Rome, Italy. 70 p.
- Farjon, A. 2010. *A Handbook of the World's Conifers*. Brill Academic Publishers. Danvers, USA. 1111 p.
- Fox, T. R., H. L. Allen, T. J. Albaugh, R. Rubilar and C. A. Carlson. 2007. Tree nutrition and forest fertilization of pine plantations in the Southern United States. *Southern Journal of Applied Forestry* 31(1):5–11.

- Gernandt, D. S. y Pérez-De La Rosa, J. A. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 126–133.
- Gillespie, A. J. 1992. *Pinus patula* Schiede and Deppe. Patula pine. SO-ITF-SM-54. US Department of Agriculture. Forest Service. Southern Forest Experiment Station. New Orleans, USA. 5 p.
- Gómez, E. A., L. A. Ríos y J.D. Peña. 2012. Madera, un potencial lignocelulósico para la producción de biocombustibles en Colombia. *Información tecnológica* 23:73-86.
- Guzmán, M.N. 2017. Uso de los sustratos orgánicos y fertilizantes de liberación controlada en la producción de *Pinus patula* en vivero. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. 71 p.
- Haase, D. L., R. Rose and J. Trobaugh. 2006. Field performance of three stock sizes of Douglas-fir container seedlings grown with slow-release fertilizer in the nursery growing medium. *New Forests* 31(1):1–24.
- Hernández Z., L. A. Aldrete, V.M. Ordaz C., J. López U. y M.A. López L. 2013. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Revista Agrociencia* 48(6):627-637.
- Jackson, P.D., Dumroese, R. K. & Barnett, J.P. 2012. Nursery response of container *Pinus palustris* seedlings to nitrogen supply and subsequent effects on outplanting performance. *Forest Ecology and Management*. 265(1):1-12.
- Jacobs, D. F., R. Rose and D. L. Haase. 2003. Incorporating controlled-release fertilizer technology into outplanting. *In: Riley, L. E., R. K. Dumroese and T. D. Landis (eds).*
- Landis T.D. 1989. Mineral Nutrients and Fertilization. *In: Landis, T.D.; Tinus R. W.; Mc Donald, S.E.; Barnett J.P. The Container Tree Nursery Manual, Volume 4. Agric. Handbbk. 674. Washington, DC. US. Departament of Agriculture, Forest Service: 1-67.*
- Landis, T. D. and R. K. Dumroese. 2009. Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after outplanting. *Forest Nursery Notes. U.S. Departamento f Agriculture, Forest Service. Winter 2009:5-12.*
- Landis, T. D., R. K. Dumpofse and D. L. Haase. 2010. Seedling processing, storage and outplanting. *The container tree nursery manual. USDA Forest Service. Agriculture Handbook 674. Vol. 7. Washington, DC, USA. 199 p.*
- López L., M. Á. and E. Estañol B. 2014. Fertilización química, crecimiento y ataque de pájaro carpintero (*Sphyrpicus varius*) en *Pinus patula* Schl. et Cham. VI Congreso Forestal Latinoamericano. Morelia, México. 2 p.
- Martínez, M. 1948. *Los pinos mexicanos (2a edición).* México, D.F. Editorial Botas.

- Mengel, K., E. A. Kirkby, H. Kosegarten and T. Appel. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th ed. Springer Science+Business Media. Dordrecht, The Netherlands. 849 p.
- Mexal J. G., R. A. Cuevas R. and T. D. Landis. 2008. Reforestation success in central Mexico: factors determining survival and early growth. Tree Planters' Notes 53:16-22. Disponible en: https://rngr.net/publications/tpn/index_html.
- Monroy R., C. R. 1995. *Pinus patula* Schl. et Cham, en México. Folleto Técnico No. 29. SAGARPA/CIRGOC-INIFAP. Tlapacoyan, México. 145 p.
- Munsell, J. F. and T. R. Fox. 2010. An analysis of the feasibility for increasing woody biomass production from pine plantations in the southern United States. Biomass and Bioenergy 34(12):1631–1642.
- NMX-AA-170-SCFI-2014. 2014. Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2014. Certificación de la operación de viveros forestales. Diario Oficial de la Federación. 22 de septiembre de 2014. México, D.F. 172 p.
- Perry, P.J. 1991. The pines of México and Central América. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.
- Prieto R., J. Á., J. L. García R., J. M. Mejía B., S. Huchín A. y J. L. Aguilar V. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Folleto Técnico. SAGARPA-INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo., México. pp. 6-8.
- Prieto R., J.A. y J.T. Saénz R. 2011. Indicadores de calidad de planta en viveros forestales de la Sierra Madre Occidental. Libro técnico No. 3. Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Durango. 210 p.
- Radwan, M. A., G. L. Crouch y H. S. Word. 1971. Nursery fertilization of Douglas-fir seedling with different forms of nitrogen. U.S.D.A. Forest Service. Pacific NW Forest and Range Exp. Sta., Res. Paper PNW-113. 8 P.
- Reyes R., J., A. Aldrete, V. M. Cetina A. y J. López U. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en sustratos a base de aserrín. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11(2): 105–110.
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi Prensa. México, D.F., México. 156 p.
- Rose, R., D. Haase y E. Arellano. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. Bosque 25:89-100.
- Rueda S., A., J. de D. Benavides S., J. T. Sáenz R., H. J. Muñoz F., J. Á. Prieto R. y G. Orozco G. 2014. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 5(22): 58–73.

- Sáenz R., J. T., F.J. Villaseñor R., H.J. Muñoz F., A. Rueda S. y J. A. Prieto R. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto técnico No. 17. Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. INIFAP. Uruapan, Mich. 41 p.
- Salgado G., S. and R. Núñez E. (eds). 2012. Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos. 1era Reimp. Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 146 p.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO). 2007. Manual de producción de planta forestal. Clima templado. Disponible en: http://www.earthgonomic.com/biblioteca/2007_SEDAGRO_Manual_de_Produccion_Forestal.pdf
- 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. In Diario Oficial de la Federación. México, D.F.
- Sloan, J.L., D. F. Jacobs. 2013. Fertilization at planting influences seedling growth and vegetative competition on a post-mining boreal reclamation site. *New Forests* 44:687-701.
- Smethurst, P. J. 2010. Forest fertilization: Trends in knowledge and practice compared to agriculture. *Plant and Soil* 335:83–100.
- Sosa, P. G. y D.A. Rodríguez T. 2003. Efecto de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de *Pinus patula* en un área quemada. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 9(1):36-43. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/629/62990104.pdf>.
- Trubat, R., J. Cortina, A. Vilagrosa. 2010. Nursery fertilization affects seedling traits but not field performance in *Quercus suber* L. *Journal of Arid Environments*. 74:491-497.
- Vela G., L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula*. Publicación especial No. 19. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F. 104 p.
- Velázquez M., A., G. Ángeles P., T. Llanderal O., A. R. Román J. and V. Reyes H. 2004. Monografía de *Pinus patula*. Comisión Nacional Forestal. Colegio de Postgraduados. Zapopan, México. 124 p.
- Villota, G.E.J. 2021. Comportamiento de cuatro procedencias de *Pinus patula* Schl. et Cham, en la estación experimental La Favorita, Parroquia Rural Alluriquín, Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. Tesis de licenciatura, Universidad Técnica del Norte. 62 p.
- Wells, C., & Allen, L. 1985. A loblolly pine management guide: When and where to apply fertilizer. GTR SE-36. US Departamento of Agriculture. Forest Service.

Southern Forest Experiment Station. Disponible en:
<http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/viewpub.php?index=921>

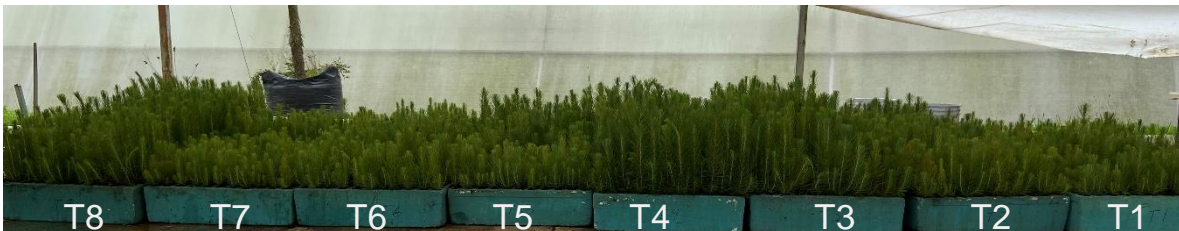
Wormald, T. J. 1975. *Pinus patula*. Tropical Forestry Papers No. 7. Oxford, UK. 212 p.

8. ANEXOS

Anexo I. Crecimiento de planta de *Pinus patula* después de 7.5 meses de establecida en vivero, por tratamiento.



Anexo II. Crecimiento de planta de *Pinus teocote* después de 7.5 meses de establecida en vivero, por tratamiento.



Anexo III. Planta de *Pinus patula* establecida en campo en Cuaunepantla, Hidalgo, después de 12 meses de plantación.

