



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**"Calidad de planta en *Pinus patula* Schl. et Cham
y *P. oaxacana* Mirov, producido con dos
tratamientos de fertilización en Ixtlán de Juárez,
Oaxaca"**



APROBADA



**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:**

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

MARTÍN PAZ PAZ

Bajo la supervisión de: Dante Arturo Rodríguez Trejo, Dr.



Chapingo, Estado de México, noviembre de 2022

CALIDAD DE PLANTA EN *Pinus patula* SCHL. ET CHAM Y *P. oaxacana*
MIROV, PRODUCIDO CON DOS TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN EN
IXTLÁN DE JUÁREZ, OAXACA

Tesis realizada por **MARTÍN PAZ PAZ** bajo la supervisión del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener
el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

ASESOR:



DR. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

ASESOR:



DRA. MA. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	ix
RESUMEN GENERAL.....	x
GENERAL <i>ABSTRACT</i>	xi
1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 General	2
1.1.2 Específicos.....	2
1.2 Hipótesis.....	3
1.3 Referencias.....	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Producción de planta en vivero.....	5
2.2 Planta de calidad.	6
2.3 Atributos de planta en vivero	8
2.4 Supervivencia en campo.....	9
2.5 Referencias.....	10
3 CALIDAD DE PLANTA Y SUPERVIVENCIA DE DOS ESPECIES DE PINO EN IXTLÁN, OAXACA.	14
3.1 Resumen	14
3.2 Abstract.....	14
3.3 Introducción	15
3.4 Materiales y métodos.....	17
3.4.1 Área de estudio	17
3.4.2 Especies de interés	17

3.4.3	Semillas.....	17
3.4.4	Fase de vivero.....	18
3.4.4.1	Contenedor, sustrato y siembra.....	18
3.4.4.2	Etapas de cultivo, fertilización y riego.....	18
3.4.4.3	Diseño experimental.....	18
3.4.5	Análisis de calidad de planta.....	19
3.4.5.1	Indicadores morfológicos.....	19
3.4.6	Prueba de crecimiento potencial de la raíz.....	21
3.4.7	Fase de campo.....	21
3.4.7.1	Establecimiento de la reforestación.....	21
3.4.7.2	Evaluación de la reforestación.....	22
3.4.8	Análisis estadístico.....	22
3.4.8.1	Indicadores de calidad de planta y prueba de crecimiento potencial de la raíz.....	22
3.4.8.2	Supervivencia en campo.....	22
3.5	Resultados.....	23
3.5.1	Evaluación de calidad de planta.....	23
3.5.2	Prueba de crecimiento potencial de la raíz.....	26
3.5.3	Evaluación de supervivencia en campo.....	27
3.5.4	Análisis de riesgo.....	29
3.6	Discusión.....	31
3.6.1	Evaluación de calidad de planta.....	31
3.6.2	Prueba de crecimiento potencial de la raíz.....	36
3.6.3	Evaluación de supervivencia en campo.....	38
3.6.4	Análisis de riesgos.....	41
3.7	Conclusiones.....	44
3.8	Referencias.....	44
4	CONCLUSIONES GENERALES.....	55

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características topográficas de ambos sitios de plantación.....	22
Cuadro 2. Comparación entre especies y tratamientos aplicados para diámetro (Diam), altura (Alt) y longitud de raíz (LR).	24
Cuadro 3 Comparación entre especies y tratamientos aplicados para peso anhidro aéreo (PSA), peso anhidro de la raíz (PSR), peso anhidro total (PST), peso seco aéreo relativo (PSA/PST) y peso de la raíz relativo (PSR/PST).	25
Cuadro 4. Comparación entre especies y tratamientos aplicados para coeficiente de esbeltez (CE), relación altura longitud de raíz (RA/LR), biomasa anhidra aérea/ biomasa anhidra de la raíz (BSA/BSR), índice de calidad de Dickson (ICD) e índice de lignificación (IL).	26
Cuadro 5. Prueba de crecimiento potencial de raíz para ambas especies y tratamientos evaluados.....	26
Cuadro 6. Valores de supervivencia a doce meses del establecimiento, evaluada por tratamiento y especie en ambos sitios de plantación.....	29
Cuadro 7. Resultados del análisis de riesgo de Cox para las especies, tratamientos y principales covariables evaluadas.....	30
Cuadro 8. Intervalos para calificar la calidad de planta en especies forestales de crecimiento normal.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráficas de supervivencia obtenida $[S(t)]$ para los tratamientos evaluados en la plantación con <i>P. patula</i> en ambos sitios de reforestación. a) Exposición norte, b) Exposición sur.	27
Figura 2. Gráficas de supervivencia obtenida $[S(t)]$ para los tratamientos evaluados en la plantación con <i>P. oaxacana</i> en ambos sitios de reforestación. a) Exposición norte, b) Exposición sur.	28
Figura 3. Función de supervivencia estimada $[S(t)]$ para las dos especies evaluadas en la reforestación en ambos sitios de plantación.	38
Figura 4. Función de supervivencia estimada $[S(t)]$ para las dos especies, evaluado por exposición en la que se plantó la reforestación.	39
Figura 5. Función de supervivencia estimada $[S(t)]$ para los tres esquemas de fertilización evaluados en la plantación.	40

DEDICATORIA

A Dios. Por las bendiciones recibidas y salud.

A mi madre Elvia Paz, a mi padre Víctor Paz, a mis hermanos, quienes siempre están en mi mente y son los motivos para seguir adelante.

A mis amigos y compañeros de maestría, el conocerlos fue parte fundamental en mi formación académica y personal.

A Alexa Hernández, a quien admiro y respeto. Agradezco a Dios el poder conocerla, ya que me motiva a seguir consiguiendo más metas.

Muchas gracias a cada uno de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por brindarme la beca para realizar mis estudios de posgrado.

A la **Universidad Autónoma Chapingo** y a la **Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales** por permitirme realizar mis estudios de posgrado, así como por el financiamiento para el desarrollo de la investigación.

Al **Sr. Aparicio Martínez Pérez** y la **Comunidad Agraria de Ixtlán de Juárez** por las facilidades que amablemente me brindaron para la realización de la investigación.

Al **Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo**, quien durante estos dos años se mantuvo al pendiente del desarrollo académico y de la investigación, y compartió sus conocimientos que ha acumulado durante su vida profesional.

Al **Dr. Antonio Villanueva Morales** y **Dra. Ma. Amparo Máxima Borja de la Rosa**, por sus enseñanzas en la parte estadística, así como en la parte de redacción, las cuales serán de mucha ayuda en lo que resta de mi vida profesional.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Martin Paz Paz

Fecha de nacimiento: 13 de abril de 1996

Lugar de nacimiento: Oaxaca de Juárez, Oaxaca

CURP PAPM960413HOCZZR00

Profesión: Ingeniero Forestal

Cédula profesional: 11809565

Desarrollo académico

Bachillerato: Bachillerato Integral Comunitario 01, Guelatao de Juárez

Licenciatura: Universidad de la Sierra Juárez, Ingeniería Forestal

RESUMEN GENERAL

Calidad de planta en *Pinus patula* Schl. et Cham y *P. oaxacana* Mirov, producido con dos tratamientos de fertilización en Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Se evaluó la calidad de planta producida con tres tratamientos de fertilización, en *Pinus patula* Schl. et Cham y *Pinus oaxacana* Mirov. Los árboles fueron producidos durante 9 meses en el vivero forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Las variables medidas para evaluar la calidad de planta fueron: diámetro al cuello de la raíz, altura, peso anhidro aéreo y raíz, peso seco total, relación peso anhidro aéreo/raíz, coeficiente de esbeltez, índice de lignificación e índice de calidad de Dickson y el crecimiento potencial de raíz. Se analizó la supervivencia en campo a los doce meses de haber sido plantadas en áreas de la misma comunidad. En ambas especies se produjo planta con diámetro ≥ 3.5 mm y alturas de 28 a 42 cm. Los valores medios de las plantas fueron: 3.5 g (peso seco total), 4.4 (relación peso seco aéreo/raíz), 8.1 (coeficiente de esbeltez), 29.7% (índice de lignificación), 0.25 (índice de calidad de Dickson). La prueba de crecimiento potencial de raíz produjo en promedio 52 raíces nuevas. Al aplicar las fertilizaciones 2 y 3, en ambas especies evaluadas se obtuvo planta de calidad media y alta. A los 12 meses de establecimiento se obtuvo una supervivencia promedio de 47 %. Se determinaron diferencias significativas entre exposición ($\chi^2= 4.9143$, $p= 0.0266$), esquema de fertilización aplicado ($\chi^2 = 25.3738$, $p = < .0001$), pero no entre especies ($\chi^2= 0.0930$, $p= 0.7604$). Las variables que más se relacionaron con el riesgo de mortalidad en el sitio de plantación fueron: exposición, fertilización, diámetro y CPR.

Palabras clave: Calidad de planta, supervivencia de plantas, reforestación, viveros forestales, regresión de Cox.

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Martin Paz Paz

Director de tesis: Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo

GENERAL ABSTRACT

Pinus patula Schl. et Cham and *P. oaxacana* Mirov seedling quality produced with two fertilization treatments in Ixtlan de Juarez, Oaxaca, Mexico.

It was evaluated the *Pinus patula* Schl. et Cham and *P. oaxacana* Mirov. seedling quality under three fertilization treatments. The production cycle spanned along 9 months in the forest nursery Ixtlán de Juárez, state of Oaxaca, Mexico. The variables evaluated were: caliper, height, shoot, root and total anhydrous weight, shoot/root ratio, slenderness coefficient, lignification index and Dickson quality index, as well as the root growth potential. Field survival 12 months after planting in localities of the same community was analyzed. The seedlings of both species reached a caliper ≥ 3.5 mm and heights from 28 to 42 cm. The mean values were: 3.5 g (total dry weight), 4.4 (shoot/root ratio), 8.1 (slenderness coefficient), 29.7% (lignification index), 0.25 (Dickson quality index). The root growth potential test yielded 52 new roots. After the application of fertilization treatments 2 and 3, in both of the evaluated species were obtained mean and high quality seedlings. After 12 months of planting the mean survival was equal to 47 %. There were statistical significant differences for aspect ($\chi^2 = 4.9143$, $p = 0.0266$) and fertilization treatment ($\chi^2 = 25.3738$, $p = < .0001$), but not for species ($\chi^2 = 0.0930$, $p = 0.7604$). The variables more related to mortality risk in the planting site were aspect, fertilization, caliper and root growth potential.

Keywords: Seedling quality, seedling survival, reforestation, forest nurseries, Cox regression.

Master of Science Thesis, Master of Science in Forestry Sciences, Universidad Autónoma Chapingo, Mexico.

Author: Martin Paz Paz

Advisor: Dr Dante Arturo Rodríguez Trejo

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

A nivel global, de acuerdo con Xiao *et al.* (2006), actividades de cambio de uso de suelo y vegetación, se han convertido en uno de los principales problemas ambientales de mayor relevancia. México ha sufrido grandes afectaciones en sus ecosistemas, particularmente sus bosques provocando una pérdida de los mismos, por lo cual se pierden productos maderables y no maderables, fauna silvestre y suelo; se reduce la producción de oxígeno y fijación de carbono, y se altera el ciclo del agua, con consecuencias adversas como son periodos largos de sequía, temperaturas extremas, inundaciones, incremento de la temperatura promedio del planeta, entre otros (Soberón *et al.*, 2009; Velázquez *et al.*, 2010).

Derivado del problema descrito, la promoción de programas de reforestación y forestación para mantener la cubierta vegetal son de suma importancia, dado que ayudan a revertir en buena medida los daños producidos al suelo y el ambiente, puesto que, procesos ecológicos como la regeneración natural, en muchos casos, se ve afectada por condiciones ambientales adversas y/o la baja producción de semillas forestales (Avila-Campuzano *et al.*, 2011; Saenz-Romero & Lindig-Cisneros, 2004).

En México una actividad importante es la reforestación, con esto se busca recuperar la cubierta vegetal de las áreas degradadas y deforestadas, y mantener la productividad de los bosques sometidos a actividades de manejo forestal (Wightman & Cruz, 2003). El éxito de los programas de reforestación en zonas de aprovechamiento forestal esta influenciado por una variedad de factores y dependen en gran medida de las buenas características morfológicas y fisiológicas de la planta producida en vivero, la calidad dichas características influye para tener mayores índices de supervivencia y desarrollo a partir de su disposición en el lugar de plantación (South *et al.*, 1985; Villar-Salvador, 2003).

Establecer en campo plantas de buena calidad reduce de manera notable la incidencia de los elementos limitantes del lugar de plantación, en el periodo de establecimiento y crecimiento inicial (Ortega *et al.*, 2006). Características particulares como: tipo, forma y tamaño de contenedor, sustrato apropiado,

esquema de riego y fertilización, repercuten en la calidad y establecimiento de las plántulas en campo (Grossnickle, 2012).

La utilización de diversas técnicas en vivero condiciona la calidad de planta obtenida al final de periodo de producción, dicha calidad debe cumplir con ciertas características morfológicas y fisiológicas, las cuales repercuten en su adaptación y desarrollo en diferentes condiciones climáticas y edáficas (Prieto-Ruíz *et al.*, 2012; Rodríguez-Trejo, 2008).

Rodríguez-Trejo (2008) define a la calidad de planta como “una serie de atributos morfológicos y fisiológicos de los individuos que les permite aclimatarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio donde se establecen”. Rodríguez-Trejo, (2008) y Sigala-Rodriguez *et al.* (2012) mencionan que las características genéticas del germoplasma y el método de producción incide también en dicha calidad.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Determinar la calidad de planta, a través de indicadores morfológicos, en dos especies arbóreas producidas con diferentes tratamientos de fertilización controlada, en el vivero de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

1.1.2 Específicos

- Evaluar diferentes esquemas y porciones de fertilización de aplicación controlada en el desarrollo de brinzales de dos especies de coníferas en vivero.
- Comparar la calidad de planta producida en vivero por medio de indicadores morfológicos de dos especies de coníferas, desarrolladas con dos tratamientos de fertilización, después de un periodo de nueve meses de crecimiento.
- Evaluar la supervivencia de la planta producida en vivero, con diferentes tratamientos de fertilización, después de un periodo de doce meses de haber sido plantada en campo.

1.2 Hipótesis

El tratamiento de fertilización propuesto se acerca al óptimo y produce planta de calidad con buena supervivencia en campo, donde la exposición norte tendrá mejor supervivencia que la sur.

1.3 Referencias

- Avila-Campuzano, R. G., Del Carmen Gutierrez-Castorena, M., Ortiz-Solorio, C. A., Angeles-Cervantes, E., & Sanchez-Guzman, P. (2011). Evaluación de las reforestaciones en la formación de suelo a partir de tepetates. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 17(3), 303–312. <https://doi.org/10.5154/r.rchsc/2010.11.113>
- Grossnickle, S. C. (2012). Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New Forests*, 43(5–6), 711–738. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>
- Ortega, U., Kidelman, A., Hevia, A., Alvarez-Roy, E., & Majada, J. (2006). Control de calidad de planta forestal. *Boletín Informativo Del SERIDA - n.º 3*, 23–28.
- Prieto-Ruíz, J. A., Domínguez-Calleros, P. A., Návar-Chaidez, J. D. J., & Cornejo-Oviedo, E. H. (2004). Factores que influyen en la producción de Pinus cooperi blanco en vivero. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 10(1), 63–70.
- Prieto-Ruíz, J. A., García-Rodríguez, J. S., Mejía Bojórquez, J. M., & Aguilar Vitela, J. L. (2009). Producción de Planta del Género Pinus en Vivero en Clima Templado Frío. *SAGARPA-INIFAP-Campo Experimental Valle Del Guadiana*, 1–53.
- Prieto-Ruíz, J. A., García-Rodríguez, J. S., Mónarres-González, J. C., & Madrid-Aispuro, R. E. (2012). *Producción de planta del género Pinus* (p. 52 p). Centro de Investigación Regional Norte Centro Campo Experimental Valle del Guadiana.
- Rodríguez-Trejo, Arturo Dante. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal* (1a ed.). Mundi-Prensa. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/21586>
- Ruano, M. J. R. (2003). *Viveros Forestales, Manual de cultivo y proyectos*. Mundi Prensa.
- Saenz-Romero, C., & Lindig-Cisneros, R. (2004). Evaluación y propuestas para el programa de reforestación en Michoacan, México. *Ciencia Nicolaita*, 37(January 2016), 107–120.
- Sigala-Rodriguez, A. J., Sosa-Pérez, G., Martínez-Salvador, M., & Jacinto-Soto, R. (2012). *Influencia de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de plantaciones forestales en Chihuahua* (Primera). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

- Soberón, J., Halffter, G., & Llorente-Bousquets, J. (2009). Conocimiento actual de la biodiversidad. In J. Sarukhán (Ed.), *El capital natural de México: Estado de conservación y tendencias de cambio. Volumen I* (CONABIO, pp. 75–129). CONABIO.
- South, D. B., Boyer, J. N., & Bosch, L. (1985). Survival and Growth of Loblolly Pine as Influenced By Seedling Grade: 13-Year Results. *Southern Journal of Applied Forestry*, 9(2), 76–81. <https://doi.org/10.1093/sjaf/9.2.76>
- Velázquez, A., Mas, J.-F., Bocco, G., & Palacio-Prieto, J. L. (2010). Mapping land cover changes in Mexico, 1976-2000 and applications for guiding environmental management policy. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 31(2), 152–162. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9493.2010.00398.x>
- Villar-Salvador, P. (2003). Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. In *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos* (pp. 65–86).
- Wightman, K. E., & Cruz, B. S. (2003). La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Foresta Veracruzana*, 5, 45–51.
- Xiao, J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, R., Tang, C., Liang, Y., & Huang, Z. (2006). Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 75(1–2), 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.12.005>

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción de planta en vivero

A nivel nacional, las altas tasas de deforestación, el intensivo cambio de uso de suelo a tierras de cultivo, han llevado a la necesidad de establecer estrategias de forestación y reforestación para revertir estas pérdidas de vegetación, para lo cual es necesaria la producción de planta; debido a, lo anterior, es importante desarrollar e implementar estrategias para lograr un suministro sostenible de germoplasma o material de siembra, para cualquier proyecto de restauración ecológica basado en plantas (Broadhurst *et al.*, 2015). Con el fin de suministrar toda la planta requerida para estas actividades, se han establecido a lo largo de los años, cientos de viveros forestales en todo el país, algunos de ellos con tecnología avanzada, y en otros aún se sigue experimentando en la producción.

Para una buena producción de planta en vivero, es de vital importancia contar con un sustrato en el cual el crecimiento sea adecuado, dado que este es el responsable de aportar las funciones de soporte físico, retener agua y nutrientes, permitir la difusión de oxígeno a las raíces y la depuración de dióxido de carbono (Tsakalimi, 2006). En la mayoría de los viveros tecnificados, se usa envases plásticos rígidos y principalmente turba de musgo (*peat moss*), perlita y vermiculita, combinación conocida como mezcla estándar o mezcla base, como medio de crecimiento para la producción de las plantas (Sánchez-Córdova *et al.*, 2008).

La producción en vivero es el momento en el que es posible llevar a cabo un control sobre ciertas variables que afectan la producción de planta de calidad, por lo cual es el punto esencial de partida para poder realizar cualquier programa de plantación (Dumroese *et al.*, 2016). Algunos factores que son importantes en la producción de plantas en vivero son: tamaño de bolsa o contenedor, densidad, trasplante, tipo de sustrato, riegos, fertilización, micorrizas, temperatura, luz, remociones y podas de raíz, cuidados contra plagas y enfermedades, adecuada fase de endurecimiento, carga, transporte y descarga, concentración, arrime y plantación (Rodríguez-Trejo, 2008).

Haciendo énfasis en los factores: tipo de sustrato y fertilización, se tiene que, el tipo de sustrato, se debe seleccionar de manera adecuada y debe tener propiedades físicas y químicas que permitan la disponibilidad oportuna de los nutrimentos y el agua (Burés, 1997; García *et al.*, 2001) un buen sustrato influye directamente en la calidad de producción de las plántulas en vivero, por ello se deben buscar opciones viables que garanticen la calidad de la planta (Arteaga-Martínez *et al.*, 2003). Por otro lado, la fertilización constituye un medio para abastecer una porción significativa de los nutrientes demandados por las plantas en los viveros, para esto existen fertilizantes solubles y de liberación controlada (Rose *et al.*, 2004), cada uno con distintas características, pero cuyo uso de manera eficiente y adecuada en términos de dosis, impacta de manera sobresaliente en las características morfológicas de la planta al final del ciclo de producción (Vicente-Arbona *et al.*, 2019)

2.2 Planta de calidad.

La calidad de planta en vivero ha sido estudiada en diversos países, y principalmente en Estados Unidos, donde se han establecido desde hace varias décadas normas para clasificar tal calidad en vivero. Tillotson (1917) escribió la obra "*Nursery practice on the national forests*", dentro de ella hace una breve discusión sobre los estándares de clasificación de plantas en vivero, siendo la primera definición de calidad de planta.

Durante los años 1930 y posteriores en Estados Unidos, se elaboraron manuales que dedicaron secciones a explicar las normas de clasificación y la importancia del diámetro del tallo como una especificación de las plantas objetivo (Mexal & Landis, 1990). Dentro de estos estudios, se observó que la mejor característica morfológica para clasificar las plantas es el diámetro del tallo.

En 1960 se probaron en brinzales de *Picea glauca* (Moench) Voss y *Pinus strobus* L., de cuatro viveros del noreste de los Estados Unidos, siete fórmulas que combinaron en formas diferentes indicadores morfológicos como el diámetro del cuello, altura, peso seco total, de la parte aérea y subterránea (Dickson *et al.*, 1960a). De estos modelos surgió lo que se le conoce como el Índice de Dickson,

siendo la fórmula que mejor explicaba la calidad de la planta bajo las especificaciones establecidas por las normas de los viveros (Dickson et al., 1960b, 1960a).

En México autores como Prieto-Ruíz *et al.*, (2009, 2012); Rodríguez-Trejo, (2008), han referido algunos estándares para evaluar la calidad de planta en vivero, sin embargo, el tema aún se sigue investigando, dada la gran cantidad de especies arbóreas tanto de coníferas como latifoliadas que posee el país (3364 de ellas, conforme a Beech *et al.*, 2017).

Rodríguez-Trejo (2008) suscribe que la calidad de planta refiere a aquellas que poseen ciertas propiedades morfológicas y fisiológicas que le permiten establecerse, crecer y desarrollarse vigorosamente en el sitio de plantación. Por otra parte, Prieto-Ruiz *et al.*, (2004) mencionan que la calidad de planta es uno de los factores más importantes que condicionan el éxito de una plantación o reforestación, sea el caso. La calidad de las plantas se refleja en la integración de una multitud de características fisiológicas y morfológicas de la plántula (Ritchie *et al.*, 2010).

La evaluación de la calidad de planta puede hacerse a través del análisis individual de las variables o mediante la interacción de más de un atributo como puede ser: relación altura/diámetro del cuello, relación altura del tallo /longitud de la raíz principal, o a través del índice de calidad de Dickson que relaciona el peso seco total de la planta y su altura, diámetro del cuello más el peso seco de la parte aérea y peso seco de sus raíces (Prieto *et al.* 2011 citado por Sáenz-Reyes *et al.*, 2014).

De esta manera, el control de calidad de planta basado en los estándares morfológicos se limita solo a realizarse a nivel de vivero, dejando de lado otros aspectos importantes, lo cual ya alcanzados ciertos estándares morfológicos y fisiológicos en vivero, se debe proceder a que dichos estándares sean comprobados estadísticamente en campo (Rodríguez-Trejo, 2008).

2.3 Atributos de planta en vivero

Atributos morfológicos

Estos rasgos se pueden ver y medir fácilmente, como: diámetro (Diam), altura (Alt), peso seco total (PST), peso seco de la parte aérea (PSA) y peso seco de raíces (PSR). Se han propuesto índices que relacionan las variables anteriores, como el Índice de esbeltez (IE), la relación PSA/PSR, el índice de calidad de Dickson (ICD) y el índice de lignificación (IL). Durante el proceso de cosecha a plantación, estos rasgos no cambian apreciablemente (Ritchie et al., 2010).

Atributos fisiológicos

De acuerdo con Ritchie *et al.* (2010), estos rasgos no son fácilmente visibles y deben medirse con instrumentos o mediante procedimientos de laboratorio. En contraste con las características morfológicas, los atributos fisiológicos cambian con frecuencia y, a veces, de manera espectacular durante el proceso de producción a plantación. Por lo tanto, cualquier medición de la calidad fisiológica es "instantánea", relevante sólo por un breve momento. Algunos atributos fisiológicos comunes incluyen el potencial hídrico, la concentración foliar de nutrientes, la concentración de carbohidratos no estructurales (CNE), la fotosíntesis neta y el índice de mitosis, entre otros.

Atributos de rendimiento

Estos rasgos solo pueden evaluarse sometiendo las plantas a ciertos protocolos de prueba predefinidos y observando su rendimiento. Ritchie *et al.* (2010) mencionan que las pruebas de rendimiento tienen un gran valor porque evalúan e integran un amplio espectro de rasgos morfológicos y fisiológicos a la vez. Desafortunadamente, las pruebas de rendimiento son laboriosas, requieren mucho tiempo y, por lo tanto, son caras. Sin embargo, debido a su atractivo intuitivo, este tipo de pruebas ha encontrado un amplio uso en la evaluación de la calidad de la planta. Una de las pruebas de rendimiento más antiguas y aún más utilizadas es la prueba de potencial de crecimiento de raíces, pero también

las hay de resistencia al frío y a la sequía, así como la latencia de las yemas (esta última para especies de ambientes templado-fríos o fríos), entre otras.

2.4 Supervivencia en campo

Flores *et al.* (2021) mencionan que las plantas del género *Pinus* son las más utilizadas en los programas de reforestación en México, esto se vincula a la diversidad de esta especie en el país y que algunos pinos son de importancia económica debido a la obtención de madera (Filer & Farjon, 2013; Sánchez-González, 2008).

En México, las tasas de supervivencia de las reforestaciones son menores al 60% durante el primer año; la sequía, fechas inadecuadas de plantación y baja calidad de las plántulas son las principales causas de mortalidad de las plantaciones (FCF-UANL, 2009; UACH, 2011; citados por Sigala-Rodríguez *et al.*, (2014). Esta baja supervivencia de las plántulas se asocia directamente con una baja calidad de los brinzales (Escobar-Alonso & Rodríguez-Trejo, 2019).

La mala calidad de las plantas llevadas a campo influye directamente en la supervivencia de estas. De modo que tal, calidad está relacionada con su posibilidad de morir y su potencial de crecimiento después del trasplante en el campo (Negreros-Castillo *et al.*, 2010). Sánchez-González (2008) menciona que llevar a campo plantas de buena calidad, reduce de manera notable, los efectos limitantes del sitio de plantación en el establecimiento y crecimiento inicial de una reforestación.

Algunos autores como Barrera-Ramírez *et al.* (2018) y Muñoz-Flores *et al.* (2011) atribuyen que el éxito o fracaso de las reforestaciones en México, está estrechamente ligado a el clima. La sequía como una condición meteorológica de falta de lluvia, es un factor esencial para la supervivencia de las plantas, eso se traduce en estrés hídrico para estas, el cual es una de la principales causas de muerte en zonas de reforestación (Luna-Flores *et al.*, 2012). La supervivencia de las plantas está influenciada también por la fecha de plantación; diversos autores han confirmado que establecer las plantaciones en fechas tempranas, una vez definido la época de lluvias, aseguran el éxito de la supervivencia hasta 90 %, un

retraso en establecer la plantación compromete la supervivencia (Royo *et al.*, 2000; Corchero *et al.*, 2002; Navarro *et al.*, 2004; Jinks *et al.*, 2006; citados por Barrera-Ramírez *et al.* (2018).

En las regiones montañosas templadas, la exposición también puede influir en la humedad y la temperatura del suelo. En zonas del hemisferio norte con pendientes moderadas, los sitios con exposición norte tienden a tener mayor humedad del suelo y temperaturas moderadas en el verano debido a un mayor tiempo con sombra a lo largo del año, mientras que los sitios con orientación sur y oeste son más secos y cálidos, debido en parte a mayores cantidades de radiación directa durante el día (Griffiths *et al.*, 2009). Esta característica está estrechamente relacionada con el estrés hídrico que puede llegar a tener una planta en el sitio que fue establecida.

2.5 Referencias

- Arteaga-Martínez, B., León, S., & Amador, C. (2003). Efecto de la mezcla de sustratos y fertilización sobre el crecimiento de *Pinus durangensis* Martínez en vivero. *Foresta Veracruzana*, 5(2), 9–16.
- Barrera-Ramírez, R., López-Aguillón, R., & Muñoz-Flores, H. J. (2018). Supervivencia y crecimiento de *Pinus pseudostrobus* Lindl., y *Pinus montezumae* Lamb. en diferentes fechas de plantación Survival. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 323–341. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.245>
- Beech, E., Rivers, M., Oldfield, S., & Smith, P. P. (2017). GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions. *Journal of Sustainable Forestry*, 36(5), 454–489. <https://doi.org/10.1080/10549811.2017.1310049>
- Broadhurst, L. M., Jones, T. A., Smith, F. S., North, T., & Guja, L. (2015). Maximizing Seed Resources for Restoration in an Uncertain Future. *BioScience*, 66(1), 73–79. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv155>
- Burés, S. (1997). *Sustratos* (Primera). Mundi-Prensa. Madrid, España
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960a). Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Dumroese, K. R., Landis, T. D., Pinto, J. R., Haase, D. L., Wilkinson, K. W., & Davis, A. S. (2016). Meeting forest restoration challenges: Using the Target Plant Concept Associate Professor of Native Plant Regeneration and

- Escobar-Alonso, S., & Rodríguez-Trejo, A. D. (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.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.558>
- Filer, D., & Farjon, A. (2013). *An Atlas of the World's Conifers: An Analysis of their Distribution, Biogeography, Diversity and Conservation Status*.
<https://doi.org/10.1163/9789004211810>
- Flores, A., Romero-sánchez, M. E., & Pérez-miranda, R. (2021). Potencial de restauración de bosques de coníferas en zonas de movimiento de germoplasma en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(63), 4–27.
- García, O., Alcántar, G., Cabrera, R. I., Gavi, F., & Volke, V. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana*, 19(3), 249–258.
- Griffiths, R. P., Madritch, M. D., & Swanson, A. K. (2009). The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): Implications for the effects of climate change on soil properties. *Forest Ecology and Management Journal*, 257, 1–7.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.010>
- Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osorio, J. J. M., & Pinzón-López, L. L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30, 343–353.
- Mexal, J. G., & Landis, T. D. (1990). Target Seedling Concepts : Height and Diameter. In R. Rose, S. J. Campbell, & T. D. Landis (Eds.), *Proceedings, Western Forest Nursery Association* (1 a, pp. 17–35). Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- Muñoz-Flores, H. J., Orozco, G., Coria-Avalos, V. M., García-Sánchez, J. J., & Muñoz-Vega, Y. Y. (2011). Evaluación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. con dos densidades de plantación en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*, 13(1), 29–35.
- Negreros-Castillo, P., Apodaca-martinez, M., & Mize, C. W. (2010). Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro , caoba y roble. *Madera y Bosques*, 16(2), 7–18.
- Prieto-Ruíz, J. A., Domínguez-Calleros, P. A., Návar-Chaidez, J. D. J., & Cornejo-Oviedo, E. H. (2004). Factores que influyen en la producción de *Pinus cooperi* blanco en vivero. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 10(1), 63–70.

- Prieto-Ruíz, J. A., García-Rodríguez, J. S., Mejía Bojórquez, J. M., & Aguilar Vitela, J. L. (2009). Producción de Planta del Género *Pinus* en Vivero en Clima Templado Frío. *SAGARPA-INIFAP-Campo Experimental Valle Del Guadiana*, 1–53.
- Prieto-Ruíz, J. A., García-Rodríguez, J. S., Mónarres-González, J. C., & Madrid-Aispuro, R. E. (2012). *Producción de planta del género Pinus* (p. 52 p). Centro de Investigación Regional Norte Centro Campo Experimental Valle del Guadiana.
- Ritchie, G. A., Landis, T., Dumroese, K., & Haase, D. (2010). Assessing Plant Quality. In T. D. Landis, K. R. Dumroese, & D. L. Haase (Eds.), *The Container Tree Nursery Manual* (7a ed., p. 200). United States Department of Agriculture. Forest Service.
- Rodríguez-Trejo, A. D. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal* (1a ed.). Mundi-Prensa. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/21586>
- Rose, Robin., Haase, D. L., & Arellano, E. (2004). Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque (Valdivia)*, 25(2), 89–100. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002004000200009>
- Sáenz-Reyes, T. J., Muñoz-Flores, J. H., Pérez, C. M. Á. D., Rueda-Sánchez, A., & Hernández-Ramos, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero “ Morelia ”, estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98–111.
- Sánchez-Córdova, T., Aldrete, A., Cetina-Alcalá, V. M., & López-Upton, J. (2008). Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín Growth media characterization based on pine bark and sawdust. *Madera y Bosques*, 14(2), 41–49.
- Sánchez-González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera Bosques*, 14, 107–120. <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1411222>
- Sigala-Rodríguez, A. J., Sosa-Pérez, G., Sarmiento-López, H., & Rosales-mata, S. (2014). Análisis de riesgos para la supervivencia de una reforestación con *Pinus arizonica* Engelm . en Chihuahua , México. *Revista Forestal Baracoa*, 33, 24–32.
- Tillotson, C. R. (1917). *Nursery Practice on the National Forests : Vol. I*. USDA Agric. Bull. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=qYzBwY-aut0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Nursery+practice+on+the+national+forests&ots=CCYIAWTFNV&sig=gvkS7R5tjiUyBnJo3N83osShI_g#v=onepage&q=Nursery+practice+on+the+national+forests&f=false
- Tsakalimi, M. (2006). Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) core and rice hulls as components of container media for growing *Pinus halepensis* M. seedlings. *Bioresource Technology*, 97(14), 1631–1639.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.07.027>

Vicente-Arbona, J. C., Carrasco-Hernández, V., Rodríguez-Trejo, D. A., & Villanueva-Morales, A. (2019). Calidad de planta de *Pinus greggi* producida en sustrato a base de aserrín. *Madera y Bosques*, 25(2), 1–14. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521784>

3 CALIDAD DE PLANTA Y SUPERVIVENCIA DE DOS ESPECIES DE PINO EN IXTLÁN, OAXACA.

3.1 Resumen

Se evaluó la calidad de planta producida con tres tratamientos de fertilización, en *Pinus patula* Schl. et Cham y *P. oaxacana* Mirov. Los árboles fueron producidos durante 9 meses en el vivero forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Las variables medidas para evaluar la calidad de planta fueron: diámetro al cuello de la raíz, altura, peso seco aéreo y raíz, peso seco total, relación peso seco aéreo/raíz, coeficiente de esbeltez, índice de lignificación e índice de calidad de Dickson y crecimiento potencial de raíz. Se analizó la supervivencia en campo a los doce meses de haber sido plantadas en áreas de la misma comunidad. En ambas especies se produjo planta con diámetro ≥ 3.5 mm y alturas de 28 a 42 cm. Los valores medios de las plantas fueron: 3.5 g (peso seco total), 4.4 (relación peso seco aéreo/raíz), 8.1 (coeficiente de esbeltez), 29.7% (índice de lignificación), 0.25 (índice de calidad de Dickson). La prueba de crecimiento potencial de raíz produjo en promedio 52 raíces nuevas. Al aplicar las fertilizaciones 2 y 3, en ambas especies evaluadas se obtuvo planta de calidad media y alta. A los 12 meses de la plantación se obtuvo una supervivencia promedio de 47 %. Se determinaron diferencias significativas entre exposición ($p= 0.0266$), esquema de fertilización aplicado ($p = < .0001$), pero no entre especies ($p= 0.7604$). Las variables que más se relacionaron con el riesgo de mortalidad en el sitio de plantación fueron: exposición, fertilización, diámetro y CPR.

Palabras clave: Calidad de planta, *Pinus patula* Schl. et Cham, *Pinus oaxacana* Mirov, supervivencia de plantas, reforestación.

3.2 Abstract

It was evaluated the *Pinus patula* Schl. et Cham and *P. oaxacana* Mirov. seedling quality under three fertilization treatments. The production cycle spanned along 9 months in the forest nursery Ixtlán de Juárez, state of Oaxaca, Mexico. The variables evaluated were: caliper, height, shoot, root and total dry weight, shoot/root ratio, slenderness coefficient, lignification index and Dickson quality index, as well as the root growth potential. Field survival 12 months after planting in localities of the same community was analyzed. The seedlings of both species reached a caliper ≥ 3.5 mm and heights from 28 to 42 cm. The mean values were: 3.5 g (total dry weight), 4.4 (shoot/root ratio), 8.1 (slenderness coefficient), 29.7% (lignification index), 0.25 (Dickson quality index). The root growth potential test yielded 52 new roots. After the application of fertilization treatments 2 and 3, in both of the evaluated species were obtained mean and high quality seedlings. After 12 months of planting the mean survival was equal to 47 %. There were statistical significant differences for aspect ($p= 0.0266$) and fertilization treatment ($p = < 0.0001$), but not for tree species ($p= 0.7604$). The variables more related to mortality risk in the planting site were aspect, fertilization, caliper and root growth potential.

Keywords: Seedling quality, *Pinus patula* Schl. et Cham, *Pinus oaxacana* Mirov, seedling survival, reforestation.

3.3 Introducción

Estudios recientes a escala global, como los de Aleixandre-Benavent *et al.*, (2018) y Andrée *et al.* (2019) concluyen que, en los últimos 50 años, el ser humano ha modificado los ecosistemas del planeta más rápida y extensivamente que en cualquier otro periodo de la historia para satisfacer la creciente demanda de alimentos, agua, madera, fibras y combustibles. La deforestación es un gran problema para los países en desarrollo ya que causa pérdida de la biodiversidad y favorece el aumento del efecto invernadero (Hein *et al.*, 2018).

México no está exento de estas tendencias, en cuanto a tasas de deforestación, incremento de las áreas de cultivo y pastoreo y, expansión urbana, entre muchos otros problemas (Mas *et al.*, 2004; Rosete-Vergés *et al.*, 2014). La deforestación conlleva a problemas que afectan globalmente a los recursos naturales y a la población: cambio climático, pérdida del suelo y de los recursos hídricos, entre otros (Chakravarty *et al.*, 2012).

Los programas de reforestación en México son una estrategia permanente para recuperar, mantener y aumentar las áreas forestales y reducir la degradación de las tierras forestales (Flores *et al.*, 2021). De acuerdo con Barrera-Ramírez *et al.* (2018) y Muñoz-Flores *et al.* (2011) el éxito o fracaso de estos programas de reforestación está ligado fuertemente al clima, aunque Burney *et al.* (2015) y Escobar-Alonso & Rodríguez-Trejo (2019) asocian que el bajo porcentaje de supervivencia de las reforestaciones se debe también a la mala calidad de la planta. A nivel nacional, la mortalidad en plantaciones forestales en la última década (2007 a 2017) ha pasado de 40 a 60 % al año de establecimiento (Barrera-Ramírez *et al.* 2018).

Con el propósito de abastecer de planta a dichos programas de reforestación, existen cientos de viveros forestales en todo el país, y solo algunos de ellos operan con tecnología avanzada (Robles *et al.*, 2017). Este tipo de viveros buscan, a través de su tecnología, generar planta de calidad por lo cual basan su

producción en contenedores con una correcta densidad de planta, un sustrato apropiado, un esquema de riego y fertilización adecuado, un buen control de plagas y enfermedades y, un uso correcto de las etapas de cultivo, que incluya la fase de endurecimiento, que de acuerdo con Rodríguez-Trejo (2008) son los componentes y operaciones que más inciden en la calidad de planta. El mismo autor menciona que dicha calidad se debe visualizar en dos formas: la primera, obtener estándares morfológicos y fisiológicos, que denoten su calidad; y la segunda, evaluar estadísticamente en campo dichos estándares, mismos que, en México, han sido escasamente evaluados.

Flores *et al.* (2021) mencionan que las plantas del género *Pinus* son las más utilizadas en los programas de reforestación en México, ya que tienen gran importancia ecológica (diversidad de esta especie), económica y social. Además, su alto valor económico, ya que son fuente de madera, leña, pulpa, resinas, semillas comestibles y otros productos (Filer & Farjon, 2013; Sánchez-González, 2008).

Pinus patula. (Ocote, pino rojo, pino gacho). Se trata de, una especie de gran importancia económica y ecológica debido a su potencial productivo y capacidad para adaptarse a diferentes condiciones climáticas y de suelos; es ampliamente utilizado para proyectos de reforestación y plantaciones forestales comerciales que tienen como finalidad la producción de madera de buena calidad por su bajo contenido de resina, libre de nudos y fuste recto (Romero-Arenas *et al.*, 2012).

P. oaxacana Mirov, se aprovecha su madera en rodales naturales, es una especie con potencial para reforestación, agroforestería y plantaciones comerciales maderables, por la calidad de su madera y rápido crecimiento, aunado a la alta diversidad genética y amplia distribución altitudinal (Cambrón *et al.*, 2013; Villegas-Jiménez *et al.*, 2016)

En los bosques de la comunidad de Ixtlán de Juárez, *Pinus patula* Schl. et Cham y *Pinus oaxacana* Mirov son las especies con mayor dominancia, por lo que las actividades de manejo se centran en el aprovechamiento forestal de estas especies. En este contexto, se planteó como objetivo evaluar la calidad de planta

en vivero producida con tres esquemas de fertilización para ambas especies, así como su supervivencia en campo después de 12 meses de haber sido plantadas en las zonas sujetas a reforestación de la misma comunidad.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Área de estudio

Este estudio se realizó en el vivero forestal tecnificado de la comunidad de Ixtlán de Juárez en la Sierra Norte de Oaxaca (17° 20' N y 96° 29' O, a 2030 m s.n.m.), ahí la temperatura media anual es de 18.3 °C, con 759.3 mm de precipitación media anual (Villegas-Jiménez *et al.*, 2016; Zacarías-Eslava & del Castillo, 2010).

El vivero es de estructura metálica con 2.8 m de altura, cubierta con malla sombra del 50%, tiene una capacidad instalada para producir 500 000 plantas por ciclo productivo, utiliza charolas de plástico de 24 cavidades de 143 ml, con un sistema de riego de robots con microaspersión y dosificador hidráulico de agroquímicos.

3.4.2 Especies de interés

Las especies incluidas en la presente investigación corresponden a la producción programada para el ciclo de reforestación de agosto-septiembre del año 2021:

-*Pinus patula* Schl. et Cham y

-*Pinus oaxacana* Mirov

3.4.3 Semillas

Las semillas de ambas especies provinieron de los bosques comunales de Ixtlán de Juárez Oaxaca; recolectadas de árboles identificados como “árboles plus”. Una vez extraídas las semillas de los conos, estas se depositaron en una máquina de limpieza, marca BCC®, donde fueron separadas por tamaño y recibieron una primera limpieza. En otra maquina limpiadora de la misma marca, las semillas vacías y parcialmente desarrolladas se separan de las semillas completamente desarrolladas y se quitan las impurezas ligeras y el polvo.

3.4.4 Fase de vivero

3.4.4.1 Contenedor, sustrato y siembra

La siembra se realizó en contenedores de polietileno de 24 cavidades, de 143 ml por cavidad, 10 cm de altura, sección transversal circular, diámetro superior e inferior, de 5 y 4 cm respectivamente, ocho canales guadores de raíz, con drenaje típico (aberturas en el fondo del envase). El sustrato utilizado fue una mezcla compuesta por turba de musgo (*peat moss*), agrolita y vermiculita (40, 20 y 40% respectivamente). Se sembraron dos semillas de cada especie por cavidad.

3.4.4.2 Etapas de cultivo, fertilización y riego.

Para todos los tratamientos la primera fertilización fue al sustrato utilizado, se aplicó fertilizante granular de liberación lenta, Multicote Agri® formulación 18-6-12 de N-P-K, a una dosis de 2.5 kg/m³ de sustrato. Se establecieron tres etapas de fertilización; establecimiento, crecimiento y endurecimiento, las cuales fueron de la 5^a a 12^a, 13^a a 22^a y 23^a a 34^a semana respectivamente. En las tres etapas se utilizó fertilizante soluble Foresta® en las formulaciones siguientes: etapa de establecimiento formulación 09-45-15 de N-K-P, etapa de crecimiento formulación 20-10-20 de N-K-P y en la de endurecimiento formulación 04-25-35 de N-K-P. En la etapa de germinación y establecimiento los riegos fueron ligeros y de manera continua (diario), a saturación diaria en la etapa de crecimiento y a saturación cada tercer día en la etapa de endurecimiento.

3.4.4.3 Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA) con un arreglo de tratamientos factorial 2x3; el primer factor (A) fue la especie evaluada, con dos niveles: 1) *Pinus oaxacana* Mirov, y 2) *Pinus patula* Schl. et Cham, el segundo factor (B) fue el esquema de fertilización aplicado con tres niveles: Fertilización 1) 100 ppm P, 64.2 ppm K y 46.4 ppm N (etapa de establecimiento), 100 ppm N, 83 ppm K y 21.5 ppm P (etapa de crecimiento) y 125 ppm K, 46.2 ppm K y 17.2 ppm N (etapa de endurecimiento). Fertilización 2) 120 ppm P, 77 ppm K y 56 ppm N (etapa de establecimiento), 120 ppm N, 99.6

ppm K y 25.8 ppm P (etapa de crecimiento) y 150 ppm K, 55.9 ppm P y 20.8 ppm N (etapa de endurecimiento). Fertilización 3) adición de fertilizante soluble mineral sólido inorgánico ELIXIR SUPREME® formulación 12-11-18 de N-K-P, aplicación de 0.6 g/l cada cuatro semanas a la base del tallo de la planta a partir de la 5ª semana. Se generaron 6 tratamientos y se trabajó con 6 unidades experimentales por tratamiento (la unidad experimental es una charola de 24 cavidades), con un total de 36 unidades experimentales.

3.4.5 Análisis de calidad de planta

3.4.5.1 Indicadores morfológicos

Después de 9 meses de crecimiento, se eligieron al azar 7 brinzales de cada uno de los 6 tratamientos generados, para medirles las siguientes características morfológicas:

Altura. Se midió con una regla graduada en centímetros, desde el cuello de la raíz hasta la punta de la yema apical.

Diámetro a la base del tallo. Se obtuvo con un vernier digital (mm) marca Truper®.

Longitud de raíz. Se midió con una regla graduada en centímetros, desde inicio de la parte radical hasta la punta de la raíz principal.

Biomásas aéreas y del sistema radical. Al tallo se le quitaron las acículas, se realizó un corte para separar el sistema radical del tallo y fueron pesadas por separado en una balanza analítica (VELAB® modelo VE-204) precisión de 0.0001 g y colocadas en bolsas de papel estraza, etiquetadas. Este proceso se realizó para todas las plantas de la muestra, con esto se obtuvo el peso fresco por cada parte de la planta y por ende el peso total.

Biomasa en seco de la parte aérea y del sistema radical: Una vez obtenido el peso húmedo de la parte aérea y del sistema radicular, las plantas se colocaron en bolsas de papel estraza con su respectiva etiqueta (especie y tratamiento) y se deshidrataron en una estufa de secado a 70 °C por 72 h; hasta obtener peso constante; se pesaron en la balanza analítica ya referida.

Índices morfológicos

Coeficiente de esbeltez (CE) o Índice de robustez (IR). Este índice relaciona la altura (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm) de la planta (Duryea, 1985), y se determinó de la siguiente manera:

$$CE = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro del cuello de la raíz (mm)}}$$

Relación entre peso seco aéreo y peso seco radical (BSA/BSR). Con los datos de peso seco obtenidos de cada una de las partes de las plantas, se obtuvo este indicador:

$$BSA/BSR = \frac{\text{Peso seco de la parte aérea (g)}}{\text{Peso seco de la parte subterránea o raíz (g)}}$$

Peso relativo de la parte aérea (PRA), que indica la proporción del peso seco de la planta que corresponde al brote:

$$PRA = \frac{\text{Peso seco de la parte aérea (g)}}{\text{Peso seco total (g)}}$$

Peso relativo de la raíz o parte subterránea (PRR), el cual denota la proporción de peso seco de la planta que corresponde a la parte subterránea.

$$PRR = \frac{\text{Peso seco radical (g)}}{\text{Peso seco total (g)}}$$

Relación altura/Longitud de la raíz (RA/LR). Este índice ha estimado el éxito de la plantación en algunos casos (Muñoz *et al.*, 2015). Se obtuvo de la siguiente manera:

$$RARL = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Longitud de raíz (cm)}}$$

Índice de calidad de Dickson (ICD). Reúne varios atributos morfológicos en un solo valor que es utilizado como índice de calidad (Dickson *et al.*, 1960a, 1960b):

$$ICD = \frac{Peso\ seco\ total\ (g)}{\frac{Altura\ (cm)}{Diámetro\ (mm)} + \frac{Peso\ seco\ parte\ aerea\ (g)}{Peso\ seco\ de\ la\ raíz\ (g)}}$$

Índice de lignificación: proporciona una estimación del grado de robustez que se necesita para que la planta soporte el estrés, como el hídrico, en el sitio de plantación (Prieto-Ruíz et al., 2009), consistió en determinar el porcentaje de peso seco, con relación al contenido de agua en las plantas (Prieto-Ruiz et al., 2004):

$$IL = \frac{Peso\ seco\ total\ (g)}{Peso\ humedo\ total\ (g)} * 100$$

3.4.6 Prueba de crecimiento potencial de la raíz

Al cumplir 9 meses de edad los árboles, se eligieron al azar 9 brinzales de cada uno de los tratamientos generados para realizar esta prueba. Una vez medida la altura y diámetro a base del cuello de cada planta se procedió a extraer la planta de la charola de plástico y cada una se replantó en macetas de 5 l con una mezcla de sustrato de 1/3 de agrolita, 1/3 de vermiculita y 1/3 de turba de musgo. Estas macetas se dispusieron con un diseño en bloques completos al azar en invernadero. El riego se realizó de manera constante permitiendo mantener un nivel de humedad en el sustrato no limitante para el crecimiento de las raíces, durante 28 días (Oliet et al., 2003). Transcurrido dicho plazo se extrajeron las plantas de las macetas, se lavaron los restos de sustratos adheridos a las mismas y se contaron las raíces nuevas mayores a 1 cm que sobresalían del cepellón. Tales raíces nuevas fueron identificadas por ser de color blanco y estar turgentes.

3.4.7 Fase de campo

3.4.7.1 Establecimiento de la reforestación

Transcurridos 9 meses de crecimiento de las plántulas en vivero, se procedió a llevarlas a campo para la evaluación de supervivencia, para ello se revisaron las áreas sujetas a reforestación en la comunidad de Ixtlán de Juárez, y de estas se eligieron dos sitios con exposiciones contrarias y a una altitud similar. En cada sitio con exposición sur y norte (Cuadro 1), se establecieron 40 plantas por

combinación de especie-tratamiento, divididas en 4 repeticiones (10 plantas) y plantadas en marco real a 1.5 m de distancia entre ellas. En total se establecieron 480 árboles en todo el experimento. El diseño experimental en cada sitio para las seis combinaciones especie-tratamiento de fertilización fue en bloques completos con cuatro repeticiones por combinación.

Cuadro 1. Características topográficas de ambos sitios de plantación.

Características	Sitio 1	Sitio 2
Exposición	Sur	Norte
Pendiente (%)	45	32
Altitud (msnm)	2165	2562
Coordenadas UTM	14 Q	14 Q
	0766362	0768331
	1921391	1920445

3.4.7.2 Evaluación de la reforestación

Una vez establecida la plantación se evaluó la supervivencia en campo a los 3, 6, 9 y 12 meses de haber sido establecida; en cada evaluación se asignó un valor de 0 a aquellas plantas muertas y valor de 1 a las vivas.

3.4.8 Análisis estadístico

3.4.8.1 Indicadores de calidad de planta y prueba de crecimiento potencial de la raíz

El efecto de los factores e interacciones sobre las variables morfológicas evaluadas se probaron mediante un ANOVA utilizando el procedimiento GLM del paquete SAS (versión 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Los efectos se consideraron estadísticamente significativos cuando $p < 0,05$ (fiabilidad $> 95\%$). Se utilizó la prueba post-hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$) para probar las diferencias entre las medias de tratamiento de los factores significativos.

3.4.8.2 Supervivencia en campo

Las diferencias de supervivencia entre los tratamientos y entre las especies se examinaron con la prueba Log-Rank, a partir de curvas de supervivencia

construidas por el método Kaplan-Meier, para ello, se tomó en cuenta el estatus de cada planta (viva o muerta) al final del periodo de evaluación, así como el tiempo de vida de esta en meses. Este análisis se hizo con el procedimiento LIFETEST de SAS; para lo cual la función de supervivencia se define como:

$$S(t) = P(T \geq t)$$

donde: $S(t)$ es la probabilidad de que una muerte ocurra en un tiempo T al menos, tan grande como el tiempo t (Kaplan & Meier, 1958; Le, 1997; Sigala-Rodríguez *et al.*, 2015).

Para estimar el efecto de los factores estudiados, en función de las variables morfológicas como covariables, se aplicó una regresión de riesgos proporcionales de Cox. El modelo de riesgos proporcionales utilizado fue:

$$h_i(t) = h_0(t)e^{(\beta_i+i1+\dots+\beta_k+ik)}$$

Donde $h_i(t)$ es el riesgo de muerte de un individuo i a un tiempo t , el cual es el producto de la función de riesgo (h_0) de referencia no especificada y una función exponencial de k covariables (García-Bolivar, 2012; Harrel, 2001; Sigala-Rodríguez *et al.*, 2015)

3.5 Resultados

3.5.1 Evaluación de calidad de planta

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) para la mayoría de las variables evaluadas en las especies y en los tratamientos, excepto para las variables PSA/PST, PSR/PST, BSA/BST, como se describe a continuación.

El diámetro a la base del cuello tuvo los mayores valores en *P. patula* con la fertilización F3 y F2 (Cuadro 2) y *P. oaxacana* con F2 y F3, que fueron significativamente diferentes de *P. patula* y *P. oaxacana* con la fertilización F1. Se encontraron valores de altura promedio en los diferentes tratamientos dentro de un intervalo de 28.2 a 41.9 cm esto para ambas especies y tratamientos aplicados. La variable longitud de raíz en este estudio mostró valores de 9.6 a 10

cm, para ambas especies se mantuvo en un intervalo pequeño, los mayores valores se encontraron en *P. patula* con F3 y F2 y *P. oaxacana* con F3, que fueron significativamente diferentes de las otras combinaciones de tratamientos. El peso seco de la parte aérea promedio para los diferentes tratamientos de fertilización aplicados fue de 1.8 a 3.7 g, en el caso de las plantas de *P. oaxacana* con el esquema de fertilización 1 y 2, y *P. patula* con el esquema de fertilización 1, presentaron los menores valores para esta variable, indicativo que estas plantas no produjeron gran cantidad de biomasa fotosintética.

Cuadro 2. Comparación entre especies y tratamientos aplicados para diámetro (Diam), altura (Alt) y longitud de raíz (LR).

Especie	Esquema de fertilización	Variables morfológicas evaluadas		
		Diam (mm)	Alt(cm)	LR (cm)
<i>P. Oaxacana</i>	F1	3.5 b	28.2 c	9.65 c
	F2	3.9 ab	30.3 c	9.72 bc
	F3	4.2 a	30.1 c	9.87 ab
<i>P. patula</i>	F1	3.5 b	29.0 c	9.64 c
	F2	4.2 a	33.2 b	9.87 ab
	F3	4.5 a	41.9 a	9.98 a

Valores con diferentes las letras en la misma columna tuvieron diferencias significativas entre sí ($p < 0.05$) con la prueba de Tukey.

Para la variable peso seco de la raíz, el promedio para los tratamientos y ambas especies fue de 0.40 a 0.83 g, todos los tratamientos produjeron una escasa biomasa radical (Cuadro 3). Para el peso seco total los valores promedio en las diferentes combinaciones de tratamientos se encuentran en un intervalo de 2.2 a 4.6 g, las plantas de *P. oaxacana* con el esquema de fertilización 1 y 2, y *P. patula* con el esquema de fertilización 1, presentaron los menores valores para esta variable; a reserva de eso, la combinación de fertilización 3 en ambas especies fueron las que produjeron la mayor biomasa total.

Cuadro 3 Comparación entre especies y tratamientos aplicados para peso anhidro aéreo (PSA), peso anhidro de la raíz (PSR), peso anhidro total (PST), peso seco aéreo relativo (PSA/PST) y peso de la raíz relativo (PSR/PST).

Especie	Esquema de fertilización	Variables e índices morfológicos evaluados				
		PSA (g)	PSR (g)	PST (g)	PSA/PST	PSR/PST
<i>P. oaxacana</i>	F1	1.851 c	0.40 c	2.26 c	0.82 a	0.18 a
	F2	2.629 bc	0.56 bc	3.19 b	0.82 a	0.18 a
	F3	3.415 ab	0.69 ab	4.14 a	0.83 a	0.17 a
<i>P. patula</i>	F1	2.266 c	0.51 c	2.78 bc	0.82 a	0.18 a
	F2	3.407 ab	0.74 ab	4.11 a	0.82 a	0.18 a
	F3	3.782 a	0.84 a	4.62 a	0.812 a	0.18 a

Valores con diferentes las letras en la misma columna tuvieron diferencias significativas entre sí ($p < 0.05$) con la prueba de Tukey.

Los valores de índice de esbeltez (Cuadro 4) promedio de los tratamientos fueron elevados, entre 7 y 9, lo que indica que las plantas tuvieron una esbeltez por encima de la recomendada. Para la variable BSA/BSR se obtuvieron valores promedio en un intervalo de 4 a 5, indicando que se produjo de cuatro a cinco veces más biomasa área que subterránea. En la relación altura longitud de la raíz, *P. oaxacana* y *P. patula* con la fertilización 1, mostraron la relación más baja, esto se debe a las alturas que ambas especies mostraron con este esquema de fertilización.

El índice de calidad de Dickson mostró valores de 0.2 a 0.3, el menor valor para esta variable en ambas especies sucedió con el esquema de fertilización 1. Para la variable índice de lignificación se obtuvieron valores promedios en un intervalo de 20 a 34 %, indicando que las plantas presentaron un buena lignificación y grado de robustez.

Cuadro 4. Comparación entre especies y tratamientos aplicados para coeficiente de esbeltez (CE), relación altura longitud de raíz (RA/LR), biomasa anhidra aérea/ biomasa anhidra de la raíz (BSA/BSR), índice de calidad de Dickson (ICD) e índice de lignificación (IL).

Especie	Esquema de fertilización	Índices morfológicos evaluados				
		CE	RA/LR	BSA/BSR	ICD	IL %
<i>P. oaxacana</i>	F1	7.8686 ab	2.9271 c	4.1426 a	0.21 c	27.6 b
	F2	7.8601 ab	3.1201 bc	4.4376 a	0.23 abc	30.4 ab
	F3	7.3471 b	3.1371 bc	4.1187 a	0.30 ab	31.9 ab
<i>P. patula</i>	F1	8.3357 ab	3.0057 c	4.4301 a	0.22 bc	20.8 c
	F2	8.0114 ab	3.3729 b	4.1544 a	0.30 a	33.1 a
	F3	9.2814 a	4.2111 a	5.4893 a	0.27 abc	34.4 a

Valores con diferentes las letras en la misma columna tuvieron diferencias significativas entre sí ($p < 0.05$) con la prueba de Tukey.

3.5.2 Prueba de crecimiento potencial de la raíz

Se observó una muy buena respuesta a esta prueba, en ambas especies todos los valores fueron significativamente diferentes entre los esquemas de fertilización, para *P. oaxacana* y *P. patula* correspondientes al esquema de fertilización 3, fueron las que mayor número de raíces nuevas emitieron, seguido del esquema de fertilización 2 y por último el esquema de fertilización 1 (Cuadro 5).

Para la especie *P. oaxacana*, la cantidad raíces nuevas estuvieron en promedio, en el intervalo de 32 a 74, para *P. patula*, la cantidad de raíces nuevas promedio osciló de 27 a 75; para ambas especies la cantidad de raíces nuevas es alta, lo cual es un buen indicador de calidad de la planta.

Cuadro 5. Prueba de crecimiento potencial de raíz para ambas especies y tratamientos evaluados.

Especie	Esquema de fertilización	No de raíces nuevas
<i>P. oaxacana</i>	F1	32 c
	F2	51 b
	F3	74 a
<i>P. patula</i>	F1	27 c
	F2	54 b
	F3	75 a

Valores con diferentes las letras en la misma columna tuvieron diferencias significativas entre sí ($p < 0.05$) con la prueba de Tukey.

3.5.3 Evaluación de supervivencia en campo

Transcurridos doce meses de haber sido establecida la plantación la supervivencia para *P. patula*, en la exposición norte (Figura 1a) en promedio fue de 52.5%, durante los primeros 6 meses se observó la mayor mortalidad. Se encontraron diferencias significativas ($\chi^2= 6.5734$, $p= 0.0374$) entre los tres esquemas de fertilización. La supervivencia mayor fue para el esquema de fertilización 3 con un 62.5%, seguido de la fertilización 2 (57.5%), sin diferencias significativas entre ambos; la fertilización 1 mostró la supervivencia menor con un 37.5%. Para esta misma especie, en la exposición sur (Figura 1b) se observó una supervivencia promedio de 40.8%, se encontraron diferencias significativas ($\chi^2= 6.6868$, $p= 0.0353$) entre los tres esquemas de fertilización plantados, las fertilizaciones 3 y 2 mostraron la mayor supervivencia, 52.5 y 47.5%, respectivamente, la fertilización 1 mostro la menor supervivencia (22.5%).

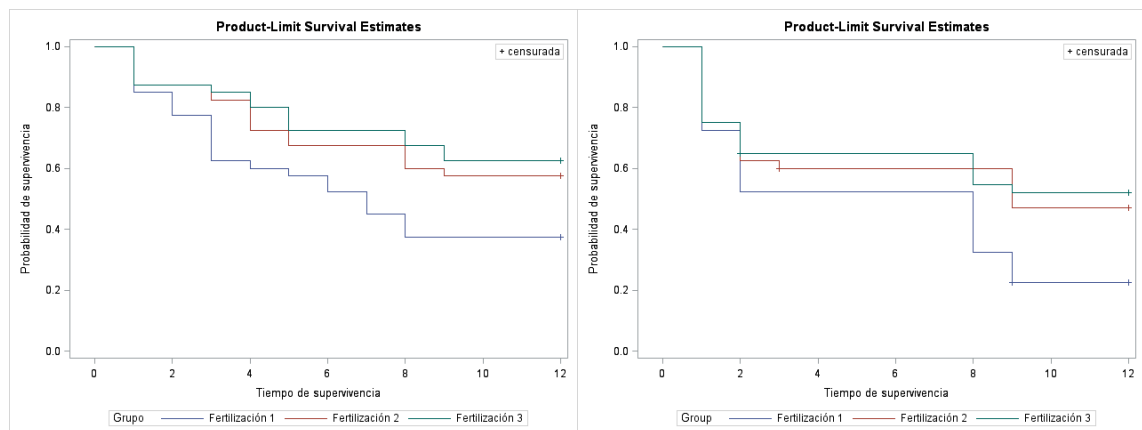


Figura 1. Gráficas de supervivencia obtenida $[S(t)]$ para los tratamientos evaluados en la plantación con *P. patula* en ambos sitios de reforestación. a) Exposición norte, b) Exposición sur.

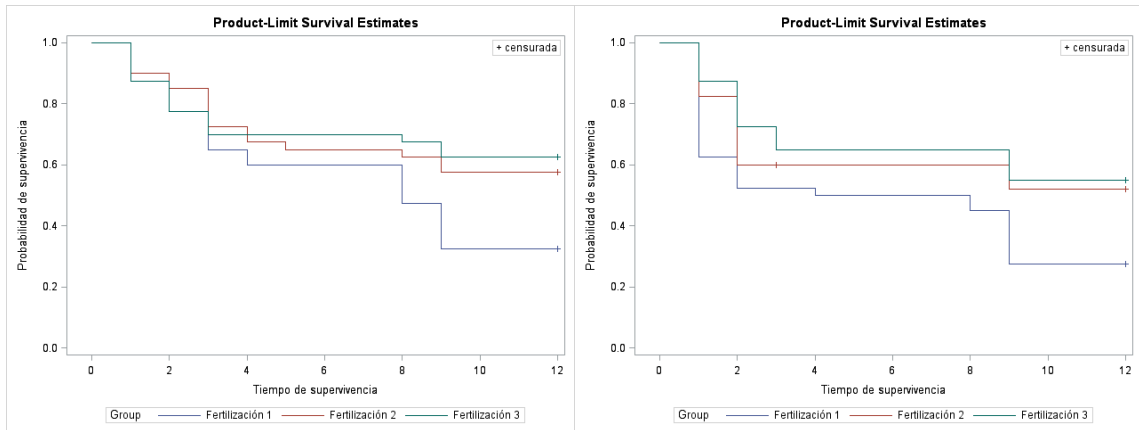


Figura 2. Gráficas de supervivencia obtenida $[S(t)]$ para los tratamientos evaluados en la plantación con *P. oaxacana* en ambos sitios de reforestación. a) Exposición norte, b) Exposición sur.

Para el caso de *P. oaxacana*, a doce meses de establecida la plantación, la supervivencia en la exposición norte en promedio fue 50.8% (Figura 2a), se observó una mayor mortalidad en los tres meses iniciales al establecimiento de la plantación. Se encontraron diferencias significativas ($\chi^2= 6.3637$, $p= 0.0415$) entre los tres esquemas de fertilización plantados, las fertilizaciones 3 y 2 mostraron la mayor supervivencia, 62.5 y 57.5% respectivamente; la fertilización 1 mostró la menor supervivencia (32.5%). Para la misma especie en la exposición sur, la supervivencia mayor fue para los esquemas de fertilización 3 y 2, con 55 y 52.5%, respectivamente, la fertilización 1 mostró una supervivencia de 27.5%, siendo la menor (Figura 2b). En este caso también se encontraron diferencias significativas ($\chi^2= 8.0704$, $p= 0.0177$).

Cuadro 6. Valores de supervivencia a doce meses del establecimiento, evaluada por tratamiento y especie en ambos sitios de plantación.

Especie	Esquema de fertilización	Exposición	
		Sur	Norte
% de supervivencia			
<i>P. oaxacana</i>	F1	32.5 b	27.5 b
	F2	57.5 a	52.5 a
	F3	62.5 a	55.0 a
<i>P. patula</i>	F1	22.5 b	37.5 b
	F2	47.5 a	57.5 a
	F3	52.5 a	62.5 a

Valores con diferentes las letras en la misma columna tuvieron diferencias significativas entre sí ($p < 0.05$) con la prueba de Tukey.

3.5.4 Análisis de riesgo

El modelo de riesgos proporcionales de Cox fue significativo para el conjunto de datos analizados ($\chi^2 = 26.6028$, $p > 0.0001$), de manera que se rechazó la hipótesis nula global de que $\beta = 0$. Los resultados obtenidos del análisis muestran que dentro de la covariables analizadas, la exposición presentó un efecto significativo en la función de riesgo, la exposición sur con estimador β positivo, en comparación con la exposición norte que tuvo un estimador β negativo, lo que significa que establecer plántulas en una exposición norte, tiene menor riesgo de muerte comparado con plántulas que se establezcan en una exposición sur. De la misma forma, el esquema de fertilización 1 arrojó un efecto significativo en la función de riesgo, con un estimador β positivo, por el contrario, las fertilizaciones 2 y 3, mostraron un estimador β negativo, por lo que las plantas con los esquemas de fertilización 2 y 3 tienen menor riesgo de muerte comparadas con las de fertilización 1.

Cuadro 7. Resultados del análisis de riesgo de Cox para las especies, tratamientos y principales covariables evaluadas.

Análisis del estimador de máxima verosimilitud							
Parámetro/Variable		GL	Estimador	Error estándar	χ^2	Pr > χ^2	Razón de riesgo
Especie	<i>P. oaxacana</i>	1	-0.03914	0.12603	0.0965	0.7561	0.962
	<i>P. patula</i>	1	0.03914	0.12603	0.0965	0.7561	1.04
Exposición	Sur	1	0.26455	0.12655	4.3697	0.0366	1.303
	Norte	1	-0.26143	0.12653	4.2689	0.0388	0.77
Esquema de fertilización	Fertilización 1	1	0.52071	0.15025	12.0102	0.0005	1.683
	Fertilización 2	1	-0.52071	0.15025	12.0102	0.0005	0.594
	Fertilización 3	1	-0.65135	0.15499	17.6615	<.0001	0.521
Diámetro		1	-1.02674	0.29555	12.0686	0.0005	0.358
Altura		1	0.0362	0.02604	1.9332	0.041	1.037
Peso seco total		1	0.11432	0.30894	0.1369	0.7113	1.121
ICD		1	-0.59728	2.86908	0.0433	0.8351	0.55
CPR		1	-0.01402	0.00582	5.8032	0.016	0.986

ICD = Índice de calidad de Dickson; CPR = Crecimiento potencial de raíz.

Este análisis evidenció un efecto altamente significativo para las variables morfológicas: diámetro y CPR, sobre la función de riesgos. El diámetro tuvo un estimador β negativo y una razón de riesgo igual a 0.358, de forma que el incremento en 1 mm en el diámetro de la planta reduce el riesgo de muerte hasta en un 64.2 %, es decir $100(1-e^{-1.02674})$, siempre y cuando las demás variables se mantengan constantes. La prueba de crecimiento potencial de raíz mostro un estimador β negativo y una razón de riesgo de 0.986, de modo que por cada raíz nueva emitida en la prueba CPR, reduce el riesgo de muerte hasta en 1.4 %, es decir $100(1-e^{-0.01402})$, siempre y cuando las demás variables se mantengan constantes.

3.6 Discusión

3.6.1 Evaluación de calidad de planta

Como referencia para valores de indicadores de calidad en coníferas nacionales, se utilizaron los señalados por CONAFOR (2009), Rueda Sánchez *et al.* (2012) y Vicente-Arbona *et al.* (2019), los cuales se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Intervalos para calificar la calidad de planta en especies forestales de crecimiento normal.

Variable	Calidad		
	Baja	Media	Alta
Diam (mm)	< 2.5*	2.5 - 3.9	≥ 4.0
Alt(cm)	< 10.0	10.0 - 14.9	15.0 - 25.0
CE	> 8.0	8.0 - 6.0	< 6.0
RA/LR	> 2.5	2.1-2.5	≤ 2
BSA/BSR	> 2.5	2.1-2.5	1.5-2.0
ICD	< 0.2	0.2 - 0.4	≥ 0.5

Diam = Diámetro a la base del tallo; Alt = Altura; CE = Coeficiente de esbeltez; RA/LR = Relación altura longitud de raíz; BSA/BSR = Relación entre peso seco aéreo y peso seco radical; ICD = Índice de calidad de Dickson.

De acuerdo con las fuentes referidas, en el presente estudio las variables que están en los intervalos medio y alto de calidad son: diámetro, altura y el ICD. Para las variables CE y BSA/BSR, por los valores obtenidos se calificaron como de calidad baja.

En ambas especies estudiadas, se produjo planta con diámetro ≥ 3.5 mm y alturas ≥ 28 cm, conforme lo establece la Norma Mexicana para la Certificación de la Operación de Viveros Forestales (Secretaría de Economía, 2016); algunos estudios de estas mismas especies ha reportado lo siguiente; en plantas de *P. pseudostrobus* producidas en contenedores de 160 cm³, Aguilera-Rodríguez *et al.* (2016) reportaron una producción de planta con diámetro medio superior a 5 mm y altura de 22 a 25.5 cm. En la misma especie, Sáenz-Reyes *et al.* (2014) reportaron diámetros de 3.8 mm y alturas de 27.9 cm en planta producida en el vivero forestal "Morelia", en Michoacán. En *P. oaxacana* Ávila-Angulo *et al.* (2017) reportaron diámetros de 5.9 a 6.5 mm y alturas de 26.4 a 29.4 cm. Los valores de diámetro y altura se asemejan a los encontrados en este estudio para *P.*

oaxacana. En el caso de *P. patula*, los valores de diámetro y altura son similares a lo encontrado por Romero-Arenas *et al.* (2012), quienes reportaron para la misma especie alturas de 20 a 30 cm y diámetro medio de 3.19 mm. A su vez, Ávalos *et al.* (2017) reportaron para *P. patula* Schlechtendal & Chamisso var. *patula*, alturas de 26.8 cm y diámetro igual a 4.12 mm. Aguilera-Rodríguez *et al.*, (2021) reportaron en *P. patula*, diámetros ≥ 4 mm y alturas de 20 a 30 cm.

El diámetro es un atributo variable, aun en la misma especie; factores como el tamaño y tipo de envase, tipo de sustrato, procedencia de semillas, la densidad de la planta por superficie repercuten en el diámetro final obtenido después del periodo de producción de plántulas (Aphalo & Rikala, 2003; Arteaga-Martínez *et al.*, 2003; Bernaola-Paucar *et al.*, 2017; Haase & Davis, 2017).

Mexal & Landis (1990) considera este atributo como el más relevante, influye en la definición de la robustez del tallo que se asocia con el vigor y la supervivencia de la plantación. Además, una planta con buen diámetro tiene más posibilidades de tener una adecuada lignificación, reservas de carbohidratos, mayor cantidad de yemas para la rebrotación y un sistema radical más desarrollado (Rodríguez-Trejo, 2008).

La altura, por su parte es un atributo que es indicativo de la capacidad fotosintética y de transpiración de la planta, que se refleja en su desarrollo de estructura radical y un buen aprovechamiento de nutrientes y agua (Mexal & Landis, 1990). Existe una baja correlación entre la altura de la planta y su supervivencia en campo, cuando las condiciones de campo no son favorables hay una correlación negativa, de modo que plantas con mayores alturas sobreviven menos (Ávalos *et al.*, 2017; Mexal, 2012).

Para la variable longitud de raíz, los mejores valores se encontraron en el esquema de fertilización 2 y 3, en ambas especies evaluadas, Robles *et al.* (2017) reportaron para *P. montezumae*, una LR de 11.6 cm, en plantas producidas en contenedores de 150 ml. Por su parte Ávila-Flores *et al.* (2014) encontraron una LR de 12 cm, en plántulas de *P. engelmanni* producidas en contenedores de 170 ml; los valores antes citados son similares a los del presente trabajo, donde las

plántulas se desarrollaron en contenedores de 143 ml. Es conocido que dicha variable está influenciada por el tipo y tamaño de contenedor donde se desarrolla la planta, diversos autores han reportado variación en altura, diámetro, longitud de raíz y peso seco total, de acuerdo al tamaño de envase ocupado para la producción de árboles (Ávalos et al., 2017; Prieto-Ruíz et al., 2004).

El PSA reportado para *P. patula* con el esquema de fertilización 2 y 3 fue bueno, al igual que en *P. oaxacana* con el esquema de fertilización 3, pues se obtuvieron valores >3.40 g, lo cual indica que las plantas produjeron una buena cantidad de biomasa área. En cuanto al, PSR, *P. patula* y *P. oaxacana* mostraron el mejor valor con el esquema de fertilización 3, con valores superiores a 0.68 g, sin embargo, estos últimos son menores a los referidos por Ávila-Angulo et al. (2017) en *P. oaxacana*, quienes han registrado valores de PSA y PSR de 7.5 y 2.3 g respectivamente. Aguilera-Rodríguez et al. (2016) reportaron, para *P. pseudostrobus*, valores de 4.15 a 4.72g para PSA y de 1.29 a 1.55 g en PSR. Para la misma especie, Sáenz-Reyes et al. (2014) reportaron valores de 1.16 g en PSA y 0.27 en PSR. Para *P. patula*, Aguilera-Rodríguez et al. (2021) hallaron valores de PSA entre 2.67 y 3.84 g, y para el PSR valores de 0.9 a 1.15 g, estos valores son similares a lo reportado en este estudio para la misma especie. Romero-Arenas et al. (2012) registraron PSA y PSR en *P. patula* de 1.02 a 1.08 g y 0.82 a 0.86 g respectivamente. De acuerdo con Francisco-Binotto et al. (2010), PSA y PSR, son las más fuertemente correlacionadas con el índice de calidad de Dickson (ICD), seguidas por el diámetro de la base del cuello.

Mexal (2012) menciona que, para el índice de robustez o coeficiente de esbeltez, se ha corroborado que valores bajos muestran una mayor supervivencia en campo y un mejor desempeño de crecimiento en campo. Por el contrario, plántulas con valores altos, muestran un crecimiento y supervivencia variable en sitios adversos. Por su parte, autores como: Rueda Sánchez et al. (2012) y Vicente-Arbona et al. (2019), mencionan que una planta con un valor de CE en un rango de 6-8, < 6, son de calidad media y alta, respectivamente. Los valores < 6 están asociados con una mejor calidad de planta por que implican una planta

más robusta y con tallo vigoroso (Thompson, 1985). Para *P. oaxacana*, los valores encontrados en los tres esquemas de fertilización evaluados están en intervalo 7.3 a 7.9, por lo que se puede calificar la planta como calidad media. En esta misma especie, Ávila-Angulo *et al.* (2017) registraron para la misma especie valores de CE de 4.5 a 4.7, estos valores bajos de CE se atribuyen a los valores de diámetro, que fueron en promedio dos veces mayores a los reportados en nuestro estudio. En *P. patula*, los valores de CE encontrados en los tres esquemas de fertilización se encuentran en un rango de 8.0 a 9.2, por lo que estas plantas se calificarían como calidad baja. Ávalos *et al.* (2017) y Romero-Arenas *et al.* (2012), reportaron para esta misma especie valores de CE en intervalos de 6.8 a 8 y 6 a 6.5 respectivamente. Por su parte, Aguilera-Rodríguez *et al.* (2021), encontraron en esta misma especie valores de CE < 6, de modo que en los estudios anteriores los valores de este último indicador, califican la planta con calidad media y alta, mientras que en este estudio se encuentra como calidad baja. Tal, cualidad se atribuye a los altos valores de altura encontrados en esta especie en particular, debido a que la altura es parte importante de la ecuación, pues a mayor altura el CE aumenta.

La relación altura/longitud de raíz, evidencia la distribución de la biomasa área y radical, una planta con buena calidad corresponde a una menor parte aérea en relación con la raíz, de esta forma se evita que la transpiración de la planta exceda su capacidad de absorción de agua, lo que resulta en una mayor supervivencia en campo (May, 1984). En el rango de intervalos óptimos para calificar la calidad de planta señalados en el cuadro 8, valores de RA/LR > 2.5 califican a la planta como calidad baja; en este estudio, para ambas especies y esquemas de fertilización, se obtuvieron valores de 2.9 a 4.2, lo cual califican la planta como calidad baja. En la literatura hay pocos estudios que evalúan esta variable en el género *Pinus*, Pineda-Ojeda *et al.* (2004), reportaron para *P. greggii* Engelm., valores de RA/LR de 1.06 a 1.47, Sáenz-Reyes *et al.* (2014), señalan para *P. pseudostrobus* un RA/LR de 1.9, Muñoz *et al.* (2015), refieren valores de RA/LR para *P. michoacana* Martínez y *P. ayacahuite* C. Ehrenb., de 0.4 y 1.2 respectivamente. Las diferencias encontradas en este estudio y los valores

citados anteriormente se atribuyen al tipo de contendor usado, el sustrato, tiempo de producción, especie, entre otros, debido a que estos factores influyen de manera directa en el desarrollo de altura y raíz de las plantas.

Haase (2007), menciona que determinar el peso en base seca es mejor porque la cantidad de agua en el tejido vegetal puede variar mucho, por lo cual, el peso fresco proporciona una medición menos consistente que el peso seco. La relación PSA/PSR provee más información que los pesos secos individuales. Escobar-Alonso & Rodríguez-Trejo (2019), mencionan que una planta de calidad debe tener una relación PSA/PSR baja para aumentar la posibilidad de sobrevivir, puesto que al presentar una estructura radical bien desarrollada tendrá una mejor absorción de nutrientes y accesibilidad al agua (May, 1984). Los valores de PSA/PSR para *P. oaxacana* y *P. patula*, fueron de 4.11 a 5.4, los valores más bajos se obtuvieron con el esquema de fertilización 3 para *P. Oaxacana* y con la fertilización 2 para *P. patula*, en el rango de intervalos óptimos para calificar la calidad de planta señalados en el cuadro 8, valores de PSA/PSR > 2.5 califican a la planta como calidad baja. En el presente estudio, para ambas especies y esquemas de fertilización, los valores obtenidos califican la planta como calidad baja. Ávila-Angulo *et al.* 2017, reportaron valores de PSA/PSR en *P. oaxacana* en un intervalo de 3.3 a 3.6. Aguilera-Rodríguez *et al.* (2016); Sáenz-Reyes *et al.* (2014), reportan para *P. pseudostrobus* valores de PSA/PSR por encima de 2.80. Aguilera-Rodríguez *et al.* (2021), refieren en *P. patula* valores de PSA/PSR > 2.5, en estos casos los autores calificaron también su planta para esta variable como calidad baja, valores similares a los encontrados en nuestro estudio.

En *P. oaxacana*, el mejor valor de ICD se encontró cuando se aplicó el esquema de fertilización 3, pero en *P. patula* esto sucedió con la fertilización 2. De acuerdo con el cuadro 8, el rango de intervalos óptimos para calificar la calidad de planta para el ICD, los resultados obtenidos para ambas especies y los tres esquemas de fertilización aplicados, califican la planta como calidad media. En *P. Oaxaca*, Ávila-Angulo *et al.* (2017), reportaron ICD en un intervalo de 1.1 y 1.3, en tanto que para *P. pseudostrobus*, Aguilera-Rodríguez *et al.* (2016) y Sáenz-Reyes *et*

al. (2014) obtuvieron de 0.74 a 0.90 y 0.43 respectivamente. En *P. patula*, se han referido intervalos de valores de ICD de: 0.47-0.55, 0.26-0.58 y 0.23-0.25 (Aguilera-Rodríguez *et al.*, (2021); Ávalos *et al.*, (2017); Romero-Arenas *et al.*, (2012). Valores de ICD cercanos a 1, indican balance entre las partes área y radical de la planta (Ávila-Angulo *et al.*, 2017). Este índice combina la información de las variables diámetro, altura, peso seco aéreo y peso seco de la raíz, y los ajusta por el efecto del tamaño de la planta, por lo que un aumento en el índice representa plantas de mejor calidad, lo cual implica que por una parte el desarrollo de la planta es grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radicular están equilibradas.

Prieto-Ruiz *et al.* (2009) mencionan que el índice de lignificación (IL), proporciona una estimación del grado de robustez que se necesita para que la planta soporte el estrés, como el hídrico, en el sitio de plantación. En este estudio para *P. patula* y *P. oaxacana*, cuando se aplicaron los esquemas de fertilización 2 y 3 se obtuvieron los mejores valores para dicho índice, pero en la literatura no se encontraron reportes para este en las especies estudiadas. Sin embargo, autores como: Ávila-Flores *et al.* (2014) y Prieto-Ruiz *et al.* (2004), reportaron para *P. engelmannii* Carr valores de IL de 29.2, 22.9 y 24.3%, al evaluar la reducción de humedad como precondicionamiento. Buendía-Velázquez *et al.* (2017) evaluaron sustratos y tasas de adición de nutrientes en *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl et Cham y reportaron un IL de 30.9%. Los valores reportados por los autores antes mencionados son similares a lo encontrados en este estudio en ambas especies.

3.6.2 Prueba de crecimiento potencial de la raíz

Las pruebas de desempeño o atributos de rendimiento se determinan colocando muestras de plantas en entornos controlados específicos y evaluando sus respuestas (Escobar-Alonso & Rodríguez-Trejo, 2019). La prueba de PCR sirve como una evaluación integrada de la salud fisiológica de una plántula para desarrollar raíces en un ambiente favorable (Grossnickle & MacDonald, 2018). En esta prueba los mejores valores se obtuvieron cuando se aplicó el esquema

de fertilización 3 a ambas especies estudiadas. En promedio se emitieron > 74 raíces nuevas en esta prueba. Ávila-Angulo *et al.*, (2017) realizaron esta prueba en *P. oaxacana*, realizando el trasplante a macetas de 10 l y manteniéndolas por 40 días en invernadero con riego diario, y reportaron que en todos los tratamientos evaluados el número de raíces emitidas fue mayor de 100. En la literatura no se encontró un estudio que evaluara esta variable para en *P. patula*. Sin embargo, Sánchez-Aguilar *et al.* (2016) si la evaluaron en *P. greggii* Engelm y *P. oaxacana*, en macetas de 10 l y mantuvieron las plántulas durante 28 días en invernadero, con riegos diarios y registraron 17 y 9 raíces, respectivamente. Los valores más bajos de raíces nuevas emitidas encontrados en el presente estudio fueron 27, que supera lo citado en el estudio antes mencionado.

La prueba de crecimiento potencial de raíz ha servido como un indicador del vigor de las plántulas, y el rendimiento de campo se ha relacionado positivamente con PCR en coníferas (Ritchie, 1985; Ritchie & Dunlap, 1980). Una planta que es capaz de desarrollar rápidamente nuevas raíces cuando se planta en un nuevo entorno puede superar el estrés del trasplante más rápidamente que otra con un crecimiento de raíces reducido, ya que se “acopla” más rápidamente con el nuevo entorno (Grossnickle, 2005).

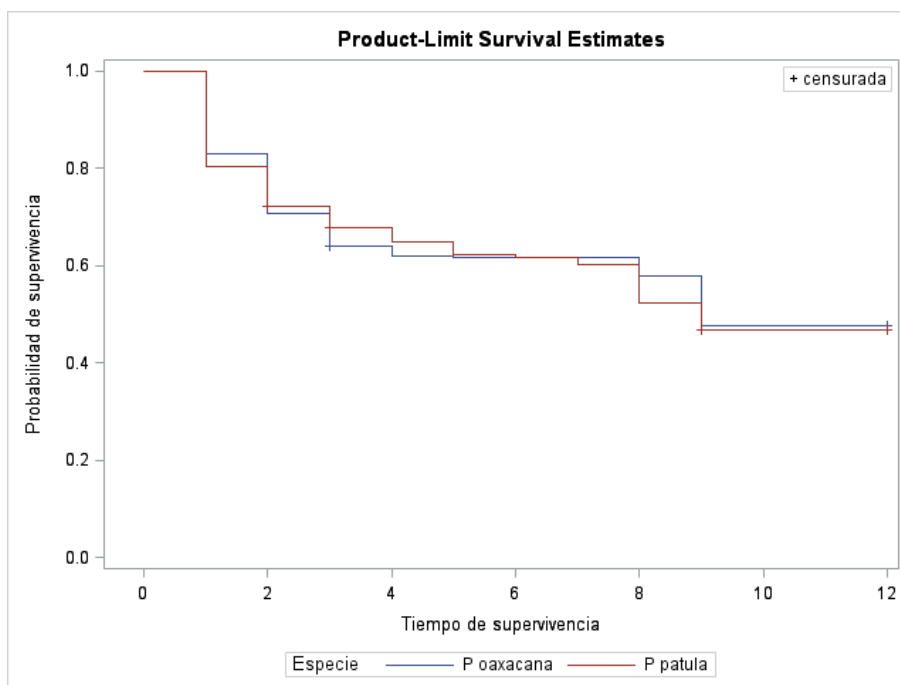


Figura 3. Función de supervivencia estimada $[S(t)]$ para las dos especies evaluadas en la reforestación en ambos sitios de plantación.

3.6.3 Evaluación de supervivencia en campo

La prueba de Long-Rank, aplicada para evaluar la supervivencia por especie (Figura 3), no mostró diferencias significativas ($\chi^2= 0.0930$, $p= 0.7604$). *P. oxacana* evidenció una supervivencia general promedio de 47.9%, mientras que la de *P. patula* alcanzó 47.0%. La ausencia de diferencias se atribuye a que ambas especies son nativas y se desarrollan en los bosques de esta comunidad de manera natural y el manejo forestal aplicado influye en que su producción sea cada vez más intensiva. Sigala Rodríguez *et al.* (2015) evaluaron la supervivencia de *P. pseudoastrobus*, a 14 meses de haberse realizado la plantación, y la supervivencia promedio fue 52.9% y; observaron mayor mortalidad durante los primeros tres meses (31.2%). Sosa-Pérez & Rodríguez-Trejo (2003) evaluaron la supervivencia de *P. patula* en dos ambientes, probando la aclimatación de las plantas, reportando después de un año de haber sido plantadas, una supervivencia de 92 y 94%. Vázquez-Cisneros *et al.* (2018) evaluaron el efecto de fertilizantes y la supervivencia de brinzales de *P. greggii* var. *greggii*, después de 12 meses de su plantación, registraron una supervivencia de 52.1 a 67.7%.

Palma & Laurance (2015) mencionan que las plantas llevadas a campo no son inmunes al estrés biótico y abiótico, y aluden una mortalidad promedio del 48% en un metaanálisis.

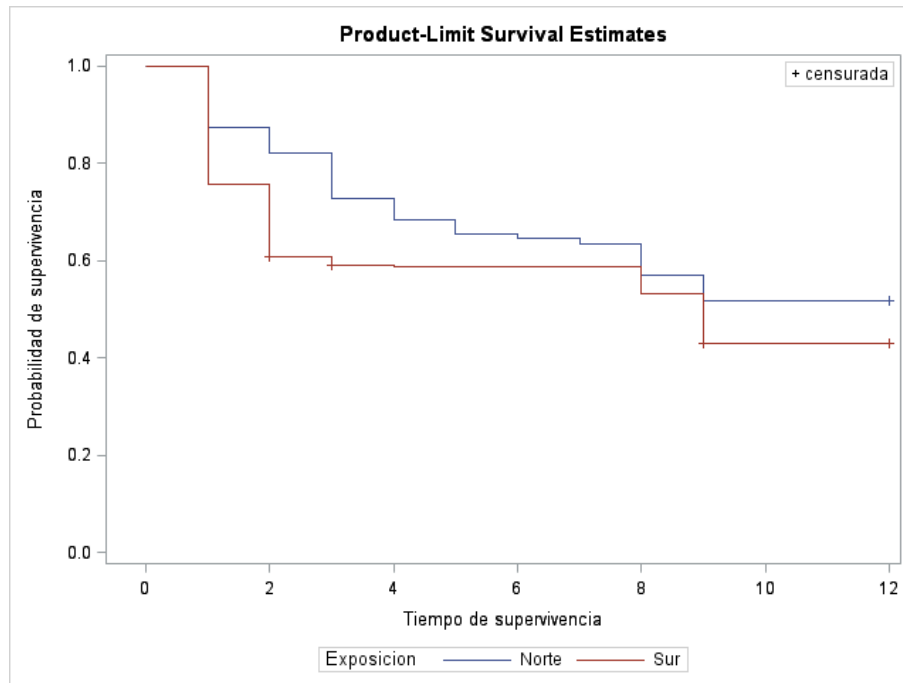


Figura 4. Función de supervivencia estimada $[S(t)]$ para las dos especies, evaluado por exposición en la que se plantó la reforestación.

Para el caso de la variable exposición, al aplicar la prueba de Long-Rank, se encontraron diferencias significativas ($\chi^2= 4.9143$, $p= 0.0266$), pues sobre la exposición sur se halló una menor supervivencia (43.3%) (Figura 4) que en la exposición norte (51.6 %). Esto coincide con lo reportado por Colak (2003), quien estudió los efectos de las condiciones del micrositio en el crecimiento de las plantas, y reportó que las mejores condiciones para el establecimiento del pino escocés (*Pinus sylvestris* L.) corresponden a la exposición noreste. Por su parte, Ramirez-Contreras & Rodriguez-Trejo (2004) reportaron para *Quercus rugosa*, un año después de plantados, que los brinzales plantados en la exposición noreste tuvieron mayor supervivencia (45.01%), que aquellos plantados en la exposición suroeste (17.73%). Robles *et al.* (2017) reportaron que hubo efecto de la exposición ($P = 0.0222$) en la supervivencia de *P. montezumae*, con 88.7% en la norte, superior al 83.3% en la sur. En el hemisferio norte, la exposición sur

es la que recibe mayor cantidad de radiación solar a lo largo del año, por lo cual es donde se encuentra la humedad relativa más baja, y mayor temperatura. La situación inversa se encuentra en áreas con exposición norte, las cuales son más húmedas, con menores temperaturas y más abundante vegetación (Ramirez-Contreras & Rodriguez-Trejo, 2004).

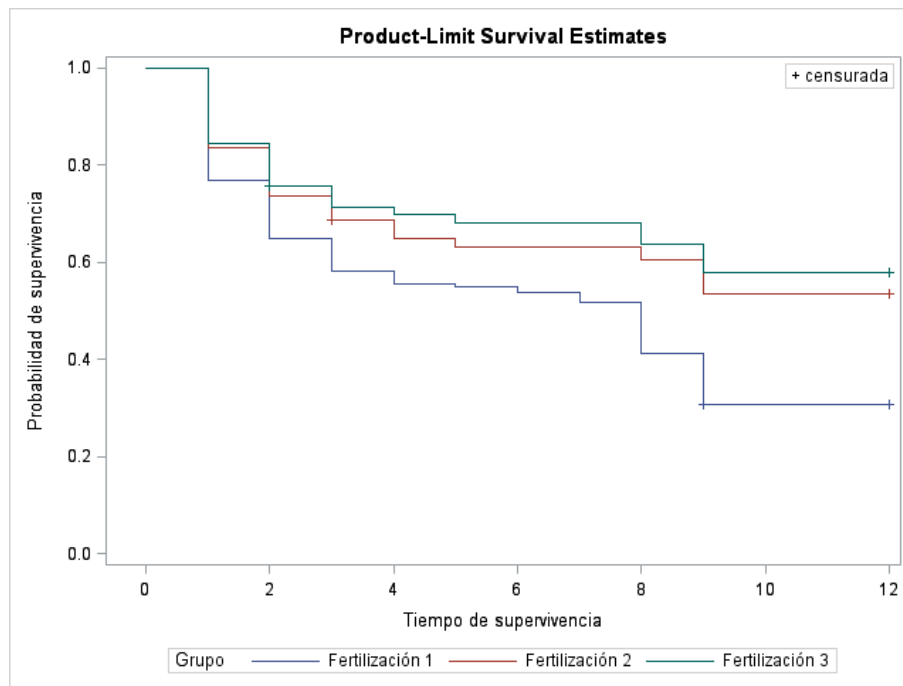


Figura 5. Función de supervivencia estimada $[S(t)]$ para los tres esquemas de fertilización evaluados en la plantación.

La prueba de Long-Rank realizada para evaluar la supervivencia por esquema de fertilización aplicado, arrojó diferencias significativas ($\chi^2 = 25.3738$, $p = < .0001$). Aplicando un contraste entre los esquemas de fertilización, el esquema 1 vs. el 2 y el 1 vs. el 3, se encontraron diferencias significativas (Figura 5), $\chi^2 = 15.0415$, $p = 0.0001$ y $\chi^2 = 21.6100$, $p = < 0.0001$ respectivamente. En el contraste esquema de fertilización 2 vs. 3, no se encontraron diferencias significativas ($\chi^2 = 0.5968$, $p = 0.4398$), el esquema 2 mostró una supervivencia general de 53.75%, mientras que el esquema 3 tuvo 58.13 % de supervivencia. El esquema de fertilización 1 mostro la supervivencia más baja, con un promedio de 30.63%.

La respuesta favorable de supervivencia para los esquemas de fertilización 2 y 3 puede explicarse con las características morfológicas que desarrollaron las plantas en el vivero. Ritchie (1985) menciona que existe una fuerte relación entre el peso seco de las plántulas y el diámetro del tallo, por lo tanto, se correlaciona con la supervivencia y el crecimiento en el campo de manera similar, dichas variables se desarrollaron de manera óptima en ambas especies producidas con el esquema de fertilización 2 y 3.

3.6.4 Análisis de riesgos

El modelo de riesgos proporcionales de Cox fue significativo para el conjunto de datos analizados ($\chi^2 = 26.6028$, $p = < 0.0001$). El cuadro 7 muestra que, entre los factores analizados, la exposición sur y el esquema de fertilización 1 mostraron un efecto significativo en la función de riesgo, con un estimador β positivo, mientras que los factores: exposición norte, fertilización 2 y 3, diámetro, PST, ICD y CPR, mostraron un efecto significativo en la función de riesgo, con un estimador β negativo. South *et al.* (1985) encontraron que hay una fuerte correlación entre las variables diámetro y supervivencia después de la plantación.

Ramirez-Contreras & Rodriguez-Trejo (2004), reportaron que la supervivencia de *Quercus rugosa*, también fue afectada por la exposición, ya que los brinzales tuvieron una mayor supervivencia cuando fueron plantados sobre la exposición noreste, mientras que los plantados en la exposición suroeste tuvieron menor supervivencia, esto coincide con lo encontrado en este estudio, donde los signos de los estimadores β del análisis de riesgo, demuestran un incremento de supervivencia cuando se plantan en la exposición norte, por el contrario, plantar en la exposición sur, aumenta el riesgo de muerte de las plántulas. Griffiths *et al.* (2009) mencionan que, en las regiones montañosas templadas, la exposición puede influir en la humedad y la temperatura del suelo al afectar la insolación. Sobre sitios en el hemisferio norte con pendientes de moderadas a empinadas, las zonas con orientación norte y este tienden a tener una mayor humedad del suelo y temperaturas moderadas en el verano debido a una mayor cantidad de sombra a lo largo del año, mientras que los sitios con orientación sur y oeste son

más secos y cálidos debido en parte a mayores cantidades de radiación directa a lo largo del año.

Fertilizar la planta en vivero favorece su condición fisiológica y morfológica, lo que contribuye a mejorar su calidad, aspecto fundamental para favorecer la supervivencia y crecimiento inicial después del plantado (Bautista-Ojeda *et al.*, 2018). También, se ha demostrado que el crecimiento de las plantas forestales es afectado por el volumen del contenedor y la aplicación de fertilizantes (Jeong *et al.*, 2010). De acuerdo con los esquemas de fertilización evaluados, plantas producidas con el esquema de fertilización 1, presentaron un estimador β con signo positivo y una razón de riesgo de 1.683, indicando que llevar a campo una planta con este esquema de fertilización incrementa el riesgo de muerte en 68.3% durante los primeros meses después de establecer la plantación. Por el contrario, las fertilizaciones 2 y 3 mostraron un estimador con signo negativo y una razón de riesgo de 0.594 y 0.521, respectivamente, lo que indica que llevar a campo plantas con el esquema de fertilización 2 y 3 reduce el riesgo de muerte en 47.8 y 64.2% respectivamente. Por otra parte, Vázquez-cisneros *et al.* (2018) evaluaron el efecto de fertilizantes, sobre la supervivencia de *P. greggii* var. *greggii*, y determinaron que los tratamientos de fertilización no influyeron en la supervivencia a un año del establecimiento de la plantación. Por otra parte, es claro que hay una infinidad de tratamientos de fertilización que podrían ser probados y varios de ellos sí podrían afectar la supervivencia, como fue en el presente estudio.

El análisis de riesgos de Cox evidenció que el diámetro tuvo un efecto altamente significativo sobre la función riesgo, teniendo un estimador β con signo negativo y una razón de riesgo de 0.358, lo cual significa que el incremento de 1 mm en el diámetro de las plántulas reduce el riesgo de muerte hasta en un 64.1%, ($100(1 - e^{-1.02674})$), siempre y cuando las demás variables se mantengan constantes. De forma similar, South *et al.* (1985) encontraron que hay una fuerte correlación entre las variables diámetro y supervivencia después de la plantación. De acuerdo con Dumroese (2003) y Jackson *et al.* (2007) las plantas con diámetros de cuello de

raíz más grandes sobreviven mejor y crecen más vigorosamente que aquellas con diámetro de cuello de raíz pequeño después de la plantación con fines de reforestación. Sigala-Rodríguez *et al.* (2015) analizaron la supervivencia de *P. pseudostrobus*, y encontraron que el diámetro al cuello de la raíz se relaciona directamente con su supervivencia en campo, su análisis evidencio que esta variable tuvo un efecto altamente significativo sobre la función de riesgo, destacando que el incremento de 1 mm en el diámetro de la planta reduce el riesgo de muerte hasta en 66.8%, valor similar al encontrado en el presente estudio. Autores como Dumroese *et al.* (2009); Grossnickle (2012); Stuepp *et al.* (2020); Tsakalidimi *et al.* (2013); Urretavizcaya & Defossé (2019) han reportado para especies del género *Pinus* y otras especies, que el diámetro influye en la supervivencia de las plántulas durante los primero meses del establecimiento.

La prueba de CPR ha servido como un indicador del vigor de las plántulas y en coníferas y, se ha relacionado con el rendimiento en campo (Reely & Nelson (2021); Ritchie (1985); Ritchie & Dunlap (1980). En el análisis de riesgo efectuado, el CPR, mostró ser significativo, de modo que el incremento en una unidad del número de raíces nuevas emitidas, se reduce el riesgo de muerte hasta en 1.4% ($100(1-e^{-0.01402})$), lo anterior se refleja en que los árboles bajo el esquema de fertilización 3 fueron los que emitieron mayor número de raíces nuevas y los que mayor supervivencia general mostraron en el estudio. Del Campo *et al.* (2007) evaluaron en pino carrasco (*P. halepensis*) esta prueba y encontraron que explica la supervivencia en un intervalo del 92 al 97%, asimismo mencionan que el CPR tiene una capacidad predictiva válida para esta especie, aunque es sensible a las condiciones de prueba. Reely & Nelson (2021) la aplicaron también en tres especies, y concluyeron que la supervivencia y el crecimiento no estuvieron relacionados con el CPR.

Se observó que el método silvícola de corta total aplicado en la comunidad, induce a que el proceso de sucesión vegetal sea de mayor competencia con la regeneración natural y con las reforestaciones que se hacen, lo que provoca en muchos casos la muerte de los árboles plantados en sus primeros años de

establecimiento. La vegetación competidora influye en el éxito de las plántulas al reducir los recursos disponibles; cuando la competencia es alta, la supervivencia de las plántulas también puede disminuir (Balandier et al. (2006); Krapfl et al. (2017).

3.7 Conclusiones

Incluso con especies de gran interés comercial, todavía es necesario afinar la producción de planta de calidad en viveros, por ejemplo, en su fertilización de vivero para obtener mejores resultados en campo. Los resultados para los indicadores morfológicos de calidad, como altura y diámetro, validan la fertilización 3 que se aplica en el vivero a ambas especies, pero también establece que la fertilización 2 es igualmente recomendable para *P. patula*. En el presente trabajo se remarca el canon clásico de la importancia de producir planta robusta, con buen diámetro.

La supervivencia en campo fue aceptable, mayor a 50% para ambas especies, y gracias tanto la fertilización 2 como la 3. No obstante, la fertilización 2 es más económica. Los estándares de calidad deben establecerse no solo por especie, también por procedencia y por sitio de plantación, pues ante diferentes condiciones ambientales, como las marcadas por diferente exposición en esta investigación, planta con los mismos atributos de calidad tendrá supervivencias distintas.

3.8 Referencias

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordáz-Chaparro, V. M. (2016). Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada Production of *Pinus pseudostrobus* Lindl. with sawdust substrates and controlled release fertilizers. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 7–20.
- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Trejo-Téllez, L. I., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2021). Sustratos con aserrín de coníferas y latifoliadas para producir planta de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Agrociencia*, 55(8), 719–732. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i8.2664>
- Aleixandre-Benavent, R., Aleixandre-Tudó, J. L., Castelló-Cogollos, L., & Aleixandre, J. L. (2018). Trends in global research in deforestation. A bibliometric analysis. *Land Use Policy*, 72, 293–302.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.060>

- Andrée, B. P. J., Chamorro, A., Spencer, P., Koomen, E., & Dogo, H. (2019). Revisiting the relation between economic growth and the environment; a global assessment of deforestation, pollution and carbon emission. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109221. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.028>
- Aphalo, P., & Rikala, R. (2003). Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests*, 25(2), 93–108. <https://doi.org/10.1023/A:1022618810937>
- Arteaga-Martínez, B., León, S., & Amador, C. (2003). Efecto de la mezcla de sustratos y fertilización sobre el crecimiento de *Pinus durangensis* Martínez en vivero. *Foresta Veracruzana*, 5(2), 9–16.
- Ávalos, J. G., Lazcano, A. H., Ávalos, R. G., Mora, M. G. S., & León, S. H. (2017). Efecto del tamaño de envase y familia en el crecimiento y calidad de brizanas de *Pinus patula* SCHLECHTENDAL & CHAMISSO var. *patula* en vivero. *Agrofaz: Publicación Semestral de Investigación Científica*, 17(1), 89–100.
- Ávila-Angulo, M. L., Aldrete, A., Jesús Vargas-Hernández, J., Gómez-Guerrero, A., González-Hernández, V. A., & Velázquez-Martínez, A. (2017). Hardening of *Pinus oaxacana* Mirov seedlings under irrigation management in nursery. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 23(2), 221–229. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.05.029>
- Ávila-Campuzano, R. G., del Carmen Gutierrez-Castorena, M., Ortiz-Solorio, C. A., Angeles-Cervantes, E., & Sanchez-Guzman, P. (2011). EVALUACIÓN DE LAS REFORESTACIONES EN LA FORMACIÓN DE SUELO A PARTIR DE TEPETATES. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 17(3), 303–312. <https://doi.org/10.5154/r.rchsc/2010.11.113>
- Ávila-Flores, I. J., Prieto-Ruíz, J. A., Hernández-Díaz, J. C., Whehenkel, C. A., & Javier Corral-Rivas, J. (2014). Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. mediante déficit de riego en vivero. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 20(3), 237–245. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.02.004>
- Balandier, P., Collet, C., PE, M., & SM, Z. (2006). Designing forest vegetation management strategies based on the mechanisms and dynamics of crop tree competition by neighboring vegetation. *Forestry*, 79, 3–27.
- Barrera-Ramírez, R., López-Aguillón, R., & Muñoz-Flores, H. J. (2018). Supervivencia y crecimiento de *Pinus pseudostrobus* Lindl., y *Pinus montezumae* Lamb. en diferentes fechas de plantación Survival. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 323–341. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.245>
- Bautista-Ojeda, G. I., Prieto-Ruíz, J. A., Hernández-Díaz, J. C., Basave-

- Villalobos, E., Goche-Telles, J. R., & Montiel-Antuna, E. (2018). Crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. bajo diferentes rutinas de fertilización en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49), 213–233.
- Beech, E., Rivers, M., Oldfield, S., & Smith, P. P. (2017). GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions. *Journal of Sustainable Forestry*, 36(5), 454–489. <https://doi.org/10.1080/10549811.2017.1310049>
- Bernaola-Paucar, R. M., Zamora Natera, J. F., Vargas Radillo, J. de J., Cetina Alcalá, V. M., Rodríguez Macías, R., & Salcedo Pérez, E. (2017). Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema Doble-Trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33), 074–093. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i33.91>
- Broadhurst, L. M., Jones, T. A., Smith, F. S., North, T., & Guja, L. (2015). Maximizing Seed Resources for Restoration in an Uncertain Future. *BioScience*, 66(1), 73–79. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv155>
- Buendía-Velázquez, M. V., López-López, M. Á., Cetina-Alcalá, V. M., & Diakite, L. (2017). Substrates and nutrient addition rates affect morphology and physiology of *Pinus leiophylla* seedlings in the nursery stage. *IForest*, 10(1), 115–120. <https://doi.org/10.3832/ifor1982-009>
- Burés, S. (1997). *Sustratos* (Primera).
- Burney, O., Aldrete, A., Reyes, R. A., Prieto-Ruiz, J. A., Sánchez-Velazques, J. R., & Mexal, J. G. (2015). México-Addressing challenges to reforestation. *Journal of Forestry*, 113(4), 404–413.
- Cambrón, S. V. H., Azpiri, H. S., Hernández, J. J. V., & Sánchez, N. M. (2013). ESTRATEGIAS DE CRECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA EN *Pinus pseudostrobus* BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE COMPETENCIA. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 71–79.
- Chakravarty, S., Ghosh, S. K., Suresh, C. P., Dey, A. N., & Shukla, G. (2012). Deforestation : Causes , Effects and Control Strategies. In C. A. Okia (Ed.), *Global perspectives on sustainable forest management*. (pp. 3–28). InTech.
- Colak, A. H. (2003). Effects of Microsite Conditions on Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seedlings in High-Elevation Plantings. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 122(1), 36–46. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0337.2003.t01-1-02043.x>
- CONAFOR. (2009). *Criterios técnicos para la producción de especies forestales de ciclo corto (rápido crecimiento), con fines de restauración*.
- Del Campo, A. D., Navarro-Cerrillo, R. M., Hermoso, J., & Ibáñez, A. J. (2007). Relationship between root growth potential and field performance in Aleppo pine. *Annals of Forest Science*, 64(5), 541–548. <https://doi.org/10.1051/forest:2007031>

- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960a). Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960b). Seedling quality- soil fertility relationships of white spruce, and red and white pine in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(3), 237–241. <https://doi.org/https://doi.org/10.5558/tfc36237-3>
- Dumroese. (2003). Hardening fertilization and nutrient loading of conifer seedlings. In L. T. . Riley L.E., Dumroese R.K. (Ed.), *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2002* (pp. 31–36). USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Dumroese, Barnett, J. P., Jackson, D. P., & Hains, M. J. (2009). 2008 Interim Guidelines for Growing Longleaf Pine Seedlings in Container Nurseries. In R. K. and L. E. R. Dumroese (Ed.), *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations - 2008* (pp. 101–107). Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Dumroese, K. R., Landis, T. D., Pinto, J. R., Haase, D. L., Wilkinson, K. W., & Davis, A. S. (2016). Meeting forest restoration challenges: Using the Target Plant Concept Associate Professor of Native Plant Regeneration and Silviculture. *REFORESTA*, 1(1), 37–52. <https://doi.org/dx.doi.org/10.21750/REFOR>.
- Duryea, M. . (1985). Evaluating Seedling Quality: Importance to Reforestation. In *Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests* (Issue 2, pp. 1–4).
- Escobar-Alonso, S., & Rodríguez-Trejo, A. D. (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. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.558>
- Filer, D., & Farjon, A. (2013). *An Atlas of the World's Conifers: An Analysis of their Distribution, Biogeography, Diversity and Conservation Status*. <https://doi.org/10.1163/9789004211810>
- Flores, A., Romero-sánchez, M. E., & Pérez-miranda, R. (2021). Potencial de restauración de bosques de coníferas en zonas de movimiento de germoplasma en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(63), 4–27.
- Francisco-Binotto, A., Lucio, Dal'Col, A., & José-Lopes, S. (2010). Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne, Lavras*, 16(4), 457–464. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000400005>
- García-Bolivar, J. J. (2012). Análisis de supervivencia aplicado al estudio de la mortalidad en injertos de inchi (*Caryodendron orinocense* Karsten). *Revista*

Científica UDO Agrícola, 12(4), 759–769.

- García, O., Alcántar, G., Cabrera, R. I., Gavi, F., & Volke, V. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana*, 19(3), 249–258.
- Griffiths, R. P., Madritch, M. D., & Swanson, A. K. (2009). The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): Implications for the effects of climate change on soil properties. *Forest Ecology and Management Journal*, 257, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.010>
- Grossnickle, S. C. (2005). Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*, 30(2–3), 273–294. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2>
- Grossnickle, S. C. (2012). Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New Forests*, 43(5–6), 711–738. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>
- Grossnickle, S. C., & MacDonald, J. E. (2018). Seedling quality: History, application, and plant attributes. *Forests*, 9(5), 1–23. <https://doi.org/10.3390/F9050283>
- Haase, D. L. (2007). Morphological and Physiological Evaluations of Seedling Quality. In *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2006. Proceedings RMRS-P-50*. (pp. 3–8). Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Haase, D. L., & Davis, A. S. (2017). Developing and supporting quality nursery facilities and staff are necessary to meet global forest and landscape restoration needs. *Reforesta*, 4, 69–93. <https://doi.org/10.21750/refor.4.06.45>
- Harrel, F. E. (2001). Cox proportional hazards regression model. In *Model in regression modeling strategies* (pp. 465–507). Springer. <https://doi.org/10.1136/bmj.f4919>
- Hein, J., Guarin, A., Frommé, E., & Pauw, W. P. (2018). Deforestation and the Paris climate agreement: An assessment of REDD + in the national climate action plans. *Forest Policy and Economics*, 90. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.01.005>
- Jackson, D. P., Dumroese, R. K., Barnett, J. P., & Patterson, W. B. (2007). Container Longleaf Pine Seedling Morphology in Response to Varying Rates of Nitrogen Fertilization in the Nursery and Subsequent Growth After Outplanting . In T. D. Riley, L.E.; Dumroese, R.K.; Landis (Ed.), *ational Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations - 2006*. (pp. 114–119). U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Jeong, J., Park, J. H., Kim, J. I., Lim, J. T., Lee, S. R., & Kim, C. (2010). Effects of container volumes and fertilization Effects of Container Volumes and

- Fertilization on Red (*Pinus densiflora*) and Black Pine (*Pinus thunbergii*) Seedlings Growth. *Forest Science and Technology*, 6(2), 80–86. <https://doi.org/10.1080/21580103.2010.9671975>
- Kaplan, E. . L. ., & Meier, P. (1958). Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. *Journal of the American Statistical Association*, 53(282), 457–481.
- Krapfl, K. J., Roberts, S. D., Hatten, J. A., Baldwin, B. S., Rousseau, R. J., & Shankle, M. W. (2017). Establishment phase productivity of loblolly pine and switchgrass when grown across a gradient of cultural treatment and site productivity. *Forest Ecology and Management*, 400, 228–237. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.016>
- Le, C. T. (1997). *Applied Survival Analysis: Regresion modeling of time-to-event data* (D. W. Hosmer, S. Lemeshow, & S. May (eds.); Second). John Wiley & Sons Inc.
- Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osorio, J. J. M., & Pinzón-López, L. L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30, 343–353.
- Mas, J.-F., Velázquez, A., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G., Castro, R., Fernández, T., & Pérez-Vega, A. (2004). Assessing land use/cover changes: a nationwide multidecade spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4), 249–261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.002>
- May, T. J. (1984). Seedling Quality, Grading, Culling and Counting. In J. T. May, W. Belcher, E. J. C. Cordel, T. H. Filer, J. D. South, & C. W. Lantz (Eds.), *Southern Pine Nursery Handbook*. (pp. 83–97). USDA. Forest Service.
- Mexal, J. G. (2012). Calidad de plantines: Atributos morfológicos. In *Producción de plantas en viveros forestales* (pp. 40–51). Consejo Federal de Inversiones.
- Mexal, J. G., & Landis, T. D. (1990). Target Seedling Concepts : Height and Diameter. In R. Rose, S. J. Campbell, & T. D. Landis (Eds.), *Proceedings, Western Forest Nursery Association* (1 a, pp. 17–35). Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- Muñoz-Flores, H. J., Orozco, G., Coria-Avalos, V. M., García-Sánchez, J. J., & Muñoz-Vega, Y. Y. (2011). Evaluación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. con dos densidades de plantación en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*, 13(1), 29–35.
- Muñoz, H. J., Sáenz, J. T., Coria, V. M., García, J. de J., Hernández, J., & Manzanilla, G. E. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*,

6(27), 72–89.

- Negreros-castillo, P., Apodaca-martinez, M., & Mize, C. W. (2010). Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro , caoba y roble. *Madera y Bosques*, 16(2), 7–18.
- Oliet, J., Planelles, R., Artero, F., Montes, E. M., Linarejos, L. Á., Alejano, R., & Arias, M. L. (2003). El potencial de crecimiento radical en planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill . Influencia de la fertilización. *Investigaciones Agrarias: Sistema de Recursos Forestales*, 12(1), 51–60.
- Ortega, U., Kidelman, A., Hevia, A., Alvarez-Roy, E., & Majada, J. (2006). Control de calidad de planta forestal. *Boletín Informativo Del SERIDA - n.º 3*, 23–28.
- Palma, A. C., & Laurance, S. G. W. (2015). A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration: what do we know and where should we go? *Applied Vegetation Science*, 18(4), 561–568. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/avsc.12173>
- Pineda-Ojeda, T., Cetina-Alcalá, V. M., Vera-Castillo, J. A., Cervantes-Martínez, C. T., & Khalil, G. A. (2004). El trasplante contenedor-contenedor (1+1) y contenedor-raíz desnuda (P+1) en la producción de planta de *Pinus greggii* engelmn. *Agrociencia*, 38(6), 679–686.
- Prieto-Ruíz, J. A., Domínguez-Calleros, P. A., Návar-Chaidez, J. D. J., & Cornejo-Oviedo, E. H. (2004). Factores que influyen en la producción de *Pinus cooperi* blanco en vivero. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 10(1), 63–70.
- Prieto-Ruíz, J. A., García-Rodríguez, J. S., Mejía Bojórquez, J. M., & Aguilar Vitela, J. L. (2009). Producción de Planta del Género *Pinus* en Vivero en Clima Templado Frío. *SAGARPA-INIFAP-Campo Experimental Valle Del Guadiana*, 1–53.
- Prieto-Ruíz, J. A., García-Rodríguez, J. S., Mónarres-González, J. C., & Madrid-Aispuro, R. E. (2012). *Producción de planta del género Pinus* (p. 52 p). Centro de Investigación Regional Norte Centro Campo Experimental Valle del Guadiana.
- Prieto-Ruiz, J. A., Oviedo-Cornejo, E. H., Calleros-Dominguez, P. A., Návar-Chaidez, J. D. J., Moncivais-Marmolejo, J. M., & Jiménez-Pérez, J. (2004). Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr ., producido en vivero. *Invest Agrar: Sist Recur For*, 13(3), 443–451.
- Prieto Ruíz, J. Á. (2004). *Factores que influyen en la producción de Pinus spp. en vivero y en su establecimiento en campo*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ramirez-Contreras, A., & Rodriguez-Trejo, D. A. (2004). Efecto de calidad de planta, exposición y microsítio en una plantación de *Quercus rugosa*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 10(1), 5–11.

- Reely, J. A., & Nelson, A. S. (2021). Root growth potential and microsite effects on conifer seedling establishment in Northern Idaho. *Forests*, 12(5), 597. <https://doi.org/10.3390/f12050597>
- Ritchie, G. A. (1985). Root growth potential: principles, procedures and predictive ability. In M. . Duryea (Ed.), *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests* (pp. 93–105). Forest Research Laboratory, Oregon State University.
- Ritchie, G. A., & Dunlap, J. (1980). Root growth potential : Its development and expression in forest tree seedlings. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 10(1), 218–248.
- Ritchie, G. A., Landis, T., Dumroese, K., & Haase, D. (2010). Assessing Plant Quality. In T. D. Landis, K. R. Dumroese, & D. L. Haase (Eds.), *The Container Tree Nursery Manual* (7a ed., p. 200). United States Department of Agriculture. Forest Service.
- Robles, V. F. A., Rodríguez, T. A. D., & Villanueva Morales, A. (2017). Calidad de planta y supervivencia en reforestación de *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(42), 55–76. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i42.19>
- Rodríguez-Trejo, A. D. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal* (1a ed.). Mundi-Prensa. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/21586>
- Romero-Arenas, O., López Escobedo, R., Damián Huato, M. A., Hernández Treviño, I., Parraguirre Lezama, J. F. C., & Huerta Lara, M. (2012). Evaluación del residuo de cáscara de nuez (*Juglans regia* L.) en la producción de plántulas de *Pinus patula*, en vivero. *Agronomía Costarricense*, 36(2), 103–110. <https://doi.org/10.15517/rac.v36i2.9837>
- Rose, Robin., Haase, D. L., & Arellano, E. (2004). Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque (Valdivia)*, 25(2), 89–100. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002004000200009>
- Rosete-Vergés, F. A., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E., & Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera Bosques*, 20(1), 21–35.
- Ruano, M. J. R. (2003). *Viveros Forestales, Manual de cultivo y proyectos*. Mundi Prensa.
- Rueda Sánchez, A., Benavides Solorio, J. de D., Prieto-Ruiz, J. Á., Sáenz Reytez, J. T., Orozco-Gutiérrez, G., & Molina Castañeda, A. (2012). Calidad De Planta Producida En Los Viveros Forestales De Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(14), 071–082. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i14.475>
- Sáenz-Reyes, T. J., Muñoz-Flores, J. H., Pérez, C. M. Á. D., Rueda-Sánchez, A.,

- & Hernández-Ramos, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero " Morelia ", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98–111.
- Saenz-Romero, C., & Lindig-Cisneros, R. (2004). Evaluación y propuestas para el programa de reforestación en Michoacan, México. *Ciencia Nicolaita*, 37(January 2016), 107–120.
- Sánchez-Aguilar, H., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J., & Ordaz-Chaparro, V. (2016). Influencia del tipo y color de envase en el desarrollo de plantas de pino en vivero. *Agrociencia*, 50(4), 481–492.
- Sánchez-Córdova, T., Aldrete, A., Cetina-Alcalá, V. M., & López-Upton, J. (2008). Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín Growth media characterization based on pine bark and sawdust. *Madera y Bosques*, 14(2), 41–49.
- Sánchez-González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera Bosques*, 14, 107–120. <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1411222>
- Secretaría de Economía. (2016). Norma Mexicana NMXAA- 170-SCFI-2016. Certificación de la operación de viveros forestales. In *Diario Oficial de la Federación*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3430.pdf>
- Sigala-Rodríguez, A. J., González-Tagle, M., & Jiménez-Pérez, J. (2015). Análisis de supervivencia para una reforestación con *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el sur de Nuevo León. *Ciencia UANL*, 18(75), 61–66.
- Sigala-Rodríguez, A. J., Sosa-Pérez, G., Martínez-Salvador, M., & Jacinto-Soto, R. (2012). *Influencia de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de plantaciones forestales en Chihuahua* (Primera). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Sigala-Rodríguez, A. J., Sosa-Pérez, G., Sarmiento-López, H., & Rosales-mata, S. (2014). Análisis de riesgos para la supervivencia de una reforestación con *Pinus arizonica* Engelm . en Chihuahua , México. *Revista Forestal Baracoa*, 33, 24–32.
- Sigala-Rodríguez, J. Á., González-Tagle, M. A., & Prieto-Ruíz, J. Á. (2015). Supervivencia en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en función del sistema de producción y preacondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(30), 20–31. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i30.205>
- Soberón, J., Halffter, G., & Llorente-Bousquets, J. (2009). Conocimiento actual de la biodiversidad. In J. Sarukhán (Ed.), *El capital natural de México: Estado de conservación y tendencias de cambio. Volumen I* (CONABIO, pp. 75–129). CONABIO.

- Sosa-Pérez, G., & Rodríguez-Trejo, D. A. (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), 34–43.
- South, D. B., Boyer, J. N., & Bosch, L. (1985). Survival and Growth of Loblolly Pine as Influenced By Seedling Grade: 13-Year Results. *Southern Journal of Applied Forestry*, 9(2), 76–81. <https://doi.org/10.1093/sjaf/9.2.76>
- Stuepp, C. A., Kratz, D., Gabira, M. M., & Wendling, I. (2020). Survival and initial growth in the field of eucalyptus seedlings produced in different substrates. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01587>
- Thompson, B. E. (1985). Seedling morphological evaluation: what you can tell by looking? In M. L. Duryea (Ed.), *Proceedings: evaluation seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of mayor test* (pp. 59–71). Forest Research Laboratory, Oregon State University. <http://agris.fao.org/agris-search/search/display.do?f=1989/US/US89489.xml;US8851005>
- Tillotson, C. R. (1917). *Nursery Practice on the National Forests : Vol. I*. USDA Agric. Bull. [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=qYzBwY-aut0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Nursery+practice+on+the+national+forests&ots=CCYIAWTFNV&sig=gvkS7R5tjiUyBnJo3N83osShl_g#v=onepage&q=Nursery practice on the national forests&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=qYzBwY-aut0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Nursery+practice+on+the+national+forests&ots=CCYIAWTFNV&sig=gvkS7R5tjiUyBnJo3N83osShl_g#v=onepage&q=Nursery+practice+on+the+national+forests&f=false)
- Tsakalimi, M. (2006). Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) core and rice hulls as components of container media for growing *Pinus halepensis* M. seedlings. *Bioresource Technology*, 97(14), 1631–1639. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.07.027>
- Tsakalimi, M., Ganatsas, P., & Jacobs, D. F. (2013). Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. *New Forests*, 44, 327–339. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9339-3>
- Urretavizcaya, M. F., & Defossé, G. E. (2019). Restoration of burned and post-fire logged *Austrocedrus chilensis* stands in Patagonia : effects of competition and environmental conditions on seedling survival and growth. *International Journal of Wildland Fire*, 28, 365–376. <https://doi.org/10.1071/WF18154>
- Vázquez-Cisneros, I., Prieto-ruíz, J. A., López-López, M. A., Wehenkel, C., Domínguez-Calleros, P. A., & Muñoz-Sáez, F. E. (2018). Growth and survival of a plantation of *Pinus greggii* Engelm . ex Parl . var . greggii under different fertilization treatments. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 24(2), 251–264. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.05.036>
- Velázquez, A., Mas, J.-F., Bocco, G., & Palacio-Prieto, J. L. (2010). Mapping land cover changes in Mexico, 1976-2000 and applications for guiding environmental management policy. *Singapore Journal of Tropical*

Geography, 31(2), 152–162. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9493.2010.00398.x>

- Vicente-Arbona, J. C., Carrasco-Hernández, V., Rodríguez-Trejo, D. A., & Villanueva-Morales, A. (2019). Calidad de planta de *Pinus greggi* producida en sustrato a base de aserrín. *Madera y Bosques*, 25(2), 1–14. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521784>
- Villar-Salvador, P. (2003). Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. In *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos* (pp. 65–86).
- Villegas-Jiménez, D. E., Rodríguez-Ortiz, G., Chávez-Servia, J. L., Enríquez-Del-Valle, J. R., & Carrillo-Rodríguez, J. C. (2016). Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Gayana - Botánica*, 73(1), 113–123. <https://doi.org/10.4067/s0717-66432016000100013>
- Wightman, K. E., & Cruz, B. S. (2003). La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Foresta Veracruzana*, 5, 45–51.
- Xiao, J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, R., Tang, C., Liang, Y., & Huang, Z. (2006). Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 75(1–2), 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.12.005>
- Zacarías-Eslava, Y., & del Castillo, F. R. (2010). Comunidades vegetales templadas de la Sierra Juárez, Oaxaca: pisos altitudinales y sus posibles implicaciones ante el cambio climático. *Boletín de La Sociedad Botánica Mexicana*, 87, 13–28.

4 CONCLUSIONES GENERALES

Los árboles de *P. oaxacana* producidos con el esquema de fertilización 3, y los de *P. patula* producidos con los esquemas de fertilización 2 y 3, fueron los que mostraron los mejores atributos morfológicos e índices evaluados, reflejando que la planta producida es de calidad alta.

Los valores de altura y diámetro de ambas especies producidas con los esquemas de fertilización 2 y 3 obtenidos en el presente trabajo, corresponden a una calidad alta y a planta robusta.

La supervivencia de plantas de ambas especies fue mayor en las que fueron producidas con el esquema de fertilización 2 y 3 (> 50%). La exposición influyó en la supervivencia, que fue mayor sobre la exposición norte.

El esquema de fertilización 2 es recomendable como una opción factible en vivero, pues resulta más económico que el 3, y se obtienen resultados similares en la calidad de planta de ambas especies y en la supervivencia en campo.

El diámetro al cuello de la raíz en plantas de ambas especies se relaciona directamente con su supervivencia en campo. Se recomienda en vivero, darle mayor robustez a este atributo y de esta forma asegurar una mayor supervivencia de las plantas.

Orientar la producción en vivero de plantas de calidad alta, es una forma eficiente para mejorar los resultados de las reforestaciones al aumentar la supervivencia y el rendimiento de las plántulas en campo.