



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Unidad Xochimilco

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Licenciatura en Agronomía

INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL

Tema:

“Selección de procedencias y familias de *Pinus oocarpa* y *Pinus patula* al estrés hídrico”

Nombre del alumno

Raquel Salinas Herrera

Matricula: 2213056003

Asesor interno

Dra. Beatriz Sofía Schettino Bermúdez

Asesor externo

Dr. Mario Valerio Velasco García

Periodo de realización

Fecha de inicio 16 de octubre de 2025.

Fecha de termino 20 de abril de 2026.

Lugar de realización: Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF) del INIFAP (Viveros de Coyoacán 04010, Av. Progreso 96, Santa Catarina, Coyoacán, Ciudad de México, CDMX).

I.Introducción

La actividad forestal en el país se sustenta en el aprovechamiento de diversas especies de pinos en plantaciones forestales comerciales, lo que representa 5 % de la producción maderable a nivel nacional, pero la supervivencia al año de su plantación es menor de 50 % (Baeza *et al.*, 2021). Entre los factores de mortalidad se incluyen la deficiente calidad de la planta, inadecuada preparación del sitio, mala elección de fuentes de semilla, plagas, enfermedades y eventos adversos como sequía y heladas (Falfán-Cortés *et al.*, 2021). El cambio climático puede afectar a los bosques de distintas formas, alterando la frecuencia, la intensidad, la duración y el ritmo de incendios, sequías, daños fitosanitarios, huracanes, etcétera (Pérez-Miranda *et al.*, 2013). *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., 1831 y *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., 1838. Son especies fundamentales para la reforestación y restauración ecológica en México y América Latina, especialmente bajo escenarios de cambio climático, debido a su rápido crecimiento, capacidad de adaptación y alta fijación de dióxido de carbono (CO₂) (Sáenz, 2014). Ante los efectos del cambio climático es importante considerar medidas de adaptación y mitigación por parte del sector forestal; para ello es importante que la selección de estas especies y sus procedencias (semillas) sea crucial para asegurar la supervivencia y funcionalidad de los ecosistemas.

Pinus patula es una de las especies subtropicales más utilizadas para la reforestación en México, con alto valor comercial por su rápido crecimiento y calidad de la madera, lo que lo convierte en una especie clave para plantaciones comerciales (Baeza *et al.*, 2021), se utiliza principalmente para madera de aserrío, producción de celulosa, papel, embalajes y productos de jardinería, aportando rentabilidad económica y valor agregado (López & Flores, 2020). No obstante, esta especie es particularmente sensible a las variaciones en la disponibilidad de agua. El estrés hídrico ocurre cuando la demanda de agua de la planta supera la cantidad disponible en el suelo, lo que afecta su turgencia celular y, en última instancia, sus procesos metabólicos básicos (Castellanos-Acuña *et al.*, 2015).

Pinus oocarpa es una de las especies forestales en México de mayor importancia ecológica (por su amplia distribución geográfica) y económica (por la extracción de su resina en poblaciones naturales). Su distribución geográfica Norte-Sur comprende cerca de 3000 km, desde el noroeste y noreste de México hasta el centro de Nicaragua. En México se encuentra en la Sierra Madre Oriental, en la Sierra Madre Occidental y en la zona de transición sur (Fabián *et al.*, 2020); se utiliza en la industria local para la construcción, postes, aserrío, decoración, chapas, muebles en general, paredes interiores, artesanías, pulpa de papel y como leña. Es la principal especie productora de resina en México. De la resina se obtienen productos como el aguarrás (sustancia líquida), utilizado como diluyente de pinturas y barnices, y la Colofonia (sustancia sólida), la cual se utiliza como materia prima para la producción de otros subproductos, como los cosméticos (Cano, 2017). *P. oocarpa* muestra una notable plasticidad fenotípica para ajustar su crecimiento bajo déficit hídrico, a menudo deteniendo el crecimiento de brotes para conservar agua (Mendizába *et al.*, 2015).

Los árboles poseen mecanismos que les permiten reducir la pérdida de agua por transpiración, como el cierre de estomas o reducción del área foliar, lo que reduce la tasa de crecimiento por la menor fijación de dióxido de carbono (Osakabe *et al.*, 2014). La medición del crecimiento de los árboles permite evaluar los efectos de los mecanismos de respuesta asociados al aumento de la temperatura y reducción de la precipitación. Usualmente las especies con distribución amplia soportan mejor los efectos del cambio climático por su mayor diversidad genética y adaptabilidad en respuesta a la presión de selección (Viveros *et al.*, 2013). Para determinar genotipos resistentes a la sequía se han establecido programas de mejoramiento genético con pruebas en campo y pruebas en vivero enfocados a evaluar la respuesta a la sequía en un contexto de cambio climático. Dada la importancia de *P. patula* y *P. oocarpa* y debido al efecto del cambio climático sobre las reforestaciones (Acosta *et al.*, 2024) es necesario seleccionar procedencias y familias que muestren mayor resistencia a la sequía, para optimizar los sistemas de producción forestal bajo condiciones de escasez de agua.

En el presente documento se informan las actividades de servicio social realizadas en el proyecto Tema: “Selección de procedencias y familias de *Pinus oocarpa* y *Pinus patula* al estrés hídrico”, el cual contribuye a seleccionar familias resistentes a la sequía de estas dos especies forestales.

II. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar las respuestas de las plantas al estrés hídrico.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar los análisis de datos e interpretación de resultados.
- Diseñar y realizar experimentos para estudiar las respuestas fisiológicas de las plantas.
- Determinar los parámetros de crecimiento de la planta con los diferentes tratamientos de riego.
- Desarrollar soluciones para abordar problemas relacionados al estrés hídrico.

III. Metodología

El presente servicio social se llevó a cabo del 16 de octubre de 2025 al 30 de abril de 2026, específicamente en el invernadero del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ubicado en Avenida Progreso Número 5, en el Barrio de Santa Catarina, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México (Anexo 1).

Figura 1. Diseño del experimento de estrés hídrico de *Pinus patula*.

3.1. Riego de plantas

El riego se realizó con manguera, con la cual se agregó agua al cepellón (sustrato y raíces dentro del contenedor) de la planta, hasta el punto de saturación. La frecuencia de los riegos varió de acuerdo a la programación de los tratamientos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Calendarización semanal de riegos del experimento de *Pinus patula* de acuerdo con los tratamientos de riego.

Tratamientos	Días de la semana				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
T1: Riego normal		X			X
T2: Estrés leve					X
T3: Estrés intenso					X ¹

¹Para el tratamiento tres, los riegos se realizaron cada 15 días (viernes).

3.2. Toma de temperatura y humedad

Para conocer la relación entre la temperatura y la humedad con la supervivencia y crecimiento de las plantas, los días lunes y viernes se midió la temperatura mínima, media y máxima del ambiente, así como el porcentaje de humedad del sustrato de las plantas. Las temperaturas se midieron con un termómetro marca Brannan; mientras que, la humedad se midió con un sensor digital, marca YAMRON (Figura 2). En cada medición, la humedad del sustrato se obtuvo en cuatro plantas seleccionadas aleatoriamente en cada parcela grande (tratamiento de riego); es decir, 12 plantas en cada bloque, para un total 60 mediciones de humedad en todo el experimento.



Figura 2. Equipos utilizados para el registro de temperatura y humedad en plantas de *P.patula*. A). Termómetro de mínimas y máximas; B). Sensor digital.

3.3. Medición de crecimiento y variables morfológicas

Periódicamente, cada mes registró la supervivencia, el diámetro basal del tallo (DB), altura total (AT), números de verticilos y número de ramas; así como el número, longitud y la fenología del brote lateral y terminal. El DB se midió con un vernier digital marca Miltutoyo; mientras que, la AT y la longitud de los brotes se midieron con un flexómetro.

3.4. Captura y análisis de datos

La captura de datos se realizó en una hoja de cálculo del programa Excel®. La captura y análisis de datos se realizó inmediatamente después de la toma de datos, en los días miércoles y en las horas excedentes de los demás días de la semana, comúnmente después de los riegos y la toma de datos de humedad y temperatura.

Para tener una primera aproximación del efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de las plantas, con los datos iniciales y los datos tomados a mediados de febrero de 2026, se obtuvieron los incrementos periódicos (seis meses) de diámetro basal (IPDB), altura (IPA), número de verticilos (IPNV), número de ramas (IPNR), brote lateral (IPBL) y de brote terminal (IPBT).

El análisis de datos consistió en obtener el análisis de varianza ANOVA para conocer el efecto de los tratamientos de riego sobre las plantas sujetas a experimentación. El análisis

se efectuó con el procedimiento PROC GLM del programa SAS versión 9.4, mediante el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + T_j + e_{ijk}$$

donde Y_{ij} fue el valor observado, μ el efecto medio general, β_i el efecto al i -ésimo bloque, T_j el efecto atribuido al j -ésimo tratamiento, e_{ij} el error aleatorio.

Cuando se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se realizó una comparación de múltiples medias con la prueba de Duncan.

V. Objetivos y metas alcanzadas

Se realizaron los análisis de datos e interpretación de resultados, se consiguió debido a que se aplicó ANOVA y pruebas de Duncan a seis variables morfológicas. Se interpretaron los efectos de bloques y tratamientos, identificando el incremento de diámetro basal (IDB) como único indicador con diferencias significativas para el periodo evaluado.

Se diseñaron y realizaron experimentos para estudiar las respuestas fisiológicas de las plantas, se logró hasta cierto punto ya que se ejecutó un experimento en diseños de bloques completamente al azar (DBCA) con tres niveles de riego para evaluar las respuestas al estrés hídrico en *P. patula*. Sin embargo en este periodo de evaluación solo se midieron las variables morfológicas. Las evaluaciones fisiológicas directas como potencial hídrico no se llegaron a evaluar.

Se determinaron los parámetros de crecimiento de la planta con los diferentes tratamientos de riego, se realizó determinando seis parámetros para T1T2 y T3. Se determinó que solo IDB respondió significativamente al riego mientras que altura y brotes mostraron poco impacto, por otro lado, el número de ramas no respondió en el periodo evaluado.

Se desarrollaron soluciones para abordar problemas relacionados al estrés hídrico, de acuerdo a los resultados fundamentan una solución práctica para usar pruebas de selección en vivero con IDB como criterio de selección temprana de familias tolerantes al estrés hídrico.

Respecto al objetivo general de este proyecto de servicio social, se cumplió totalmente la evaluación de respuestas morfológicas al estrés hídrico en *P. patula*.

VI. Resultados y conclusiones

A seis meses del experimento de estrés hídrico en plantas de *P. patula*, el efecto de tratamiento solo fue significativo ($p < 0.0001$) sobre el incremento periódico de diámetro basal; mientras que, los tratamientos de riego no mostraron diferencias sobre los incrementos de altura, número de verticilos, número de ramas, brote lateral y brote terminal (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de p del análisis de varianzas del crecimiento de *Pinus patula* sujetas tres tratamientos de riego.

Efecto	IPDB	IPA	IPNV	IPNR	IPBL	IPBT
Bloque	<0.0001	<0.0001	0.0009	<0.0001	0.0168	0.0297
Tratamiento	<0.0001	0.0917	0.2974	0.3802	0.0579	0.0755

Incremento periódico (seis meses) de diámetro basal (IPDB), altura (IPA), número de verticilos (IPNV), número de ramas (IPNR), brote lateral (IPBL) y de brote terminal (IPBT).

El incremento periódico de diámetro basal (IPDB) varió de 1.51 a 1.82 mm entre los tratamientos, siendo el tratamiento uno (riego normal) el que tuvo mayor incremento (Cuadro 4). Los tratamientos T2 y T1 tuvieron los mayores valores de IPA, IPNV, IPNT, IPBL e IPBT, aunque sin diferencias significativas con otros tratamientos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Promedios de incrementos periódicos con comparación de medias del crecimiento de *Pinus patula* sujetas tres tratamientos de riego.

Tratamiento	IPDB (mm)		IPA (cm)		IPNV		IPNR		IPBL (cm)		IPBT (cm)	
T1	1.82	a	6.52	a	0.38	a	1.57	a	5.77	a	2.43	ab
T2	1.62	b	8.00	a	0.26	a	1.44	a	4.26	ab	2.73	a
T3	1.51	b	6.30	a	0.26	a	1.21	a	3.78	b	1.39	b

T1: riego normal, T2: estrés leve, T3: estrés intenso. Incremento periódico (seis meses) de diámetro basal (IPDB), altura (IPA), número de verticilos (IPNV), número de ramas (IPNR), brote lateral (IPBL) y de brote terminal (IPBT). Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (Duncan, $\alpha = 0.05$).

Los resultados indicaron que el diámetro es la variable más sensible al estrés hídrico. Sin embargo, en *P. oocarpa* la reducción es más drástica, especialmente bajo estrés intenso, lo cual puede estar asociado a la duración prolongada del déficit hídrico y a la intensidad del tratamiento (humedad del sustrato tan baja como 15.5 %) (Velasco-García *et al.*, 2025). En contraste, en *P. patula* las diferencias, aunque significativas, son menos pronunciadas, lo que podría indicar una menor severidad del estrés o una distinta capacidad de tolerancia.

Otro aspecto relevante es que en *P. oocarpa* el crecimiento en diámetro basal disminuye como parte de una estrategia adaptativa para sobrevivir, priorizando la conservación de recursos frente al crecimiento. Este comportamiento también es coherente con lo observado en *P. patula*, donde el diámetro fue la variable más afectada, lo que sugiere que ambas especies ajustan su crecimiento secundario como mecanismo de respuesta al estrés hídrico (Mendoza -Maya *et al.*, 2015).

El diámetro basal es un indicador confiable y sensible del efecto del estrés hídrico. No obstante, la magnitud de la respuesta depende de la intensidad del estrés, la duración del mismo y las características propias de cada especie, reflejando de manera clara el impacto de la sequía sobre el crecimiento de la planta, mostrando una disminución proporcional al incremento de nivel de estrés (Velasco-García *et al.*, 2025).

Por el contrario, el efecto del bloque fue significativo en todas las variables, lo que indicó que la variabilidad del ambiente dentro del invernadero donde se llevó a cabo del experimento tuvo mayor efecto. Entre otros factores, la diferencia de sombra en el invernadero pudo ocasionar las diferencias atribuibles al bloque, ya que una parte del invernadero, donde se ubicaron los dos últimos bloques hubo más sombra debido a que existen árboles y edificios cerca de esa parte del invernadero.

VII. Conclusiones

Aunque al concluir el servicio social, el experimento continúa debido a que se planea evaluar durante un año, parcialmente se puede establecer las conclusiones siguientes:

Los niveles de estrés hídrico afectan el crecimiento de *P. patula*. El crecimiento de diámetro basal es más sensible al efecto del estrés pro sequía.

La variación de otros factores como la sombra afectan sobre todas las variables evaluadas en plantas jóvenes de *P. patula*.

VIII. Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos y las actividades realizadas durante el periodo de servicio social en CENID-COMEF, dentro del proyecto “Selección de procedencias y familias de *Pinus oocarpa* y *Pinus patula* al estrés hídrico”, se sugiere mantener la apertura institucional para integrar a más prestadores de servicio social, para el beneficio del desarrollo del proyecto como a la formación académica del estudiante.

IX. Referencias

- Acosta Rico, R., López Upton, J., Vargas Hernández, J. J., & Cruz Huerta, N. (2024). Variación genética en la respuesta de familias de *Pinus patula* a condiciones de sequía. *Bosque* 45(1): 55-66. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002024000100055>
- Baeza Guzmán, Yajaira, Jesús Dorantes López, Rosario Medel Ortiz, y Dora Trejo Aguilar. 2021. «Morfortipos De Ectomicorrizas En Una Cronosecuencia De Rodales De *Pinus Patula* Schiede Ex Schltdl. & Cham. En La Zona Este De México». *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 12 (66). México, ME. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.81>
- Cano, E. (2017). *Pino de ocote Pinus oocarpa schiede ex schltdl. PAQUETE TECNOLÓGICO FORESTAL*. Instituto Nacional de Bosques Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables. https://www.ito.int/files/itto_project_db_input/2802/Technical/PINO%20OCOTE.pdf

- Castellanos-Acuña, D., Lindig-Cisneros, R., & Sáenz-Romero, C. (2015). Altitudinal assisted migration of Mexican pines as an adaptation to climate change. *Ecosphere*, 6(1), 1-16. <https://doi.org/10.1890/es14-00375.1>
- Fabián-Plesníková, I., Sáenz-Romero, C., Cruz de León, J., Martínez-Trujillo, M., & Sánchez Vargas, N. M. (2020). Parámetros genéticos de caracteres de crecimiento en un ensayo de progenies de *Pinus oocarpa*. *Madera Y Bosques*, 26(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632014>
- Falfán-Cortés, A., Velázquez-Martínez, A., Reyes-Hernández, V. J., FierrosGonzález, A. M., Ramírez-Valverde, G., & Vargas-Hernández, J. J. (2021). Growth and water potential for *Pinus patula* Schltdl. & Cham. seedlings in the ejido Carbonero Jacales, Huayacocotla, Veracruz. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27(2), 309–322. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.09.061>
- López, G. M., & Flores, A. (2020). Importancia económica del pino (*Pinus* spp.) como recurso natural en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(60). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i60.720>
- Mendizába, L., Alba, J., & Rebolledo, V. (2015). PRUEBA DE PROCEDENCIA/PROGENIE DE *Pinus Oocarpa* schiede EN EL MPIO. DE E. ZAPATA, VERACRUZ, MÉXICO. *Foresta Veracruzana*, 1(2), 1405-7247. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49710202.pdf>
- Mendoza-Maya, E., Pineda-Herrera, E., & Vargas-Hernández, J. J. (2015). Respuesta fisiológica de *Pinus pseudostrobus* al estrés hídrico. *Madera y Bosques*, 21(2), 101–112.
- Osakabe, Y KShinozaki, K., Tran L.-S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science* 5: 86. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>
- Pérez Miranda, R., Moreno, M. S., Gonzales Hernández, G. H., & Arreola Padilla, A. P. (2013). Escenarios de la distribución potencial de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. con modelos de cambio climático en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322013000100006
- Sáenz, C. (2014). Guía técnica para la planeación de la reforestación adaptada al cambio climático. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.*, 1. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/6688Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20para%20la%20Planeaci%C3%B3n%20de%20la%20Reforestaci%C3%B3n.pdf>
- Velasco-García, M. V., Hernández-Hernández, A., Hernández-Hernández, A., Torres-Niño, M., Sánchez-Rosales, B., & Castellanos-Bolaños, J. F. (2025). Resistencia de procedencias de *Pinus oocarpa* al estrés por sequía. En R. Flores-Velázquez, E. Rojas-Díaz, & L. Reyes-Muro (Comps.), *Memoria de la Reunión Nacional de*

Investigación e Innovación Pecuaria, Agrícola, Forestal, Acuícola y Pesquera (pp. 1789–1791). INIFAP.

Viveros-Viveros H., A.R. Camarillo-Luna, C. Sáenz-Romero y A. Aparicio-Rentería. 2013. Variación altitudinal en caracteres morfológicos de *Pinus patula* en el estado de Oaxaca (México) y su uso en la zonificación. *Bosque* 34(2): 173-179.

X. Anexos

Anexo 1. Inveranadero de (CENID-COMEF).

