



DOI: [10.29298/rmcf.v16i90.1535](https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i90.1535)

Artículo de investigación

## **Implementación de un sistema nutricional para el desarrollo de *Pinus cembroides* Zucc. en Uruapan, Michoacán**

### **Implementation of a nutritional system for the development of *Pinus cembroides* Zucc. in Uruapan, Michoacán**

Ramón Torres González<sup>1</sup>, Patricia Delgado Valerio<sup>1\*</sup>, Joel Pineda Pineda<sup>2</sup>,  
Ulises Manzanilla Quiñones<sup>1</sup>, Martha Elena Pedraza Santos<sup>1</sup>, Cuauhtémoc  
Saénz Romero<sup>3</sup>

Fecha de recepción/Reception date: 25 de noviembre de 2024.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 27 de mayo de 2025.

<sup>1</sup>Facultad de Agrobiología Presidente Juárez, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Chapingo. México.

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

\*Autor para correspondencia; correo-e: [dvalerio@umich.mx](mailto:dvalerio@umich.mx)

\*Corresponding author; e-mail: [dvalerio@umich.mx](mailto:dvalerio@umich.mx)

#### **Resumen**

*Pinus cembroides* es un pino de zonas áridas y semiáridas de México perteneciente al grupo de los piñoneros, los cuales producen semillas para consumo humano. En este trabajo se plantea que la aplicación de enmiendas orgánicas puede promover un mejor desarrollo de una plantación de piñoneros. El cálculo de las dosis de enmienda se hizo acorde con la necesidad de nutrientes específica para la especie, con base en las dosis máximas para los cinco tratamientos evaluados bajo un diseño de bloques al azar: 241 g de estiércol de borrego, 241 g de *bocashi*, 48 mL de extracto de pescado, 22 g de ácidos húmicos+26 mL de extracto de pescado y 13 g de *Nitrofoska perfect*® por planta, aplicadas cada tres meses durante un año. Se analizaron cinco variables morfológicas y se generó un Índice de Esbeltez. El efecto de los tratamientos y la covariable se analizaron a través de un análisis de covarianza ANCOVA, mediante el cual se determinaron diferencias significativas entre tratamientos para diámetro basal ( $P=0.002$ ); el efecto de la covariable fue significativo para diámetro basal, altura de planta, número de brotes e Índice de Esbeltez ( $P<0.0001$ ). Asimismo, se realizó un análisis de varianza ANOVA para dos variables adicionales, que indicó diferencias significativas para la rama de mayor longitud ( $P=0.02$ ). Se concluye que las enmiendas a base de ácidos húmicos más extracto de pescado y *bocashi*, complementadas con sulfato de calcio son las más apropiadas para promover el crecimiento de *P. cembroides*.

**Palabras clave:** Ácidos húmicos, *bocashi*, enmiendas, extracto de pescado, piñonero, plantaciones forestales.

**Abstract**

*Pinus cembroides* is a pine tree of arid and semi-arid zones of Mexico, which belongs to the piñon pine group, which produces edible seeds for humans. In this work it is proposed that the application of organic amendments can promote the development of a pine plantation. The calculation of the amendment doses was made according to the specific nutrient requirements of *P. cembroides* plants, considering maximum doses for the treatments assessed under a randomized block design: 241 g of sheep manure, 241 g of *bocashi*, 48 mL of fish extract, 22 g of humic acids+26 mL of fish extract and 13 g of Nitrofoska perfect® per plant, applied every three months during one year, where five morphological variables were analyzed and a Slenderness index was determined. The effect of treatments and covariate were analyzed through an ANCOVA analysis of covariance, where significant differences between treatments were found for basal diameter ( $P=0.002$ ), while the effect of the covariate was significant for basal diameter, plant height, number of shoots and Slenderness index ( $P<0.0001$ ). An ANOVA analysis of variance was also performed for two additional variables, which indicated significant differences for the branch with the most outstanding length ( $P=0.02$ ). It was concluded that amendments based on humic acids plus fish extract and *bocashi* supplemented with calcium sulfate were the most appropriate to promote the growth of *P. cembroides*.

**Keywords:** Humic acids, *bocashi*, amendments, fish extract, nut pine, forest plantations.

## Introducción

El pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc.) se distribuye desde el suroeste de los Estados Unidos de América, norte y centro de México hasta Veracruz (Perry, 1991). Este pino interviene en el ciclo del agua, contribuye a la disminución de la erosión del suelo y es hábitat de fauna silvestre (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2007). Su semilla (piñón) se considera como un alimento básico para diversas especies de aves y mamíferos; habita en paisajes accidentados de condición pedregosa y seca con suelos calizos y de escasa fertilidad, además soporta sequías extremas (Constante et al., 2009).

*P. cembroides* es de lento crecimiento, con alto potencial de adaptación a condiciones desfavorables; se desarrolla en un intervalo amplio de condiciones ecológicas, en altitudes entre 1 500 y 2 800 m, con precipitaciones de 400 a 800 mm y temperaturas promedio de 0 a 22 °C (Perry, 1991). Las temperaturas bajas le resultan favorables para producir conos (Conafor, 2007), además se considera una especie óptima para reforestar zonas áridas y semiáridas de México (Perry, 1991; Zárate-Castrejón et al., 2021).

Para obtener resultados satisfactorios en una plantación forestal se requiere de un buen manejo en toda la cadena productiva, lo que implica un conocimiento del origen y calidad del germoplasma, así como un correcto manejo en la etapa de vivero con la finalidad de potenciar su crecimiento y desarrollo (Muñoz et al., 2015). La nutrición es el factor que puede mejorarse por la intervención antrópica mediante el análisis químico del suelo, para buscar un buen manejo de los nutrientes y, de ser necesario, aplicar enmiendas que ayuden a mejorar su calidad física y química (Rojas, 2015).

Sin embargo, antes de aplicar cualquier tipo de fertilizante (de origen orgánico o inorgánico), es imprescindible determinar previamente las características físicas y químicas del suelo, con la finalidad de conocer la disponibilidad y deficiencia de los nutrientes (Solis-Charcopa et al., 2017).

A pesar de que el contenido nutrimental de los abonos orgánicos es bajo, tienen un valor alto debido a los beneficios que brindan a las condiciones físicas del suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [ONUAA], 2002).

En México, se lleva a cabo una nueva forma de producir alimentos en pequeñas áreas agrícolas, en las cuales se intercala un cultivo frutal con árboles maderables, milpa o algunos otros cultivos con un manejo sustentable que resulta en un cambio positivo en la búsqueda de la generación de recursos económicos, sin dejar de lado el fortalecimiento de los servicios ambientales (Cano, 2024). Para lograr este objetivo resulta necesario estudiar otras alternativas que pudieran adaptarse de forma ideal a este concepto de producción (Secretaría del Bienestar, 2021).

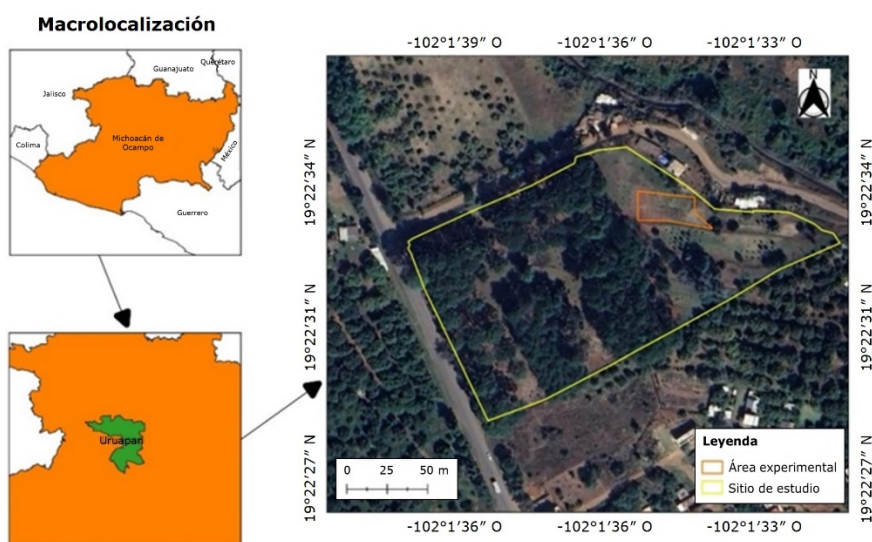
En este sentido, los estudios relacionados al manejo nutricional con materiales de origen orgánico son indispensables para definir prácticas que reviertan el impacto negativo que ha provocado la actividad agrícola basada en la obtención de máximos rendimientos. Dado que el uso de enmiendas es una alternativa posible, el objetivo del presente estudio fue evaluar la aplicación de diferentes enmiendas orgánicas en el crecimiento y desarrollo de una plantación de *P. cembroides*, como una alternativa para la recuperación de suelos degradados y a su vez, como fuente de ingreso para

los productores comerciales de piñón. Se plantó la hipótesis de que la aplicación de enmiendas orgánicas incrementa el crecimiento y desarrollo de *P. cembroides* establecido en campo.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el Área de Bosques de la Estación Experimental de la Facultad de Agrobiología Presidente Juárez de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), localizada en la ciudad de Uruapan, Michoacán. La plantación de *Pinus cembroides* se estableció en un área de 1 126.1 m<sup>2</sup>, ubicada entre las coordenadas geográficas 19°22'28.7" y 19°22'34.8" N y -102°1'30.8" y -102°1'40.3" O (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la plantación de *Pinus cembroides* Zucc. en el Área de Bosques de la Estación Experimental de la Facultad de Agrobiología Presidente Juárez, Uruapan, Michoacán, México.

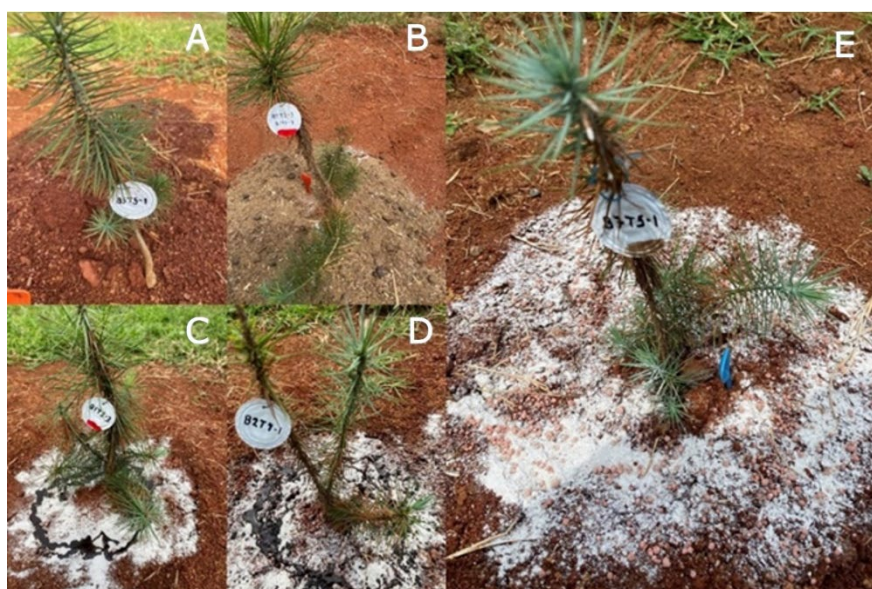
De acuerdo con los registros meteorológicos del periodo 1970-1999 de la estación climática de Uruapan (Instituto Municipal de Planeación Uruapan [Implan], 2021), la temporada de lluvias se presenta durante los meses de mayo a octubre, con promedio anual acumulado de 1 508 mm. La temperatura máxima promedio anual fue de 29.7 °C, con una temperatura media anual de 19.6 °C y una temperatura mínima anual de 9.6 °C (Implan, 2021).

### **Análisis de suelo**

En la parcela experimental se obtuvieron dos muestras compuestas de suelo, la primera en 2022, antes del establecimiento de la plantación de *P. cembroides*, y la segunda en 2023, después de un año de aplicados los tratamientos. Para ello, se siguió el procedimiento descrito en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2002); las muestras se analizaron en el laboratorio *Fertilab*®, donde se determinaron parámetros químicos, como contenido de nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, magnesio, azufre, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico. A partir de los resultados del primer análisis de suelo, se calculó la cantidad de enmienda para cada tratamiento.

## Componentes de los tratamientos

Para definir los tratamientos también se analizó el contenido de nutrientes del *bocashi* y estiércol de borrego. Con base en su contenido y el déficit de nutrientes en el suelo, más la incorporación de estiércol de borrego, extracto de pescado, una combinación de 46 % de ácidos húmicos más 54 % de extracto de pescado, se elaboraron y aplicaron cinco tratamientos: (A) *bocashi*, (B) estiércol de borrego, (C) extracto de pescado, (D) Combinación de 46 % de ácidos húmicos más 54 % de extracto de pescado, y (E) fertilizante de síntesis química *Nitrofosca perfect*® complementadas con sulfato de calcio (Agroblanca®, México) (Figura 2).



A = *Bocashi*; B = Estiércol de borrego; C = Extracto de pescado; D = Ácidos húmicos más extracto de pescado; E = *Nitrofosca perfect*® complementadas con sulfato de calcio.

**Figura 2.** Aplicación de los tratamientos a la unidad experimental (planta).

La cantidad de materia orgánica requerida en el suelo es alta (Cuadro 1) para lograr llevar este parámetro a un nivel medio, equivalente a 6.1 % de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-

2000 (Semarnat, 2002). Aplicar las cantidades requeridas de cualquiera de los materiales para aumentar la materia orgánica a un nivel medio, implicaría un exceso de nutrientes que podría ocasionar un desequilibrio en el suelo (Olivares-Campos et al., 2012).

**Cuadro 1.** Cantidad de material orgánico necesaria para elevar la materia orgánica a un nivel medio de 6.1 % de acuerdo con el déficit de este indicador.

| Fuente de materia orgánica | Contenido de carbono (%) | Cantidad (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| <i>Bocashi</i>             | 43.4                     | 651 857.14                      |
| Estiércol de borrego       | 83.2                     | 340 031.25                      |
| Extracto de pescado        | 41.4                     | 683 347.83                      |
| Ácidos húmicos+pescado     | 45.35                    | 623 828                         |

Trimestralmente, se aplicó el equivalente a 25 000 kg ha<sup>-1</sup> de estiércol de borrego y *bocashi*, 5 000 L ha<sup>-1</sup> de extracto de pescado, 2 300 kg ha<sup>-1</sup> más 2 700 L ha<sup>-1</sup> de una combinación de ácidos húmicos más extracto de pescado, lo que representó una fracción de la materia orgánica requerida en el suelo del área de interés; estas cantidades se consideran como máximas para las enmiendas y para la recuperación paulatina del suelo (Cuadro 2). Todas las enmiendas se complementaron con sulfato de calcio (CaSO<sub>4</sub>), debido a que presentaban una diferencia en su contenido de calcio.

**Cuadro 2.** Tratamientos de enmiendas aplicadas en una plantación de *Pinus cembroides* Zucc. diseñados en función de una aplicación máxima de enmiendas de origen orgánico.

| Descripción                               | Cantidad por planta | Cantidad ha <sup>-1</sup>                           |
|-------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------|
| 1. <i>Bocashi</i> +CaSO <sub>4</sub>      | 241 g+38 g          | 25 000+3 950 kg ha <sup>-1</sup>                    |
| 2. Estiércol de borrego+CaSO <sub>4</sub> | 241 g+44 g          | 25 000+4 592 kg ha <sup>-1</sup>                    |
| 3. Extracto de pescado+CaSO <sub>4</sub>  | 48 mL+48 g          | 5 000 L ha <sup>-1</sup> +5 000 kg ha <sup>-1</sup> |

|                                                         |                 |                                                                                   |
|---------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 4. Ácidos húmicos+extracto de pescado+CaSO <sub>4</sub> | 22 g+26 mL+48 g | 2 300 kg ha <sup>-1</sup> +2 700 L ha <sup>-1</sup><br>+4 984 kg ha <sup>-1</sup> |
| 5. <i>Nitrofoska perfect</i> ®+CaSO <sub>4</sub>        | 13 g+48 g       | 1 300+4 981 kg ha <sup>-1</sup>                                                   |

Los tratamientos se aplicaron por primera vez el 17 de octubre de 2022 y en tres ocasiones más: 16 de enero, 17 de abril y 17 de julio de 2023, en el área próxima al tallo que cubría la circunferencia del área de interés (Figura 2).

La plantación se estableció el 4 de octubre de 2022, con plantas de dos años de edad, en un diseño de marco real (Ramírez et al., 2021), distancias entre plantas de 3 m, en cepas de 35 cm de ancho por 35 cm de profundidad. La delimitación de los siete bloques y sus tratamientos se efectuó de manera aleatoria, y se colocó una ficha de identificación a cada planta.

## Diseño experimental y variables de estudio

El diseño experimental fue en bloques al azar con siete repeticiones, cinco tratamientos más el testigo. En total se plantaron 175 plantas, de las cuales 49 se descartaron debido al efecto de borde, de lo que resultaron 126 plantas para los análisis. Cada unidad experimental se conformó por tres pinos, este último valor fue establecido con la finalidad de cumplir con los supuestos de distribución normal y homocedasticidad de varianzas. Además, el número de muestra de tres árboles por unidad experimental, para el caso de fertilización de árboles, se considera como aceptable (Kiessling-Davison et al., 2007).

Se registraron datos cada tres meses durante un año (octubre de 2022 a octubre de 2023); las variables fueron: altura de planta (cm), medida con una regla graduada (marca *TKM*®, modelo 675); diámetro basal (mm), con un Vernier (marca *Lion*®, modelo Análogo) (Figura 3). Con estos datos se determinó el Índice de Esbeltez, que representa la relación entre la altura (cm) y el diámetro (mm) (Gerding et al., 2006;

Montes-Rivera et al., 2001), el cual es un indicador de la resistencia a la desecación, supervivencia y crecimiento potencial de la planta en sitios secos, cuyo valor debe ser menor a seis (Prieto et al., 1999); el número de brotes (Venegas-González et al., 2016) (Figura 3), y en la última fecha de medición se obtuvo el promedio de diámetro de copa (cm) (Viveros-Viveros et al., 2005) y de la rama de mayor longitud (cm) (Sáenz-Romero et al., 1994) con una regla graduada (marca *TKM*<sup>®</sup>, modelo 675).



A = Diámetro basal (mm); B = Altura (cm).

**Figura 3.** Registro de variables morfológicas en árboles de *Pinus cembroides* Zucc.

### **Análisis estadístico**

Después de analizar y comprobar la normalidad de los datos mediante las pruebas de *Kolmogorov-Smirnov* y *Shapiro-Wilk*, así como la homogeneidad de las varianzas con

la prueba de *Levene* (Brown & Forsythe, 1974) se hizo un análisis de covarianza ANCOVA sobre las variables morfológicas de los promedios de las unidades experimentales con el procedimiento *PROC GLM* en el paquete estadístico *SAS*® versión 9.4 (Statistical Analysis Systems [SAS], 2023); la altura de planta, diámetro basal, Índice de Esbeltez y número de brotes se utilizaron como covariables, y en los casos en los que se obtuvo significancia estadística, se realizó la prueba de *Tukey* ( $\alpha=0.05$ ).

El modelo estadístico (Ecuación 1) empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + B_j + Y(X_{ijk} - \bar{X}) + E_{ijkl} \quad (1)$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = Variable respuesta asociada al tratamiento  $i$ , en el bloque completo  $j$ , repetición  $k$  y el error  $l$

$\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto del tratamiento  $i$

$B_j$  = Efecto del bloque  $j$

$Y$  = Coeficiente de regresión asociado a la covariable

$X_{ijk}$  = Valor de la covariable para esa unidad experimental

$\bar{X}$  = Promedio general de la covariable

$E_{ijkl}$  = Error experimental asociado a la medición del tratamiento  $i$ , en el bloque  $j$ , repetición  $k$

Para las variables promedio del diámetro de copa y de la rama de mayor longitud, se realizó un análisis de varianza ANOVA de los promedios de las unidades

experimentales, para ello se utilizó el procedimiento *PROC GLM* en el paquete estadístico *SAS*® versión 9.4 (SAS, 2023), y en los casos que se determinó significancia estadística se aplicó la prueba de *Tukey* ( $\alpha=0.05$ ).

El modelo estadístico (Ecuación 2) empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + B_j + E_{ijk} \quad (2)$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Variable respuesta asociada al tratamiento  $i$ , en el bloque completo  $j$

$\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto del tratamiento  $i$

$B_j$  = Efecto del bloque completo  $j$

$E_{ijk}$  = Error experimental asociado a la medición del tratamiento  $i$ , en la repetición  $j$

Dado que las variables evaluadas no cumplían con los supuestos de normalidad ni homocedasticidad de las varianzas, se exploraron otras opciones de análisis con datos no paramétricos: (A) rangos de cada variable, (B) rangos del crecimiento total de cada observación, y (C) del promedio del crecimiento total de cada unidad experimental. Para los dos últimos, se restó el dato inicial al dato final para no incluir el estado inicial de los pinos como covariable y realizar un ANOVA simple. Todas las opciones exploradas arrojaron los mismos resultados, el análisis ANCOVA de los promedios de las unidades experimentales presentado en este trabajo de investigación fue el seleccionado, debido a que superó a las otras opciones al obtener los valores más altos de  $R^2$  y valores menores de Coeficiente de Variación (CV); además de que se cumplían los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las medias y se analizaron los datos originales en lugar de los intervalos.

## Resultados

### Análisis de suelo

Los resultados del análisis indicaron que el tipo de suelo dominante fue Andosol húmico (Th), con alta deficiencia de nutrientes debido a la extracción de los primeros horizontes (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Análisis de los parámetros químicos y cantidad de materia orgánica disponibles en el suelo de la plantación de *Pinus cembroides* Zucc.

| Parámetro                              | Resultado | Interpretación         |
|----------------------------------------|-----------|------------------------|
| 1. Materia orgánica                    | 0.22 %    | Muy bajo               |
| 2. Nitrógeno                           | 3.75 ppm  | Bajo                   |
| 3. Fósforo                             | 0.94 ppm  | Muy bajo               |
| 4. Calcio                              | 510 ppm   | Bajo                   |
| 5. Potasio                             | 223 ppm   | Medio                  |
| 6. Magnesio                            | 144 ppm   | Bajo                   |
| 7. Azufre                              | 29.4 ppm  | Muy bajo               |
| 8. pH                                  | 7.66      | Moderadamente alcalino |
| 9. Conductividad eléctrica             | 0.07 dS n | Muy bajo               |
| 10. Capacidad de Intercambio Catiónico | 4.33      | Muy bajo               |

### Contenido de materia orgánica en el suelo

Los resultados del análisis de laboratorio realizado después de un año de aplicación de los tratamientos mostraron un aumento en el indicador de materia

orgánica para todos los tratamientos (Cuadro 4). El valor más alto se obtuvo con el tratamiento a base de ácidos húmicos+extracto de pescado+CaSO<sub>4</sub>, con 1.86 % de contenido de materia orgánica.

**Cuadro 4.** Contenido de materia orgánica presente en el suelo de una plantación de *Pinus cembroides* Zucc. después de un año de tratamiento con enmiendas orgánicas.

| Tratamiento                                             | Contenido<br>MO (%) |
|---------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. <i>Bocashi</i> +CaSO <sub>4</sub>                    | 1.17                |
| 2. Estiércol de borrego+CaSO <sub>4</sub>               | 1.27                |
| 3. Extracto de pescado+CaSO <sub>4</sub>                | 0.66                |
| 4. Ácidos húmicos+extracto de pescado+CaSO <sub>4</sub> | 1.86                |
| 5. <i>Nitrofoska perfect</i> ®+CaSO <sub>4</sub>        | 0.47                |
| 6. Testigo                                              | 0.64                |

MO = Materia orgánica en porcentaje.

## Crecimiento y desarrollo de *Pinus cembroides*

El análisis de covarianza indicó la existencia de diferencias altamente significativas entre tratamientos para la variable diámetro basal ( $F=5.03$ ,  $P=0.002$ ), mientras que las de altura ( $F=0.99$ ,  $P=0.44$ ), brotes ( $F=1.46$ ,  $P=0.24$ ) e Índice de Esbeltez ( $F=1.16$ ,  $P=0.35$ ) no presentaron diferencias entre tratamientos. Los parámetros de las variables utilizados como covariables fueron significativos ( $P<0.05$ ) y altamente significativos ( $P<0.01$ ) para las cuatro variables evaluadas (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Análisis de covarianza (ANCOVA) entre tratamientos y covariables iniciales de *Pinus cembroides* Zucc. del Área de Bosques de la Estación Experimental de la Facultad de Agrobiología Presidente Juárez, UMSNH.

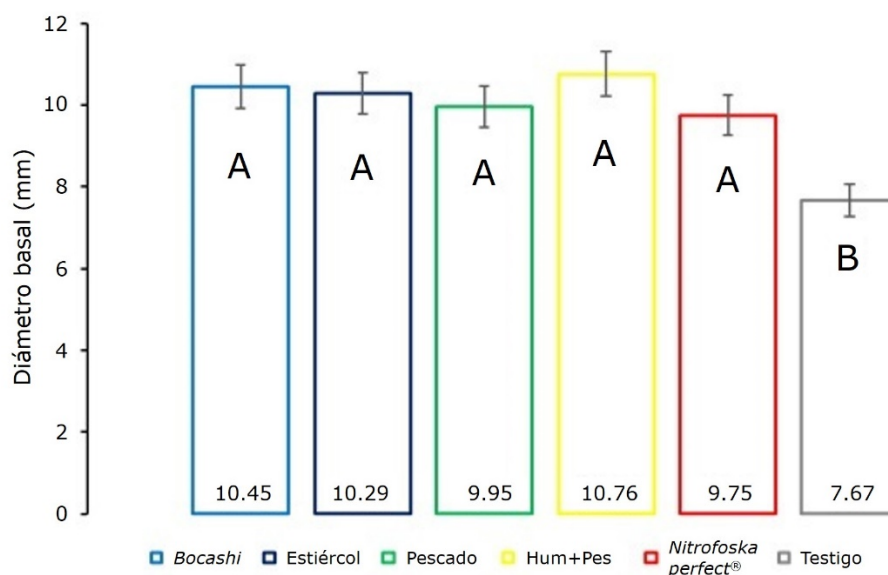
| Variable | Cuadrados medios |            | CMError | R <sup>2</sup> | CV    |
|----------|------------------|------------|---------|----------------|-------|
|          | Tratamientos     | Covariable |         |                |       |
| DB       | 3.72**           | 24.06**    | 0.74    | 0.88           | 8.77  |
| A        | 8.28 ns          | 165.7**    | 8.37    | 0.91           | 9.99  |
| NB       | 14.48 ns         | 94.7**     | 9.95    | 0.71           | 22.42 |
| IE       | 0.29 ns          | 1.9*       | 0.25    | 0.62           | 16.51 |

DB = Diámetro basal (mm); A = Altura (cm); NB = Número de brotes; IE = Índice de Esbeltez; CMError = Cuadrado medio del error; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; \*Significativo ( $\alpha=0.05$ ); \*\*Altamente significativo ( $\alpha<0.01$ ); ns = No significativo.

El análisis de las covariables evidenció una mayor influencia del estado fisiológico inicial de los pinos, en comparación con la aplicación de los tratamientos sobre el crecimiento y desarrollo final de *Pinus cembroides* en tres de las cuatro variables: altura ( $F=19.79$ ,  $P<0.0001$ ), número de brotes ( $F=9.52$ ,  $P=0.005$ ) e Índice de Esbeltez ( $F=7.63$ ,  $P=0.01$ ). Para la variable diámetro basal, cuando se utilizó el diámetro basal inicial de los pinos como covariable, el análisis de covarianza indicó diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $P=0.002$ ), así como para la covariable ( $F=35.51$ ,  $P=0.0001$ ).

De acuerdo con los resultados de la prueba de *Tukey* ( $\alpha=0.05$ ), todos los tratamientos con enmienda incrementaron el diámetro basal en comparación con el testigo, lo cual permitió que se formara un mismo grupo estadístico (Figura 4). Cabe destacar que la enmienda a base de ácidos húmicos más extracto de pescado presentó un incremento de 40.3 % en diámetro basal, en comparación con el testigo; mientras que, con la enmienda mineral a base de *Nitrofoska perfect*® se obtuvo 27.1 % de incremento en

diámetro basal con respecto a lo obtenido por el testigo, que fue el tratamiento con menor promedio de diámetro basal (Figura 4).



Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales (*Tukey*, 0.05).

**Figura 4.** Enmiendas orgánicas y su efecto en el diámetro basal de *Pinus cembroides* Zucc. en una plantación del Área de Bosques de la Estación Experimental de la Facultad de Agrobiología Presidente Juárez, UMSNH.

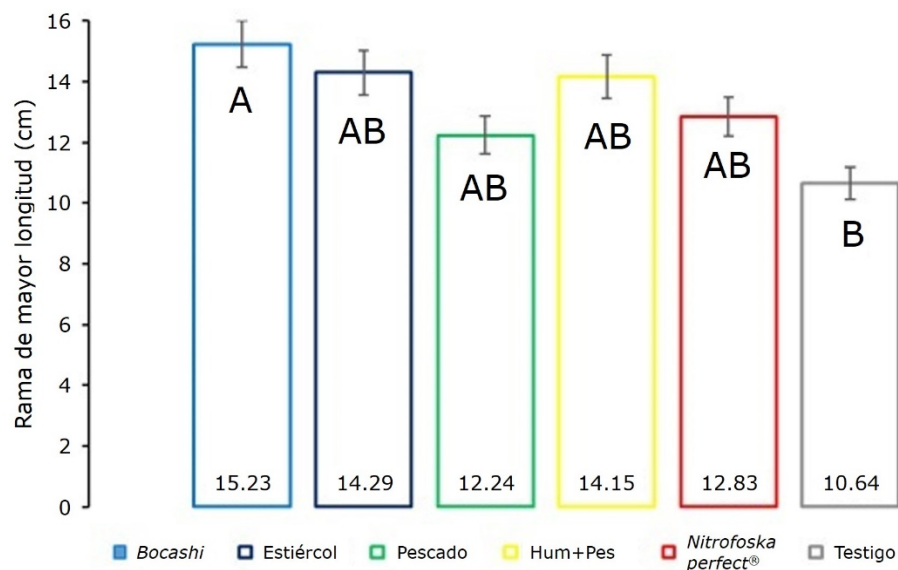
El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas entre tratamientos para la rama de mayor longitud ( $F=3.16$ ,  $P=0.02$ ), mientras que para el promedio del diámetro de copa no se verificaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $F=2.52$ ,  $P=0.052$ ) (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Análisis de varianza (ANOVA) de la evaluación del promedio del diámetro de copa y rama de mayor longitud de *Pinus cembroides* Zucc. del Área de Bosques de la Estación Experimental de la Facultad de Agrobiología Presidente Juárez, UMSNH.

| Variable | Cuadrados medios | CMError | R <sup>2</sup> | CV    |
|----------|------------------|---------|----------------|-------|
| Copa     | 10 ns            | 3.97    | 0.71           | 17.25 |
| Rama     | 21.42*           | 6.78    | 0.67           | 19.5  |

Copa = Promedio del diámetro de copa (cm); Rama = Mayor longitud (cm);  
 CMError = Cuadrado medio del error; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación; CV =  
 Coeficiente de variación; \*Significativo ( $\alpha=0.05$ ); ns = No significativo.

A partir de los resultados de la prueba de *Tukey* ( $\alpha=0.05$ ), la enmienda a base de *bocashi* incrementó en 43 % la rama de mayor longitud en comparación con el testigo, lo que a su vez permitió formar un mismo grupo estadístico con el resto de tratamientos que contenían algún tipo de enmienda. Los tratamientos a base de extracto de pescado y *Nitrofoska perfect*® registraron los promedios más bajos (Figura 5).



Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales (*Tukey*, 0.05).

**Figura 5.** Enmiendas orgánicas y su efecto en la rama de mayor longitud de una plantación de *Pinus cembroides* Zucc. del Área de Bosques de la Estación Experimental de la Facultad de Agrobiología Presidente Juárez, UMSNH.

## Discusión

Los criterios usados para preparar los tratamientos de enmiendas orgánicas tuvieron un efecto positivo significativo, ya que aumentaron el diámetro basal y el crecimiento de la rama de mayor longitud de *P. cembroides*. Estos criterios incrementaron de manera gradual el contenido de materia orgánica del suelo, de 0.22 a 1.86 %. A pesar del incremento de materia orgánica, este aún se mantiene como muy bajo de acuerdo con los valores publicados en la NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2002) para un suelo agrícola.

Sin embargo, se considera que con la aplicación de los tratamientos, específicamente, el de ácidos húmicos+extracto de pescado+CaSO<sub>4</sub> se puede llegar a un nivel medio de 6.1 % de contenido de materia orgánica en un periodo de 3.6 años. Este resultado es similar a lo referido por Moraga (2021), quien concluye que el uso de enmiendas orgánicas aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo.

El efecto significativo observado en todos los tratamientos (a excepción del testigo) en el incremento del diámetro basal como respuesta a la aplicación de todas las enmiendas refuerza la interpretación de los resultados del análisis químico del suelo y las enmiendas (Ruiz et al., 2005), debido a que los tratamientos se calcularon para optimizar el desarrollo de los árboles, en función del déficit de nutrientes del suelo

(Rodríguez et al., 2018), específicamente, al aumentar el contenido de materia orgánica del suelo.

El mayor diámetro basal coincide con lo citado en otros estudios en los que se utilizan enmiendas de origen químico, como el realizado por Vázquez-Cisneros et al. (2018) en *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. con el uso de 7 y 14 g de fertilizantes con fórmula 12-24-12 de N-P-K de liberación controlada obtuvieron un aumento de 9.17 mm en el diámetro basal. Asimismo, Madrid-Aispuro et al. (2020) describieron resultados similares con diferentes mezclas de *peat moss*, corteza compostada y aserrín de pino más 3 kg m<sup>-3</sup> y 6 kg m<sup>-3</sup> de Multicote 8® 18 % N+6 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+12 % K<sub>2</sub>O en la producción de brinzales de *P. cembroides* en vivero; y Hernández et al. (2018) en *Pinus cooperi* C. E. Blanco lograron un incremento del diámetro basal con una aplicación superior a 7 g de superfosfato de calcio simple, así como con la interacción de este fertilizante y el suministro de 3.28 y 6.5 g de sulfato de potasio. En los estudios antes expuestos se concluye que las enmiendas orgánicas o fertilizantes de síntesis química que aporten nutrientes, promueven el aumento en el diámetro de los tallos de pinos sin importar, si son de origen orgánico o de síntesis química (Luna, 2019). Aunado a lo anterior, se ha demostrado que el uso de enmiendas de origen orgánico tiene un efecto positivo en la recuperación del suelo (contenido de materia orgánica) y uno negativo, si son de síntesis química (Navarro & Navarro, 2014).

El promedio de la rama de mayor longitud obtenido con la enmienda a base de *bocashi* más sulfato de calcio fue el más alto, en comparación con los resultados de los otros tratamientos. Este dato es muy importante para *P. cembroides*, ya que se considera como una especie de muy lento crecimiento (Perry, 1991; Zárate-Castrejón et al., 2021), pero con un enorme potencial para adaptarse a condiciones adversas, que son incontrolables por el ser humano; a diferencia de la fertilidad del suelo, la que puede ser mejorada con la intervención antrópica, como se demuestra en el presente estudio.

El crecimiento de la rama como respuesta a la aplicación de enmienda a base de *bocashi* coincide con lo descrito por Jaramillo-López et al. (2015), quienes obtuvieron pinos 76.7 % más altos en plantaciones utilizadas para reforestaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la comunidad Crescencio Morales de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, previamente fertilizadas con 25 % de *bocashi*; es decir, por cada kilogramo de suelo se aplicaron 250 g de *bocashi* como enmienda.

Se han registrado diferencias estadísticas con 49.6 y 30.4 % de mayor altura en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.), con el uso respectivo de 3 y 1.5 kg de *bocashi* (Condori et al., 2024), y se ha señalado un aumento en altura de la planta, en una plantación de *Pinus greggii* con el uso de 7 y 14 g de fórmula 12-24-12 de fertilizante de liberación controlada (Vázquez-Cisneros et al., 2018).

Las diferencias estadísticas en el aumento de la rama en *P. cembroides*, de altura de planta en *P. pseudostrobus* (Jaramillo-López et al., 2015) y de *T. cacao* (Condori et al., 2024) con el uso de enmienda a base de *bocashi* difieren en que *P. cembroides* es una especie de lento crecimiento, con 25 cm anuales (Zárate-Castrejón et al., 2021); mientras que *T. cacao* puede alcanzar 24.3 cm a los 15 días en vivero (Angulo et al., 2021) y *P. pseudostrobus* crece hasta 80 cm anuales (Jaramillo-López et al., 2015), lo que resalta la importancia de los sistemas de nutrición basados en análisis de suelo y el nivel de materia orgánica; esto coincide con las aportaciones de Rojas (2015) para obtener mayor desarrollo en especies consideradas poco atractivas para su establecimiento.

## **Conclusiones**

Los tratamientos basados en enmiendas orgánicas incrementan el crecimiento de *P. cembroides*, particularmente en diámetro basal y la extensión de la rama de mayor longitud. Las enmiendas a base de una combinación de ácidos húmicos más extracto de pescado y *bocashi* complementadas con sulfato de calcio son las más apropiadas para promover el crecimiento de *Pinus cembroides*.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecemos a J. P. Gutiérrez, A. Molina y E. Torres, por el apoyo durante el trabajo de campo. Asimismo, se agradece el financiamiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (Conahcyt) a través de la beca de Maestría (813882) otorgado a Ramón Torres y al proyecto 6790561 de la Dra. Patricia Delgado Valerio, financiado por la Coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH.

## **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## **Contribución por autor**

Ramón Torres González: planeación del diseño experimental, establecimiento y cuidado del experimento, recolección y análisis de datos y redacción del manuscrito;

Patricia Delgado Valerio: diseño y establecimiento del experimento, revisión y análisis de datos y revisión de manuscrito; Joel Pineda Pineda: interpretación de análisis de suelo, diseño de los tratamientos y revisión del manuscrito; Ulises Manzanilla Quiñones: establecimiento del experimento, revisión de datos y manuscrito; Martha Elena Pedraza Santos: revisión de datos y manuscrito; Cuauhtémoc Sáenz-Romero: diseño del experimento, revisión del manuscrito.

## Referencias

- Angulo V., C. D., Mathios F., M. A., Racchumi G., A., Bardales-Lozano, R. M., y Ayala M., D. (2021). Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao*) en vivero, usando diferentes volúmenes de sustrato. *Manglar*, 18(3), 261-266. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.034>
- Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974). Robust test for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association*, 69(346), 364-367. <https://doi.org/10.1080/01621459.1974.10482955>
- Cano C., I. J. (2024). Leer el 'desorden'. Cambio agrario, campesinados y el Sembrando Vida. *Estudios Sociológicos*, 42, Artículo e2362. <https://doi.org/10.24201/es.2024v42.e2362>
- Comisión Nacional Forestal. (2007). *Pinus cembroides* Zucc. Paquetes tecnológicos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/955Pinus%20cembroides.pdf>
- Condori L., C., Maldonado F., C., y Marino P., J. (2024). Aplicación de bocashi en plantines de cacao (*Theobroma cacao* L.), en campo definitivo, Sapecho-Bolivia. *Apthapi*, 10(1), 2644-2650. <https://doi.org/10.53287/ese1176fm44p>
- Constante G., V., Villanueva D., J., Cerano P., J., Cornejo O., E. H., y Valencia M., S. (2009). Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de

- precipitación estacional para el sureste de Coahuila. *Revista Ciencia Forestal en México*, 34(106), 17-39.  
<https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/685>
- Gerding, V., Geldres, E., y Moya, J. A. (2006). Diagnóstico del desarrollo de *Pinus massoniana* y *Pinus brutia* establecidos en el arboreto de la Universidad Austral de Chile, Valdivia. *Bosque*, 27(1), 57-63. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002006000100007>
- Hernández V., R. R., López L., M. Á., y Flores N., P. (2018). Crecimiento y estado nutrimental de una plantación de *Pinus cooperi* Blanco fertilizada con N-P-K. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48), 115-135.  
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.123>
- Instituto Municipal de Planeación Uruapan. (2021). *Clima* (D3.303). Instituto Municipal de Planeación Uruapan. [https://implanuruapan.gob.mx/wp-content/uploads/2021/03/D3\\_303.pdf](https://implanuruapan.gob.mx/wp-content/uploads/2021/03/D3_303.pdf)
- Jaramillo-López, P. F., Ramírez, M. I., & Pérez-Salicrup, D. R. (2015). Impacts of Bokashi on survival and growth rates of *Pinus pseudostrobus* in community reforestation projects. *Journal of Environmental Management*, 150, 48-56.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.003>
- Kiessling-Davison, C. M., Magaña-Magaña, J. E., Segovia-Lerma, A., Obando-Rodríguez, A. J., y Villarreal Ramírez, V. H. (2007). Prohexadiona de calcio como regulador de crecimiento en el manzano (*Malus domestica* Borkh.) "Golden Delicious", Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. *TECNOCIENCIA Chihuahua*, 1(3), 7-12.  
<https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v1i3.53>
- Luna, C. V. (2019). Evaluación de sustratos y concentraciones de fertilizantes sobre el crecimiento de pino tadea (*Pinus taeda* L.) en vivero. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 39(1), 19-29.  
[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2314-369X2019000100002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-369X2019000100002&lng=es&tlng=es)

Madrid-Aispuro, R. E., Prieto-Ruíz, J. Á., Aldrete, A., Hernández-Díaz, J. C., Wehenkel, C., Chávez-Simental, J. A., & Mexal, J. G. (2020). Alternative substrates and fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* Zucc. in nursery. *Forests*, 11(1), 71. <https://doi.org/10.3390/f11010071>

Montes-Rivera, G., Solís-González, S., y Quintos-Escalante, M. (2001). Efecto del inoculante comercial BuRIZE® (*Glomus intraradices*) sobre el desarrollo de *Pinus engelmannii* Carr. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 7(2), 123-126.

<https://revistas.chapingo.mx/forestales/?section=articles&subsec=issues&numero=24&articulo=353>

Moraga Q., M. E. (2021). *Enmiendas orgánicas y sintéticas y su efecto en la producción de maíz (Zea mays L.) y frijol (Phaseolus vulgaris L.) y en la fertilidad del suelo* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria]. RIUNA Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/4319/1/tnf08m827.pdf>

Muñoz F., H. J., Sáenz R., J. T., Coria A., V. M., García M., J. de J., Hernández R., J., y Manzanilla Q., G. E. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 72-89. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.282>

Navarro G., G., y Navarro G., S. (2014). *Fertilizantes: química y acción*. Ediciones Mundi-Prensa.

[https://books.google.com.mx/books?id=3McUBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=3McUBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Olivares-Campos, M. A., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J. L., y Ojeda-Barrios, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia*, 28(1), 27-37.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-29792012000100003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000100003&lng=es&tlng=es)

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2002). *Los fertilizantes y su uso* (4ta edición). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.yumpu.com/es/document/read/27058709/los-fertilizantes-y-su-uso>
- Perry, J. P. (1991). *The Pines of Mexico and Central America*. Timber Press. [https://books.google.com.mx/books/about/The\\_Pines\\_of\\_Mexico\\_and\\_Central\\_America.html?id=u8BgAAAAMAAJ](https://books.google.com.mx/books/about/The_Pines_of_Mexico_and_Central_America.html?id=u8BgAAAAMAAJ)
- Prieto R., J. A., Vera G., C., y Merlín B., E. (1999). *Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero*. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. [https://books.google.com.mx/books/about/Factores\\_que\\_influyen\\_en\\_la\\_calidad\\_de\\_b.html?id=xPvTYgEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.mx/books/about/Factores_que_influyen_en_la_calidad_de_b.html?id=xPvTYgEACAAJ&redir_esc=y)
- Ramírez, J. A., Marín, A., Urrego, J. B., Castaño, Á., y Ospina, R. (2021). Efecto de la fertilización en el crecimiento de *Retrophyllum rospigliosii* de la zona andina colombiana. *Madera y Bosques*, 27(3), Artículo e2732315. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732315>
- Rodríguez P., E., Gutiérrez D., J. S., y Orduz R., J. O. (2018). Diagnóstico nutricional del cultivo de la lima ácida Tahití [*Citrus latifolia* (Yu Tanaka) Tanaka] en el departamento del Tolima (Colombia). *Temas Agrarios*, 23(2), 144-153. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1298>
- Rojas R., J. J. (2015). *Fertilidad de suelos en plantaciones forestales del trópico colombiano* [Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55674>
- Ruiz, M., Díaz, G. S., y Polón, R. (2005). Influencia de las tecnologías de preparación de suelo cuando se cultiva arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 26(2), 45-52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215934008>
- Sáenz-Romero, C., Nienstaedt, H., & Vargas-Hernández, J. (1994). Performance of *Pinus patula* genotypes selected in South Africa and growing in their native Mexican environment.

- Silvae Genetica*, 43(2-3), 73-81.  
[https://www.researchgate.net/publication/297699418\\_Performance\\_of\\_Pinus\\_patula\\_genotypes\\_selected\\_in\\_South\\_Africa\\_and\\_growing\\_in\\_their\\_native\\_Mexican\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/297699418_Performance_of_Pinus_patula_genotypes_selected_in_South_Africa_and_growing_in_their_native_Mexican_environment)
- Secretaría de Bienestar. (2021). Acuerdo por el que se emiten las Reglas de Operación del Programa Sembrando Vida, para el ejercicio fiscal 2022. *Diario Oficial de la Federación*, 31 de diciembre de 2021.  
[https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5639899&fecha=31/12/2021#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5639899&fecha=31/12/2021#gsc.tab=0)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002, 31 de diciembre). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, 7 de diciembre de 2001.  
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/mex50674.pdf>
- Solis-Charcopa, K. F., Quiroz-Ponce, F., Vernaza-Quiñonez, L. M., y Carrera-Villacrés, F. (2017). Biofertilizantes una alternativa ecológica para la agricultura frente al cambio climático en el Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 3(4), 75-88.  
<https://doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.3.4.oct.75-88>
- Statistical Analysis Systems. (2023). SAS® On demand for Academics (Version 9.4) [Software]. SAS Institute Inc. [https://www.sas.com/es\\_es/software/on-demand-for-academics.html](https://www.sas.com/es_es/software/on-demand-for-academics.html)
- 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>
- Venegas-González, A., Loewe-Muñoz, V., y Toral-Ibañez, M. (2016). Influencia del uso de reguladores de crecimiento sobre brotes vegetativos y número de estróbilos masculinos en *Pinus pinea* L. en Chile. *Ciência Florestal*, 26(4), 1087-1096.  
<https://doi.org/10.5902/1980509824997>

Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., López-Upton, J., y Vargas-Hernández, J. J. (2005). Variación genética altitudinal en el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en campo. *Agrociencia*, 39(5), 575-587. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/421>

Zárate-Castrejón, J., González-Pacheco, B., Ruiz-Nieto, J., Ávila-Ramos, L., y Ávila-Ramos, F. (2021). El árbol *Pinus cembroides* como alternativa para reforestar ciudades, parques y jardines. *Abanico Agroforestal*, 3, 1-12. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/202.1>



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.