



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE  
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE AGROBIOLOGÍA  
“PRESIDENTE JUÁREZ”**



**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA  
ENCIENCIAS BIOLÓGICAS**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
MANEJO NUTRICIONAL PARA EL  
EQUILIBRIO DEL SUELO Y SU IMPACTO  
EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO  
DE *Pinus cembroides*, ZUCC. D.**

**T E S I S**

**QUE PRESENTA**

**RAMÓN TORRES GONZÁLEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRIA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**DIRECTORA DE TESIS: Doctora en Ciencias Biológicas  
Patricia Delgado Valerio**

**URUAPAN, MICHOACÁN, MARZO DEL 2024**





## Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

---

DRA. MARTHA ELENA PEDRAZA SANTOS  
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
P R E S E N T E

Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: "Implementación de un sistema de manejo nutricional para el equilibrio del suelo y su impacto en el crecimiento y desarrollo de *Pinus cembroides* Zucc. D." presentado por el Ing. Ramón Torres González con Número de Matrícula 1584796X, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Maestro en Ciencias.


Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

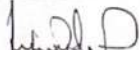
ATENTAMENTE

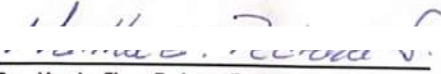
Morelia, Michoacán, a 22 de febrero de 2024

COMITÉ SINODAL

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Patricia Delgado Valerio  
Directora de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Cuauhtemoc Sáenz Romero  
Vocal I

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Joel Pineda Pineda  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Martha Elena Pedraza Santos  
Vocal 2

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ulises Manzanilla Quiñones  
Vocal 3



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

### Declaración de originalidad

El presente documento es producto del trabajo original de investigación de **Ramón Torres González**, estudiante del Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas y respetando siempre los más altos estándares éticos solicitados por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Todos los datos de la investigación reportada en el presente documento de tesis (excepto los indicados explícitamente en el texto), fueron obtenidos por **Ramón Torres González** durante el periodo que fue estudiante de la Maestría en Ciencias Biológicas, bajo la Dirección de la Dra. Patricia Delgado Valerio.

Morelia, Mich., a 22 de febrero del 2024

**Ing. Ramón Torres González**

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'R' and 'T' followed by 'González', written over a solid horizontal line.

**Dra. Patricia Delgado Valerio**

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'P' and 'D' followed by 'Valerio', written over a solid horizontal line.

## DEDICATORIA

Primero quiero agradecer a mis padres María y Leonardo por regalarme la vida y permitirme vivirla de manera libre, también les agradezco por su ejemplo ya que su comportamiento fue, es y será una guía en mi formación como ser humano, las palabras no son suficientes para agradecer ese regalo.

A mi amor y esposa Elsa, dos expresiones que se han convertido en un sinónimo imposible de diferenciar, gracias por permitirme la dicha de tu presencia desde hace ya casi 25 años, la culminación de este episodio de nuestra vida no habría podido ser sin tu incondicional apoyo en todos los sentidos, así que no solo te agradezco, también dejo de manifiesto que este logro te pertenece.

A mis suegros Paula y Leonel por su ilimitada generosidad y a mis cuñados por su apoyo, sin lo cual este avance académico hubiera sido mucho más difícil en mi particular situación.

A mis hermanos por su cuidado, amor y cariño, con mención especial a Bladimir, que es mi ejemplo y guía académica, además de un apoyo permanente en cada momento, gracias a tu consejo y apoyo conocí este maravilloso mundo de la academia y este avance es posible.

## AGRADECIMIENTOS

Al CONAHCYT, por la beca otorgada para poder llevar a cabo mis estudios de maestría.

A la UMSNH, Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de investigación en el Área de Bosques de su Estación experimental.

A mi directora de tesis, Doctora Patricia Delgado Valerio, un enorme agradecimiento por su respaldo, paciencia y confianza desde el primer momento, gracias a su generosa guía, conocimiento y experiencia fue posible desarrollar este trabajo.

A mi comité sinodal; Doctor Ulises Manzanilla Quiñones, Doctora Martha Elena Pedraza Santos, Doctor Joel Pineda Pineda y Doctor Cuauhtémoc Sáenz Romero, por su tiempo, dedicación y conocimientos, gracias a lo cual este trabajo pudo mejorarse.

Al Doctor Pedro Antonio López, por su apoyo incondicional, por su excelente calidad humana y el conocimiento brindado para la realización de los análisis estadísticos.

A mi esposa Elsa, al Maestro en Ciencias Agustín Molina, a los Ingenieros Juan Pablo y Teresa, a Don José Luis, Pablo, Erick y Aaliyah por su apoyo en el establecimiento de la plantación de los pinos y su cuidado.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Nutrición</b>	<b>3</b>
2.1.1 Nutrición vegetal	3
2.1.2 Nutrición mineral	5
2.1.3 Nutrición orgánica	7
<b>2.2 Recurso suelo</b>	<b>9</b>
2.2.1 El suelo	9
2.2.2 Fertilidad del suelo	12
<b>2.3 Enmiendas agrícolas</b>	<b>14</b>
2.3.1 Enmiendas minerales	14
2.3.2 Enmiendas orgánicas	16
2.3.2.1 Abono tipo bocashi	18
2.3.2.2 Estiércol de borrego	19
2.3.2.3 Extracto de pescado	19
2.3.2.4 Ácidos húmicos	20
<b>2.4 Especie de estudio: <i>Pinus cembroides</i></b>	<b>20</b>
<b>2.5 Hipótesis</b>	<b>22</b>
<b>2.6 Objetivo general</b>	<b>22</b>
<b>2.7 Objetivos específicos</b>	<b>22</b>
<b>III MATERIALES Y METODOS</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Análisis de suelo</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Componentes de los tratamientos</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Diseño experimental</b>	<b>26</b>
<b>3.4 Variables de estudio</b>	<b>27</b>
<b>3.5 Análisis estadístico</b>	<b>28</b>
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>29</b>
<b>4.1 Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento y desarrollo de <i>P. cembroides</i></b>	<b>29</b>
4.1.1 Diámetro basal	29
<b>4.2 Efecto de los tratamientos en el promedio del diámetro de copa y longitud de rama más larga de <i>P. cembroides</i></b>	<b>31</b>
4.2.1 Longitud de rama más larga	31
<b>4.3 Indicadores físicos del suelo</b>	<b>32</b>
4.3.1 Punto de saturación	34
4.3.2 Densidad aparente	35
4.3.3 Conductividad hidráulica	36

<b><i>4.4 Indicadores químicos del suelo</i></b>	37
4.4.1 Materia orgánica	39
4.4.2 Capacidad de intercambio catiónico	40
4.4.3 Conductividad eléctrica	42
4.4.4 Potencial de hidrógeno	43
<b>V CONCLUSIONES</b>	45
<b>V LITERATURA CITADA</b>	46

## ÍNDICE DE CUADROS

### Cuadro

1	Cantidad de material orgánico necesario para elevar la materia orgánica a un nivel medio de 6.1% de acuerdo al déficit de este indicador.....	25
2	Resumen de tratamientos en función de aplicación máxima.....	25
3	Análisis de varianza (ANCOVA) entre tratamientos y covariables iniciales de <i>P. cembroides</i> , Zucc. del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.....	29
4	Análisis de varianza (ANOVA) para efecto de tratamientos sobre el promedio del diámetro de copa y longitud de rama más larga de <i>P. cembroides</i> , Zucc., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.....	31
5	Resultados de laboratorio de parámetros físicos previo a la aplicación de los tratamientos.....	33
6	Resultados de laboratorio de parámetros físicos con aplicación de tratamientos durante un año.....	34
7	Resultados de laboratorio de parámetros químicos previo la aplicación de los tratamientos.....	38
8	Resultados de laboratorio de parámetros químicos con aplicación de tratamientos durante un año.....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Figura

- 1 Tres etapas de desarrollo de *P. cembroides*; (A) Individuo de un año de plantado en campo, perteneciente a la plantación de la investigación. (B) Individuo de cuatro años de plantado en campo. (C) Individuo de aproximadamente doce años de edad en su hábitat natural, (Cerro del Potosí, Nuevo León, México).....21
- 2 Ubicación geográfica del Área de Bosques del campo experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” .....23
- 3 Aplicación de los tratamientos en el área de interés de la parcela experimental; (A) Bocashi, (B) Estiércol de borrego, (C) Extracto de pescado, (D) Ácidos húmicos más extracto de pescado, (E) Nitrofoska perfect, complementadas con sulfato de calcio..... 24
- 4 Croquis de la plantación en la parcela experimental bajo un diseño de bloques completos al azar con siete repeticiones, seis tratamientos y 42 unidades experimentales.....26
- 5 Toma de datos de las variables morfológicas; (A) Medición de diámetro basal con vernier. (B) Medición de altura de los pinos con regla graduada.....27
- 6 Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para las medias del diámetro basal de *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH..... 30
- 7 Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para las medias de la longitud de rama más larga de *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH..... 32
- 8 Cambios en el punto de saturación del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.....35
- 9 Cambio en la densidad aparente del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.....36
- 10 Cambio en la conductividad hidráulica del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.....37
- 11 Cambio en la materia orgánica del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.....40

12	Cambio en la capacidad de intercambio catiónico del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en <i>P. cembroides</i> Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.....	41
13	Cambio en la conductividad eléctrica del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en <i>P. cembroides</i> Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.....	42
14	Cambio en el pH del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en <i>P. cembroides</i> Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.....	43

## RESUMEN

Los bosques de pino brindan importantes servicios ambientales como el ciclo del agua, fijación de carbono y emisión de oxígeno. *Pinus cembroides* Zucc., es un pino piñonero que produce semillas de uso comestible. En este trabajo se planteó que la aplicación de enmiendas orgánicas mantiene el equilibrio del suelo e incrementan el crecimiento y desarrollo de *P. cembroides*, para comprobarlo, se elaboraron y aplicaron enmiendas orgánicas en una plantación de piñonero, establecida en Uruapan Michoacán, bajo un diseño de bloques completos al azar. El cálculo de las dosis de enmienda se hizo de acuerdo a la necesidad de nutrientes específica de la parcela experimental y considerando dosis máximas para cinco tratamientos: 241g de estiércol de borrego; 241g de bocashi; 48 ml de extracto de pescado; 22g de ácidos húmicos + 26ml de extracto de pescado y 13g de Nitrofoska perfect, más un testigo sin aplicación de enmienda para cada pino, se aplicaron en cuatro ocasiones cada tres meses. El efecto de las enmiendas y de la covariable se realizó con un análisis de varianza ANCOVA, presentándose diferencias altamente significativas ( $P= 0.002$ ) para el diámetro basal. El efecto de la covariable fue significativo para las cuatro variables; diámetro basal, altura, número de brotes e índice de esbeltez ( $P < 0.0001$ ). Así mismo, se realizó un análisis de varianza ANOVA para dos variables adicionales, lo que indicó diferencias significativas entre tratamientos para la longitud de rama más larga ( $P=0.02$ ). Como conclusión se recomienda la aplicación de enmiendas orgánicas como el bocashi al incrementar el diámetro y la longitud de la rama más larga de *P. cembroides* y aumentar la materia orgánica del suelo, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico. Con las condiciones del suelo de la parcela experimental, la enmienda de bocashi fue la óptima para mejorar las condiciones químicas y físicas.

**Palabras Clave:** Enmiendas; bocashi; servicios ambientales; recursos; pinos.

## ABSTRACT

Pine forests provide important environmental services such as the water cycle, carbon fixation and oxygen emission. *Pinus cembroides* Zucc., is a stone pine that produces seeds for edible use. In this work, it was proposed that the application of organic amendments maintains the balance of the soil and increases the growth and development of *P. cembroides*. To verify this, organic amendments were prepared and applied in a stone pine plantation, established in Uruapan Michoacán, under a design of complete random blocks. The calculation of the amendment doses was made according to the specific nutrient needs of the experimental plot and considering maximum doses for five treatments: 241g bocashi; 241g of sheep manure; 48 ml of fish extract; 22g of humic acids + 26ml of fish extract and 13g of Nitrofoska perfect, plus a control without application of amendment for each pine, were applied four times every three months. The effect of the amendments and the covariate was performed with an ANCOVA analysis of variance, presenting highly significant differences ( $P= 0.002$ ) for the basal diameter. The effect of the covariate was significant for all four variables; basal diameter, height, number of shoots and slenderness index ( $P< 0.0001$ ). Likewise, an ANOVA analysis of variance was performed for two additional variables, which indicated significant differences between treatments for the longest branch length ( $P=0.02$ ). In conclusion, the application of organic amendments such as bocashi is recommended by increasing the diameter and length of the longest branch of *P. cembroides* and increasing soil organic matter, electrical conductivity and cation exchange capacity. With the soil conditions of the experimental plot, the bocashi amendment was optimal to improve chemical and physical conditions.

**Keywords:** Amendments; bocashi; environmental services; resources; pine trees.

## I. INTRODUCCIÓN

Los servicios ambientales obtenidos de la naturaleza no son tomados en cuenta cuando se habla en términos macroeconómicos, sin embargo, son esenciales para sostener la vida sobre la tierra, la tecnificación de la agricultura ha permitido obtener producción de alimentos en grandes cantidades, lamentablemente, es ineficiente cuando se contabiliza su costo energético y su impacto en la biodiversidad de los ecosistemas donde se lleva a cabo (Max-Neef, 2006).

Actualmente en México se está estableciendo una nueva forma de producir alimentos en pequeñas áreas agrícolas intercalando al menos un cultivo frutal con árboles maderables, milpa o algunos otros cultivos con un manejo sustentable, lo que al menos de inicio, resulta un cambio positivo en búsqueda de la generación de recursos económicos sin dejar de lado el fortalecimiento de servicios ambientales (Secretaría del Bienestar, 2020). Para lograr este objetivo resulta necesario estudiar todas las alternativas que pudieran adaptarse de forma ideal a este concepto de producción.

Adoptar alternativas de manejo que busquen preservar los recursos disponibles es un requisito dentro del programa establecido por el Gobierno de México, (Secretaría del Bienestar, 2020) y el suelo es uno de los recursos más importantes cuando se establecen cultivos. El uso de agroquímicos ocasiona un desequilibrio en los procesos entre la microbiología del suelo y sus procesos bioquímicos con la consecuente baja de fertilidad. La alteración de la microbiología beneficiosa puede ser desfavorable para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya sea al reducir la disponibilidad de nutrientes o al aumentar la incidencia de enfermedades. La “contaminación del suelo” se puede referir al contenido de ciertas sustancias químicas que se encuentran fuera de sitio o en un grado de desequilibrio. Es frecuente que este desbalance no sea detectado o cuantificado, ya que los cambios que sufre este recurso no siempre son visibles, por lo que se considera un peligro oculto (Meena *et al.*, 2020).

En este sentido, los estudios relacionados con el uso del suelo, su fertilidad y su dinámica son necesarios para definir prácticas de nutrición que busquen revertir el impacto negativo que ha provocado la actividad agrícola basada en obtener máximos rendimientos. Siendo el uso de enmiendas una de las alternativas enfoque central del presente estudio, que será de utilidad para promover el equilibrio del suelo, así como el crecimiento y desarrollo de una plantación de *P. cembroides*.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Nutrición

La función de la nutrición en los seres vivos se basa en el intercambio de sustancias y energía con el medio en el cual se desarrollan y que posteriormente transforman para cubrir las necesidades de las células que requieren nutrientes y oxígeno para llevar a cabo la respiración celular y obtener energía (Pérez, 2019). Lo que distingue a los organismos autótrofos y heterótrofos, no se basa en la etapa de nutrición asociada a la respiración, si no en la enorme virtud de los primeros para generar moléculas orgánicas a partir de energía lumínica, dióxido de carbono y agua. Esta característica otorga a los vegetales una función vital en el medio ambiente, como organismos responsables del ingreso de energía a los ecosistemas (Losada *et al.*, 2014).

#### 2.1.1. Nutrición vegetal

Los organismos autótrofos son capaces de convertir la energía lumínica proveniente del sol en energía química que se puede utilizar en los procesos metabólicos, además, el dióxido de carbono proveniente del aire y asimilado en los órganos fotosintéticos y el hidrogeno obtenido del agua constituyen, junto con los minerales absorbidos por el sistema radicular, la materia necesaria para formar las estructuras e incrementar el crecimiento de los vegetales y fundamentalmente constituyen la producción primaria en los ecosistemas terrestres (Azcón-Bieto & Talón, 2003).

A través de la historia se han realizado diferentes descubrimientos que han contribuido de manera progresiva a explicar la fotosíntesis, como una reacción química que llevan a cabo exclusivamente los vegetales y la respiración, un proceso común a la enorme mayoría de los seres vivos. El avance alcanzado con estas investigaciones, ha permitido establecer un modelo de la nutrición de los seres

vivos, que implica diversas y complejas reacciones bioquímicas llevadas a cabo a un nivel celular, cuya finalidad es proveer al organismo la energía y la materia requerida para impulsar el crecimiento y desarrollo de sus diferentes tejidos (Losada *et al.*, 2014).

La nutrición vegetal es el resultado de procesos en los que las plantas son capaces de absorber diferentes sustancias del medio para sintetizar sus tejidos, obtener energía y cumplir sus ciclos de vida. La raíz, el tallo y hojas son los órganos de nutrición que permiten a los vegetales absorber nutrientes y agua desde el suelo y llevarla a través del tallo hacia las hojas. El transporte de la savia bruta hacia las hojas en contra de la fuerza de gravedad se logra gracias a diferencias en los valores del potencial osmótico desde el suelo y los órganos de la planta alcanzando el valor más negativo las partes más altas de los vegetales (Zurita *et al.*, 2016).

Los nutrientes esenciales para el reino vegetal son únicamente de naturaleza inorgánica, esta forma de nutrición distingue a este reino del resto de los seres vivos y de manera muy notable lo separa del hombre que necesita consumir compuestos de origen orgánico para poder cumplir sus funciones vitales. Los nutrientes vegetales se han clasificado en macronutrientes y micronutrientes en función de la cantidad que necesitan para su desarrollo y la cantidad que forma parte de las plantas. Basados en esta clasificación, pueden definirse como macronutrientes los elementos: C, N, H, O, S, P, K, Ca, Mg, Na y Si y los micronutrientes son: Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B y Cl. El nitrógeno como macronutriente es superior varios miles de veces que el contenido del micronutriente zinc, aunque esta relación puede ser muy diferente entre diferentes vegetales (Mengel & Kirkby, 2000).

El contenido nutrimental de los vegetales debe tener un nivel mínimo satisfactorio que varía según la especie y variedad del cultivo, sin embargo, para lograr una producción cercana al máximo

posible, el contenido nutrimental se debe mantener en niveles óptimos. Esta condición se logra implementando y aplicando un manejo nutricional adecuado para cada cultivo y suelo. La implementación de un manejo de este tipo implica conocer los conceptos básicos de nutrición y los aspectos de producción que afectan a los sistemas productivos, así como las características del uso de fertilizantes (Zurita *et al.*, 2016).

### 2.1.2. Nutrición mineral

Un tiempo después de que nace la agricultura, el hombre se da cuenta que los suelos no mantenían la producción si se cultivaban de forma continuada, por lo que se desarrolló la práctica de agregar despojos de animales y vegetales a los campos de cultivo, esta actividad permitió mantener la fertilidad de los suelos por mucho tiempo. Esta situación era posible gracias a que en el pasado los sistemas agrícolas eran cerrados y las salidas de nutrientes se compensaban con las aportaciones porque no existía flujo con el exterior del sistema (Alarcón, 2000). Actualmente se hace necesario restituir al suelo los nutrientes, y desde su introducción, los fertilizantes de síntesis química han sido los más usados para compensar las exportaciones de los sistemas agropecuarios.

En la antigua Grecia, Hipócrates y después Aristóteles establecen “La teoría del humus”, según ellos las plantas se alimentan de los restos orgánicos presentes en el suelo o humus, postulan los mismos criterios que a la nutrición animal, considerando a las raíces de las plantas como la boca por donde se incorporan los alimentos contenidos en el suelo. En 1850 el ingeniero de minas francés, Boussingaul lleva a cabo una experiencia en un terreno libre de compuestos de origen orgánico, los resultados indican que la aportación del suelo como alimento directo para las plantas está limitado a sales inorgánicas como nitratos y fosfatos, siendo estos los ingredientes que el humus añade al suelo (González *et al.*, 2014).

Debido a la relación directa entre nutrición mineral y producción vegetal, en el siglo XVIII se hicieron las primeras aportaciones científicas. Julius Von Sachs, un reconocido botánico alemán, demostró que las plantas pueden desarrollarse en soluciones nutritivas con completa ausencia de suelo, lo que dio inicio a los cultivos hidropónicos. Sin embargo, la nutrición mineral como disciplina científica surge a partir de los trabajos de Von Liebig, lo que contribuyó a un gran incremento en el uso de fertilizantes de origen mineral en la agricultura de esa época para mejorar la productividad de los cultivos (Ortuño *et al.*, 2015).

La importancia de los fertilizantes de síntesis química en el aumento de las producciones agrícolas, y por ende en la producción de alimentos, radica en su capacidad de proporcionar al suelo los nutrientes en formas que son asimilables directamente para las plantas, a pesar de la información en sentido negativo sobre el impacto del uso de fertilizantes químicos, aplicados de manera racional, han logrado incrementar la producción agrícola y reducir la erosión del suelo gracias al incremento de la cubierta vegetal que promueven reduciendo el impacto de los factores abióticos del medio (Navarro & Navarro, 2014).

Debido a que la nutrición de las plantas está influenciada por muchos factores, es difícil determinar exactamente cuánto han contribuido los fertilizantes minerales al aumento en la producción agrícola, sin embargo, se considera que continuaran teniendo un papel decisivo en este aspecto. Los fertilizantes son necesarios para proveer al suelo de los nutrientes que se encuentran en un nivel bajo. Los fertilizantes han ayudado a producir más alimentos y cultivos comerciales de calidad superior, con el uso de estos insumos se puede regularmente duplicar y hasta triplicar los rendimientos de los cultivos (FAO, 2002).

### 2.1.3. Nutrición orgánica

Antes de considerar la aplicación de cualquier fertilizante de síntesis química se deberían agotar todas las posibles fuentes de nutrientes que pueden también incrementar los rendimientos de los cultivos como; excrementos de la crianza de animales, residuos de cosechas y cualquier material orgánico disponible. Aunque una condición es convertir estos materiales en composta antes de ser aplicados para fijar parcialmente los nutrientes presentes en el material original. A pesar de que el contenido nutrimental de los abonos orgánicos es muy bajo, tienen un valor alto debido a los beneficios que brindan a las condiciones físicas del suelo (FAO, 2002).

Los nutrientes orgánicos, entre cuya gran diversidad se encuentran los ácidos húmicos y fúlvicos, pueden mejorar la resistencia de las plantas a las enfermedades y a los factores ambientales adversos al aumentar la capacidad de la planta para absorber nutrientes y retener agua. Además, la nutrición orgánica puede mejorar la biodiversidad en el suelo proporcionando la materia orgánica necesaria que funciona como fuente de energía para los microorganismos del suelo (Malik *et al.*, 2018).

Los materiales que se usan como fertilizantes orgánicos pueden mejorar la absorción de minerales y otros nutrientes esenciales por las plantas, lo que puede resultar en un mayor contenido mineral en los cultivos agrícolas. Los nutrientes orgánicos, como los aminoácidos y las proteínas, pueden mejorar la asimilación de minerales y otros nutrientes que favorecen el crecimiento y desarrollo de los vegetales. Además, los nutrientes orgánicos pueden mejorar la calidad del suelo, con lo que se mejoran de forma general las condiciones favorables para el desarrollo de las plantas (Kumar *et al.*, 2017).

Debido a las propias características físicas y químicas, los fertilizantes orgánicos pueden ayudar a corregir algunos tipos de degradación del suelo, mientras que se incrementa la concentración de nutrientes gracias a la transformación que deben sufrir para liberar su contenido a la vez que aumentan la porosidad y disminuyen la erosión hídrica evitando el lavado de partículas mediante la formación de agregados, por otra parte, su costo económico resulta bajo ya que pueden ser elaborados con materiales locales (Maquilón, 2022).

El uso de materia orgánica puede beneficiar los parámetros físicos del suelo y con ello mejorar las condiciones del espacio donde se desarrollan las raíces de las plantas (Flavel & Murphy, 2006, Brechelt, 2004). La materia orgánica en el suelo tiene una influencia muy importante desde el punto de vista agronómico porque impacta las propiedades físicas, químicas y biológicas de este recurso, estos parámetros influyen enormemente en el rendimiento de los cultivos agrícolas. Las enmiendas orgánicas como; estiércoles, compostas, abonos, residuos vegetales, biofertilizantes y lixiviados son constantemente utilizados como opción al uso de los fertilizantes de síntesis química para mejorar las condiciones fisicoquímicas. El impacto en el rendimiento de los cultivos puede deberse a la mejora de las limitaciones físicas del suelo, a su contenido de nutrientes o a ambos factores que favorecen simultáneamente (Celestina *et al.*, 2019).

La nutrición orgánica puede mejorar la calidad del suelo al proporcionar nutrientes para la actividad microbiana y mejorar la estructura de este importante recurso. Los compuestos orgánicos pueden proporcionar nutrientes para la fase viva del suelo, impulsando la descomposición de materia orgánica y la liberación de minerales para las plantas. Además, el aporte de materiales orgánicos puede mejorar los parámetros físicos del suelo (Gliessman, 2015).

## **2.2. Recurso suelo**

El recurso suelo es vital para la actividad agrícola debido a la interacción que se establece entre éste y las plantas, el suelo provee de nutrientes y soporte físico a los vegetales. Es un cuerpo natural que contiene minerales y materia orgánica capaz de interactuar con factores bióticos y abióticos para proporcionar servicios ambientales críticos (Brady & Weil, 2016). La calidad del suelo es esencial para la sostenibilidad de la agricultura y la producción de alimentos. Este parámetro se puede evaluar mediante múltiples indicadores, como la materia orgánica, la estructura del suelo, la porosidad y la infiltración de agua (Franzluebbers, 2018).

### **2.2.1. El suelo**

Se considera al suelo como un recurso natural formado por tres fases; sólida, líquida y gaseosa, con características físicas determinadas y en el que se llevan a cabo reacciones químicas de forma constante. Este recurso hace posible el desarrollo de la mayoría de las plantas, característica que lo vuelve fundamental para sostener la vida sobre la tierra. Para un adecuado crecimiento vegetal, el suelo debe contener una textura y estructura que permita un arreglo donde los poros del suelo sean suficientes y estén conectados para que la solución del suelo y el aire circulen de forma constante (Álvarez, 2003).

Los indicadores de calidad de suelo son de tres tipos: Físicos, químicos y biológicos. Todos ellos deben de reflejar su contenido y las características para sostener la vida, además, los indicadores deberían de ser utilizados desde un enfoque sostenible, para analizar la situación actual de los sistemas biológicos e identificar los puntos críticos de desequilibrio ambiental, como son los posibles impactos antes de una intervención, monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas y ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible (Bautista *et al.*, 2004).

El suelo es un recurso natural no renovable, proclive a la degradación y a la reducción o pérdida de la fertilidad principalmente cuando es sometido a una sobreexplotación que altere el equilibrio de sus diferentes fases, perdiendo su capacidad de producir y comprometiendo la seguridad alimentaria de la población. En México, este recurso tiene la capacidad de alcanzar la soberanía alimentaria interna si se incrementan los rendimientos en los cultivos o mediante la ampliación del área destinada a la agricultura (Torres & Rojas, 2018).

Una gestión responsable del suelo implica desarrollar estrategias para incrementar la producción de alimentos y a la vez minimizar el impacto negativo evitando la pérdida de productividad debida a la degradación y restaurando los suelos que previamente la hayan perdido. La reducción de áreas con pérdida de productividad por degradación es vital para conservar el área productiva y evitar la necesidad de aumentarlas. El mayor obstáculo para mejorar las condiciones del suelo de terrenos degradados es el déficit de nutrientes y de compuestos orgánicos. Aun si los insumos están disponibles, la restauración de la productividad puede ser complicada si el grado de alteración del recurso se encuentra en un punto tal que no responda favorablemente a las técnicas adecuadas de manejo (FAO, 2016).

La preocupación por la situación crítica del suelo reúne varias voces en el mundo, la Asamblea Ambiental de las Naciones unidas (UNEA-3), hace un llamado para implementar acciones de manera urgente que aborden la forma más adecuada de manejar y remediar esta degradación. Este consenso, logrado por más de 170 países, manifiesta el grado de prioridad que se debe asumir para atender dicha situación. En las últimas conclusiones de la investigación científica se declara que la contaminación del suelo afecta de manera directa la salud de los seres humanos (Rodríguez *et al.*, 2019).

En México la situación de contaminación del suelo es preocupante debido a la gran superficie alterada con esta condición. De los 200 millones de hectáreas que tiene el territorio nacional, más de 142 millones se encuentran en procesos de degradación física, química o biológica, lo cual se refleja en el cambio climático y en la severa y creciente escasez de agua y alimentos (Moncada *et al.*, 2013).

La problemática a la que se enfrenta el recurso suelo se debe considerar desde el punto de vista ecológico, donde se busque implementar prácticas que armonicen con el equilibrio del ecosistema agrícola. El uso de fertilizantes de origen orgánico mejora las propiedades del suelo cuando han sido deterioradas debido a un uso excesivo de agroquímicos (Nieto-Garibay *et al.*, 2002). Estos fertilizantes orgánicos son todos aquellos materiales derivados de organismos vivos, están compuestos por residuos vegetales y animales que constituyen la denominada materia orgánica, indispensable para mantener la vida en el suelo (Primavesi, 1984, Hernández, 1997).

El suelo como sistema, brinda un sinnúmero de beneficios ecosistémicos a los seres humanos ya que en él se llevan a cabo diferentes procesos que sustentan la vida en la tierra. Aunque esta funcionalidad del suelo ha sido aprovechada por el hombre en el desarrollo de las civilizaciones, el suelo no le pertenece a la humanidad ni es un recurso inagotable. En el suelo se articulan una red de procesos para la vida y los seres humanos juegan un papel determinante para su conservación, por lo tanto, adoptar prácticas agrícolas que coadyuven en la estabilidad del suelo podría reducir su degradación y brindar la posibilidad de seguir obteniendo sus enormes beneficios (Gómez *et al.*, 2019).

### 2.2.2. Fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo es definida como; “La capacidad para suministrar elementos esenciales para el crecimiento de las plantas sin una concentración tóxica de ningún elemento”, por lo tanto, la fertilidad del suelo está directamente relacionada con la nutrición de los cultivos, la disponibilidad de nutrientes en dosis adecuadas, su movimiento y la entrada a través de las raíces de las plantas. El conocimiento sobre la fertilidad del suelo es muy importante para establecer planes de manejo que ayuden a obtener rendimientos sostenibles en los cultivos a la vez que mantienen la calidad del suelo (Foth & Ellis, 2018).

El contenido de nutrientes es el principio básico para determinar la fertilidad de un suelo, la cantidad de esos nutrientes puede estar disponible de manera inmediata, a corto, o a largo plazo, de acuerdo a sus características y a la cantidad y tipo de vegetación presente. La carencia de macronutrientes puede impedir el crecimiento óptimo en la producción agrícola y forestal, la incorporación racional de fuentes de fertilización puede mejorar el contenido y disponibilidad de nutrientes en el suelo con lo que se puede obtener un mejor rendimiento en las producciones agropecuarias (Brady & Weil, 2016).

La calidad y volumen de materia orgánica presente en el suelo tienen un impacto muy relevante en muchos de los procesos de los ecosistemas debido a la influencia que ejerce en las propiedades físicas y el aporte de nutrientes. El nivel de este parámetro se usa como índice de su capacidad para suministrar nutrientes a la planta de manera eficiente en combinación con los factores abióticos, la calidad y cantidad de materia orgánica está relacionada directamente con las prácticas de labranza y adición de abonos de corral, abonos verdes, mulching entre otras muchas opciones (Nair, 2019).

La evaluación de la fertilidad del suelo es un aspecto delicado en el manejo de la fertilidad. La finalidad típica de esta evaluación es comprobar la habilidad de un suelo para suministrar los minerales esenciales que permitan un rendimiento óptimo de los cultivos. La productividad puede estar condicionada por el rendimiento, por parámetros de calidad o alguna otra variable que se establezca como objetivo del cultivo. Más allá de hacer una medición de carácter cuantitativo de los elementos esenciales presentes en el suelo, la evaluación de la fertilidad del suelo también debe dar a conocer otros parámetros que pueden modificar los nutrientes del suelo o su disponibilidad para la planta, como el pH o la compactación (McGrath *et al.*, 2014).

Los análisis de rutina de los suelos pueden detectar déficit de nutrientes y niveles alterados de pH que pueden impedir la disponibilidad de algunos nutrientes para las raíces de las plantas. Los análisis de suelo muestran además qué nutrientes están presentes en cantidad óptima, cuales están en niveles bajos y cuales, en cantidades por encima de las adecuadas, lo que permite calcular de manera racional la aplicación de fertilizantes minerales o enmiendas evitando el aporte innecesario de algún nutriente. Con la aplicación únicamente de los nutrientes que requiere el suelo se consigue un ahorro en los costos de producción a la vez que se minimiza la pérdida de nutrientes y se evitan problemas ambientales (Silveira & Kohmann, 2020).

La aplicación indiscriminada de fertilizantes de síntesis química en la agricultura ha mermado la fertilidad del suelo haciendo de este recurso un hábitat poco adecuado para el cultivo de plantas. El frecuente y excesivo uso de estos productos químicos han derivado en erosión del suelo, contaminación de agua y reducción de la biodiversidad. La producción de los cultivos ha aumentado debido al incremento en el uso de fertilizantes, aunque ha provocado reducción en la fertilidad del suelo. Con la agricultura orgánica se ha desarrollado un planteamiento diferente para

la producción de cultivos utilizando fertilizantes orgánicos para reducir los efectos adversos del uso de los fertilizantes químicos (Singh *et al.*, 2020).

La incorporación de nutrientes en cantidades por encima de la tasa de extracción en los cultivos agrícolas, independientemente de la fuente que se utilice, derivan en una acumulación de nutrientes, provocando en última instancia, una concentración en el sitio que pudiera ser tóxica, su transporte a sustratos inferiores del suelo o incluso su incorporación a los mantos acuíferos. Para manejar de manera eficiente el uso de nutrientes se requiere comprender una serie de aspectos específicos a cada sitio como; su contenido de nutrientes, los fertilizantes que se vayan a utilizar y el momento en que se llevara a cabo la aplicación (Havlin & Heiniger, 2020).

### ***2.3. Enmiendas agrícolas***

#### **2.3.1. Enmiendas minerales**

Las enmiendas minerales son productos de origen natural o artificial cuya aplicación en campos agrícolas tiene como finalidad mejorar los parámetros físicos y químicos de los suelos, estos productos están compuestos por diferentes minerales entre los que se pueden mencionar el calcio, el potasio, el fósforo, el azufre, el magnesio, elementos esenciales en la nutrición de las plantas para su desarrollo óptimo. La aplicación racional de enmiendas minerales puede aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y mejorar su capacidad de retención (Murtaza *et al.*, 2018).

Las enmiendas minerales significan un recurso muy importante para cubrir la demanda nutricional de los cultivos, obtener grandes rendimientos y mantener o incrementar la fertilidad del suelo. Se pueden presentar casos en que los abonos minerales son la única fuente disponible. Este recurso debe usarse racionalmente para sacar el mejor provecho, reducir costos de producción

y la contaminación ambiental, las fuentes naturales de donde se obtiene el fósforo y potasio tienen un límite, en lo que respecta al nitrógeno, su proceso de obtención implica un coste energético muy alto. Por lo tanto, el uso de estos insumos debe ser eficiente mediante el ajuste de la dosis, usando el producto adecuado y aplicando en el momento idóneo (Irañeta *et al.*, 2011).

Muchos de los suelos dedicados a la producción agrícola presentan un nivel deficiente de minerales debido principalmente a la exportación de nutrientes contenidos en los órganos vegetales de interés comercial, esta situación tiene como consecuencia bajos niveles de productividad, así como el aumento en los costos de producción. El uso de harinas de roca como fertilizante sin tratamiento químico de ningún tipo, es una alternativa viable que puede ayudar a recuperar la fertilidad de los suelos. Las harinas naturales obtenidas de la molienda de rocas fueron la base para la fabricación de los primeros fertilizantes utilizados en la agricultura con el objetivo de reponer los nutrientes extraídos del suelo y como minerales fundamentales para lograr el equilibrio nutrimental de las plantas (Guzmán *et al.*, 2021).

El uso más generalizado del uso de enmiendas minerales es como corrector de pH del suelo debido a su capacidad de modificar algunas de sus propiedades o características. Enmiendas a base de yeso agrícola, cal agrícola, cal dolomítica o cal hidratada, si se adicionan al suelo, reaccionan con el agua y liberan aniones básicos OH con lo que se aumenta el pH y se disminuye la acidez mejorando la disponibilidad de los nutrientes, también aumenta la actividad biológica y como un beneficio indirecto de esta actividad, se mejora la estructura del suelo (Arévalo & Castellano, 2009).

La disponibilidad de enmiendas minerales, específicamente de fertilizantes de síntesis química, ha permitido producir más alimentos para mantener a una población con un crecimiento sostenido,

por lo otro lado, el uso generalizado de estos insumos, muy solubles la mayoría de veces, ha provocado efectos adversos detectados en las últimas décadas. Actualmente, los esfuerzos deben encaminarse a implementar medidas que busquen revertir esos efectos negativos, tomando como base que la aplicación de enmiendas minerales a los suelos es una práctica imprescindible para mantener o aumentar la producción alimentaria (García-Ortiz-Civantos, 2016).

### 2.3.2. Enmiendas orgánicas

Una enmienda orgánica es un producto que aplicado al suelo aporta o promueve la generación de humus, mejorando los parámetros físicos como; profundidad del suelo, infiltración y densidad aparente, capacidad de retención de agua, parámetros químicos como; materia orgánica (N y C total), pH, conductividad eléctrica, P, N, y K extractables, y los indicadores biológicos: C y N de la biomasa microbiana, respiración, contenido de humedad y temperatura, y N potencialmente mineralizable, garantizando el aporte de materia orgánica, nitrógeno orgánico, ácidos húmicos y fúlvicos, además de presentar una humedad máxima de 40% y cumplir con límites máximos de metales pesados (Madrid *et al.*, 1996).

La práctica de aportar estiércoles al suelo, con el propósito de obtener incremento en las cosechas, se remite prácticamente a los inicios de la agricultura misma, ya que el hombre comprobó de manera empírica las ventajas que se obtenían con los aportes orgánicos. Mediante la simple observación se comprobó que el uso de subproductos de origen orgánico, además, de la introducción de cultivos de efecto positivo, como las leguminosas, brindan beneficios en los cultivos que se establecían, por lo tanto, las rotaciones y el uso de estiércol son prácticas de manejo que se originan desde un conocimiento ancestral (García-Ortiz-Civantos, 2016).

El uso de enmiendas orgánicas mejora la disponibilidad de nutrientes para los cultivos con excepción de Cu que reporto un valor menor al igual que Mn, que en algunos casos se reporta una disminución con relación al suelo testigo sin enmienda (Hernández & Bustamante, 2001). Implementar el uso de enmiendas orgánicas es una necesidad, ya que ayuda a mantener el equilibrio del recurso suelo en zonas agrícolas, lo que se torna vital y una inversión que conlleva beneficios para todos los seres vivos.

El suelo es el segundo depósito natural de carbono, por lo que juega un papel primordial en el ciclo de generación y captura de gases de efecto invernadero. A nivel mundial los suelos agrícolas han visto reducido su contenido original de carbono debido a cambios de uso de suelo y prácticas inadecuadas en los cultivos, provocando que los suelos pasen de ser sumideros de carbono a emisores de CO<sub>2</sub>. Esta situación puede ser revertida mediante la incorporación al suelo de enmiendas orgánicas que influyen directamente en la captura de carbono y además puede mejorar la capacidad de infiltración y retención del agua, el intercambio catiónico y la fertilidad (León *et al.*, 2021).

El uso de enmiendas orgánicas representa una oportunidad de amplios beneficios ecológicos, por un lado, la gestión adecuada de los subproductos de la industria de alimentos y de la ganadería, evitan la contaminación ambiental de los sitios donde se depositan los residuos orgánicos generados, por otro lado, si esos residuos generados en esas actividades se someten a un proceso de biodegradación aeróbica, se logra su estabilización de una forma simple y eficiente, a la vez que se reduce la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmosfera mediante la fijación de carbono en el suelo mejorando sus condiciones físicas y químicas (Iturmendi *et al.*, 2019).

La estructura del suelo es determinante en la cantidad de agua disponible para las plantas y este

parámetro se mejora notablemente con la incorporación de materia orgánica, la disponibilidad de agua es imprescindible tanto en los ciclos de nutrientes como en el crecimiento de los cultivos debido a que si los nutrientes se encuentran disueltos en la solución del suelo pueden ser inmediatamente absorbidos por las raíces. Además de la estructura, la textura del suelo y su contenido de materia orgánica mejoran la capacidad de retención de agua ya que influyen en la porosidad del suelo, la distribución del tamaño de los poros y en el área de superficie específica (Villena, 2019).

La cantidad de materia orgánica de un suelo se puede incrementar mediante la aplicación de residuos vegetales y animales que sufren un proceso de descomposición con la ayuda de mesofauna, microfauna y microorganismos. En el sistema suelo, la mineralización de la materia orgánica representa el punto de equilibrio que se establece cuando se incorporan estos residuos y de la velocidad de mineralización dependerá la tasa de aporte recomendada para lograr una acumulación de materia orgánica óptima, siendo generalmente mayor en suelos con gran contenido de arcilla que en suelos con mayor contenido de arena. Aunque la materia orgánica en la mayoría de los suelos solo representa una parte mínima ( $\leq 5\%$ ), sus componentes presentan una gran reactividad y superficie específica, lo que explica su gran importancia en la productividad de este recurso (Aparicio, 2020).

#### 2.3.2.1 Abono tipo bocashi

El término bocashi tiene su origen en el idioma japonés y se refiere en el abono orgánico fermentado, a la exposición de una mezcla de materiales al calor generado por la actividad de los microorganismos que provocan una fermentación en presencia de oxígeno. La obtención del bocashi se logra mediante un proceso controlado que implica mezclar de manera homogénea 20

partes de estiércol, 20 sacos de cascarilla de arroz, 20 sacos de tierra, 4 sacos de cisco de carbón, 1 saco de salvado de arroz y 1 saco de cal dolomita, 5 lt de melaza, 1kg de levadura para pan y agua suficiente para humedecer el material, controlar la temperatura mediante volteo con pala dos veces al día los primeros tres días y después una sola vez al día (Restrepo & Hensel 2015).

#### 2.3.2.2 Estiércol de borrego

Los beneficios que un estiércol pueda proporcionar al suelo está condicionado por varios factores, sin embargo, el contenido nutricional es determinante, este puede conservarse o perderse en mayor o menor grado dependiendo del manejo que se brinde a este recurso, conocer dicho contenido es fundamental para su uso en la agricultura, el estiércol de borrego presenta características superiores a otros materiales del mismo tipo, con un contenido de nutrientes más alto, lo que lo convierte en una opción atractiva para la nutrición de cultivos y recuperar los contenidos de materia orgánica al suelo, además de ser un material disponible de manera local en la mayoría de localidades del país (Tlelo-Cuautle *et al.*, 2020).

#### 2.3.2.3 Extracto de pescado

Las emulsiones a base de pescado, son un subproducto de la industria pesquera que impacta de manera positiva al medio ambiente gracias a una gestión adecuada de los desechos mediante hidrolisis química u orgánica y a los beneficios que se obtienen en la agricultura al utilizar este producto. Mediante este proceso, el extracto de pescado resulta en un producto con un contenido de macro y micronutrientes disponibles para las plantas, aminoácidos y péptidos, por su estado líquido es utilizado junto con el riego con el propósito de estimular el crecimiento y rendimiento de los cultivos a la vez que aumenta o estimula la actividad microbiológica del suelo (Ruisánchez, 2021).

#### 2.3.2.4 Ácidos Húmicos

Las sustancias húmicas forman estructuras complejas, variables y un gran número de moléculas pequeñas distintas, así como grupos funcionales que se agrupan mediante enlaces débiles que les permite realizar gran variedad de funciones beneficiosas para la función de las plantas como; incrementar los rendimientos de los cultivos y reducir los impactos negativos que ocasiona el agobio por condiciones ambientales. Su origen se debe a un proceso de transformación de la materia orgánica que se deposita en el suelo gracias a la acción de la flora microbiana. Su modo de acción es aun motivo de debate, sin embargo, se han hecho estudios que indican posibles formas de actuar como una acción like-auxine y sobre el metabolismo secundario con la estimulación de compuestos antioxidantes (Veobides-Amador *et al.*, 2018).

#### 2.4. Especie de estudio: *Pinus cembroides*

*P. cembroides* Zucc., forma parte de los denominados pinos piñoneros cuya característica distintiva es contar con semilla que es comestible, gracias a esta característica esta especie puede considerarse de doble propósito, por lo que puede generar ingresos económicos, además de brindar los beneficios inherentes a las especies de su género (Velasco, 2000). Es considerada una especie de lento crecimiento (Figura 1), pero con alto potencial de adaptación a condiciones desfavorables para otras especies, crece en un intervalo amplio de condiciones ecológicas, en altitudes de 1500 a 2800 msnm, precipitaciones entre 400 a 800 mm y temperaturas de 0°C a 22 °C (Perry, 1991). Las bajas temperaturas le resultan favorables para la producción de conos, además, se considera una especie óptima para reforestar zonas áridas y semiáridas (Perry, 1991; De la Rosa, 1995).

Esta especie es típica de suelos pobres, pedregosos o calizos, de color grisáceos o negros, delgados, normalmente prefieren suelos neutros a alcalinos. Desarrollándose en varios tipos de

suelo, como los litosoles, rendzina, regosol eutrico y suelos someros (Carrillo, 2009). Al parecer requieren de lugares con gran insolación y bajas concentraciones de calcio y magnesio (Perry, 1991).

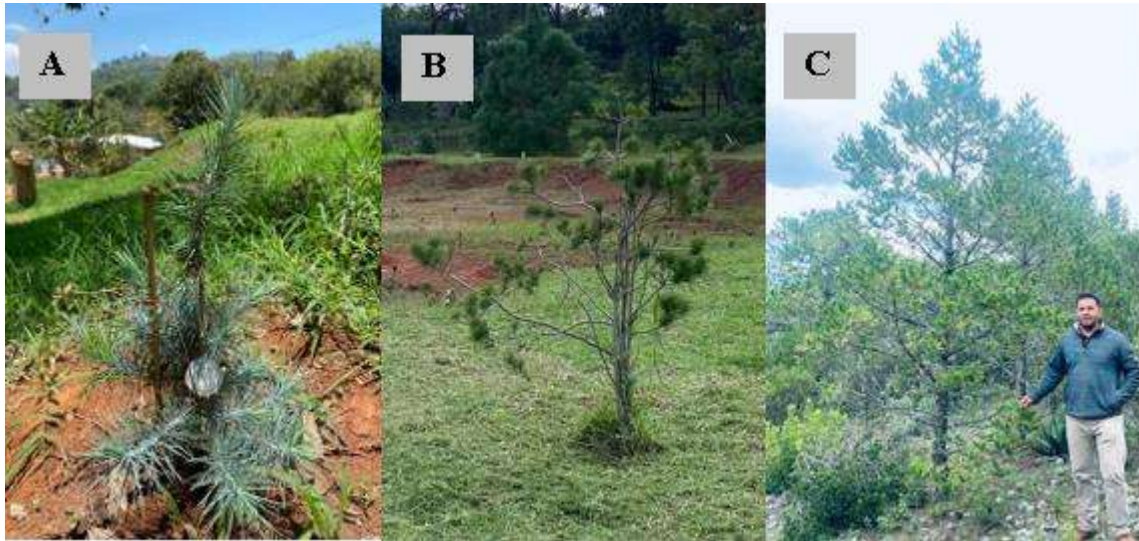


Figura 1. Tres etapas de desarrollo de *P. cembroides*; (A) Individuo de un año de plantado en campo, perteneciente a la plantación de la investigación. (B) Individuo de cuatro años de edad plantado en campo. (C) Individuo de aproximadamente doce años de edad en su hábitat natural, (Cerro del Potosí, Nuevo León, México).

En esta especie de pino se ha detectado un desarrollo muy lento de los árboles, tal como lo han indicado algunos estudios de caracterización productiva y para su establecimiento en zonas urbanas (De la Rosa, 1995; Castrejón *et al.*, 2021). *P. cembroides* presenta un crecimiento en altura aproximado de 25 cm anuales en sus primeros años de vida, por lo que se considera una especie de lento crecimiento, puede alcanzar una altura de 10 m de altura y 6 m de ancho de copa a los 25 años y produce piñones a los 15 años de edad (Castrejón *et al.*, 2021). Este hábito de crecimiento se considera normal en esta especie, sin embargo, es necesario conocer el impacto que se puede obtener en su desarrollo cuando se le apliquen enmiendas orgánicas de diferente origen o enmiendas de origen mineral.

En Chile se introdujo una especie de pino piñonero *Pinus pinae*, que es otra especie perteneciente al grupo *Cembroides*, pero originaria del Mediterráneo, la cual se considera con gran potencial para su producción, por lo que existe un proyecto para aumentar el área sembrada con esta especie en asociación con la producción de trufa de Borch (*Tuber borchii*), lo que muestra el interés mundial por el establecimiento de cultivos en asociación (Delard *et al.*, 2020). Por lo tanto, es importante implementar medidas que no alteren los recursos de los ecosistemas donde se lleven a cabo plantaciones como el uso de enmiendas de origen orgánico.

Acorde con lo anterior, en el presente proyecto se plantea la siguiente hipótesis y objetivos:

### **2.5 Hipótesis**

La aplicación de enmiendas orgánicas mantiene el equilibrio del suelo e incrementan el crecimiento y desarrollo de *P. cembroides*.

### **2.6 Objetivo general**

Elaborar y aplicar enmiendas orgánicas para el equilibrio óptimo del suelo y evaluar su impacto en el crecimiento y desarrollo de *P. cembroides*.

### **2.7 Objetivos específicos**

1. Evaluar el manejo nutricional para lograr un equilibrio químico y físico del suelo.
2. Determinar la enmienda nutricional óptima para el crecimiento y desarrollo de *P. cembroides*.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH, en Uruapan Michoacán. La plantación de *P. 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'' de latitud norte y 102° 1' 30.8'' y 102° 1' 40.3'' longitud oeste (Figura 2), a una altitud de 1610 msnm. De acuerdo a la estación meteorológica de Uruapan, (datos disponibles del año 1970-1999), la temporada de precipitaciones es de mayo a octubre, con un promedio anual de 1,508 mm/año. El promedio de la temperatura anual oscila entre los 16.8 y 21.7°C. La temperatura máxima promedio anual es de 29.7°C, la media de 19.6°C y la mínima de 9.6°C (IMPLAN Uruapan, 2021).



Figura 2. Ubicación geográfica del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”.

### 3.1. Análisis de suelo

Se tomó una muestra compuesta de suelo en la parcela experimental siguiendo el procedimiento descrito en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002) para realizar un análisis en el laboratorio Fertilab<sup>R</sup> de parámetros físicos como; conductividad hidráulica, punto de saturación y densidad aparente, químicos como; materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico (Cruz *et al.*, 2004), y así conocer la condición del suelo previo a la plantación y basados en esa información calcular la cantidad de enmienda a usar para cada tratamiento.

### 3.2. Componentes de los tratamientos

Se realizaron análisis del bocashi y del estiércol de borrego en el laboratorio Fertilab<sup>R</sup> y en base a su contenido de nutrientes y el déficit en el suelo se elaboraron y aplicaron enmiendas a base de bocashi, estiércol de borrego, extracto de pescado, una combinación de 46% de ácidos húmicos más 54% de extracto de pescado, y una a base de fertilizante de síntesis química nitrofosca perfect, complementadas con sulfato de calcio (Figura 3), para incorporar la materia orgánica requerida en el suelo, así como para promover el crecimiento y desarrollo de *P. cembroides*.

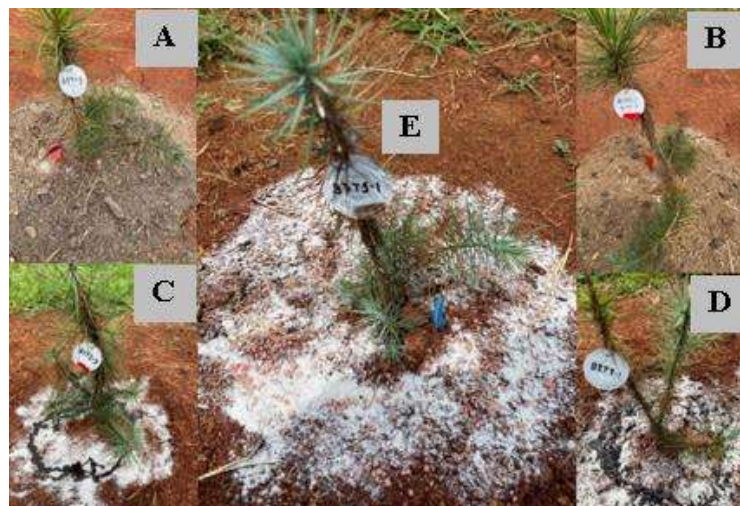


Figura 3. Aplicación de los tratamientos en el área de interés de la parcela experimental; (A) Bocashi, (B) Estiércol de borrego, (C) Extracto de pescado, (D) Ácidos húmicos más extracto de pescado, (E) Nitrofoska perfect, complementadas con sulfato de calcio.

La cantidad de materia orgánica requerida en el suelo es muy alta (Cuadro 1), a pesar de pretender llevar este parámetro a un nivel medio equivalente a 6.1% según la NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002), aplicar las cantidades requeridas de cualquiera de los materiales para aumentar la materia orgánica a este nivel, implicaría un exceso de nutrientes que podría ocasionar un desequilibrio en el suelo.

Cuadro 1. Cantidad de material orgánico necesario para elevar la materia orgánica a un nivel medio de 6.1% de acuerdo al déficit de este indicador.

FUENTE DE MO	CONTENIDO DE CARBONO	CANTIDAD/HECTÁREA
Bocashi	43.4%	651,857.14 kg/ha
Estiércol de borrego	83.2%	340,031.25 kg/ha
Extracto de pescado	41.4%	683,347.83 l/ha
Ácidos hum + pescado	45.35%	623,828 kg/ha

En cada ciclo se aplicó una fracción de la cantidad de materia orgánica requerida en el suelo al área de interés, cantidades consideradas como máximas para estas enmiendas (Cuadro 2) y realizar la recuperación del suelo a través de varios años. Todas las enmiendas se complementaron con sulfato de calcio. Las enmiendas se aplicaron por primera vez el día 17 de octubre del 2022 y en tres ocasiones más; el 16 de enero, 17 de abril y 17 de julio del 2023, en el área próxima al tallo cubriendo la circunferencia del área de interés.

Cuadro 2. Resumen de tratamientos en función de aplicación máxima.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD POR PINO	CANTIDAD/HECTÁREA
Bocashi + CaSO <sub>4</sub>	241g – 38g	25,000 kg/ha
Estiércol de borrego + CaSO <sub>4</sub>	241g – 44g	25,000 kg/ha
Extracto de pescado + CaSO <sub>4</sub>	48ml - 48g	5,000 l/ha
Ácidos húm-pescado + CaSO <sub>4</sub>	22g +26ml + 48g	2300-2700 kg/ha
Nitrofoska perfect + CaSO <sub>4</sub>	13g + 48g	1300 kg/ha

Para el establecimiento de la plantación se usó el método de hoyos de 35 x 35 cm, con una separación entre pinos y líneas de 3 m en marco real (Ramírez *et al.*, 2021, Velázquez-Castro *et al.*, 2022). Se trazó el área a 3 x 3 m en marco real, se hicieron los hoyos y el día 4 de octubre se estableció la plantación y delimitaron los siete bloques de manera aleatoria, colocando una ficha de identificación a cada pino. Las enmiendas solo se aplicaron en el área de plantación de los pinos, ya que se plantarán en pozos de 35 x 35 cm, el área de suelo tratada con la enmienda fue de 962.12 cm<sup>2</sup> para cada pino, por lo tanto, el factor de extrapolación para cada pino es de 10.39, respecto de la cantidad requerida para un metro cuadrado.

### 3.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con siete repeticiones, se aplicaron cinco tratamientos más el testigo absoluto. Se plantaron un total de 175 pinos, los árboles del perímetro de la parcela experimental no se usaron en el experimento para evitar el efecto de borde (Gabriel., *et al* 2020), cada unidad experimental se formaba por tres pinos, por lo que los tratamientos se aplicaron a un total de 126 pinos (Figura 4). Las plántulas que se usaron tenían dos años de edad al momento de la plantación y se encontraban en bolsas plásticas con tierra local.

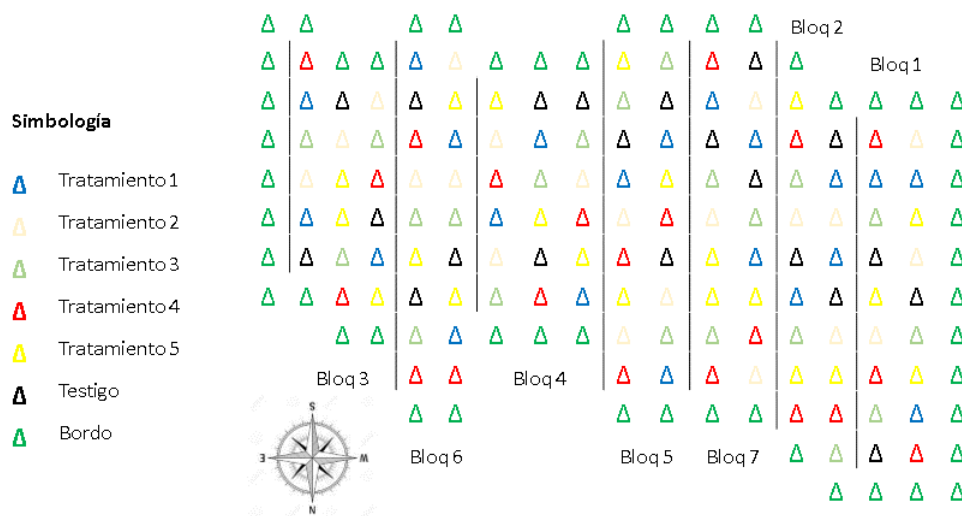


Figura 4. Croquis de la plantación en la parcela experimental bajo un diseño de bloques al azar con siete repeticiones, seis tratamientos y 42 unidades experimentales.

### 3.4. Variables de estudio

Se tomaron datos cada tres meses durante un año (octubre de 2022 a octubre de 2023), de cuatro variables morfológicas: altura de planta (cm), diámetro basal (mm), índice de esbeltez (Montes *et al.*, 2001, Gerding *et al.*, 2006), y número de brotes (Salas, 2011), correspondientes a las variables respuesta al desarrollo de *P. cembroides* (Figura 5), adicionalmente, se tomaron datos de promedio del diámetro de copa (cm) (Viveros-Viveros *et al.*, 2005) y longitud de rama más larga (cm) (Sáenz-Romero *et al.*, 1994), en la última toma de datos para conocer el efecto de los tratamientos sobre estas dos variables.

Después de aplicar los tratamientos durante un año se tomaron nuevamente muestras de suelo en las unidades experimentales de cada tratamiento para llevar a cabo el análisis de laboratorio correspondiente y así conocer el impacto de las diferentes enmiendas sobre los parámetros químicos y físicos tomando como referencia la situación del suelo antes de la aplicación de los tratamientos.



Figura 5. Toma de datos de las variables morfológicas; (A) Medición de diámetro basal con vernier. (B) Medición de altura de los pinos con regla graduada.

### *3.5 Análisis estadístico*

Después de comprobar la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk y la homogeneidad de las varianzas con la prueba de Levene, se llevó a cabo un análisis de covarianza ANCOVA sobre las variables morfológicas de los promedios de las unidades experimentales, utilizando el procedimiento PROC GLM en el paquete estadístico SAS® (SAS OnDemand for Academics), usando como covariable los parámetros de las variables morfológicas de los pinos previo a la aplicación de tratamientos, en los casos que se encontró significancia se realizó la separación de medias mediante prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

Para el caso de los datos tomados por única ocasión en la última medición de las variables; promedio del diámetro de copa y longitud de rama más larga, se realizó un análisis de varianza ANOVA de los promedios de las unidades experimentales, utilizando el procedimiento PROC GLM en el paquete estadístico SAS® (SAS OnDemand for Academics), en los casos que se encontró significancia se realizó la separación de medias mediante prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

Adicionalmente a los análisis presentados, se exploraron otras opciones de análisis de los datos, como el análisis de los datos de cada observación en rangos, debido a que no cumplían los supuestos de normalidad, también se analizaron los rangos del crecimiento total, restando el dato inicial al dato final para no incluir el estado inicial de los pinos como covariable y realizar un ANOVA simple, en base a esta misma exploración de análisis de datos se analizaron los promedios del crecimiento total. Todas las opciones exploradas arrojaron los mismos resultados, el análisis presentado supero a las otras opciones al obtener mejores valores de  $R^2$  y valores menores de Coeficiente de variación, además de que de este modo se cumplían los supuestos de normalidad y se analizaron los datos originales en lugar de los rangos.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento y desarrollo de *P. cembroides*

El análisis de varianza indicó que existe diferencia altamente significativa entre tratamientos para la variable diámetro basal ( $P= 0.002$ ), mientras que las variables altura ( $P= 0.44$ ), brotes ( $P= 0.24$ ) y esbeltez ( $P= 0.35$ ) no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Los parámetros de las variables utilizadas como covariables presentaron alta significancia ( $P < .0001$ ), para todas las variables (Cuadro 3). Estos resultados indican que la altura, número de brotes y esbeltez inicial tuvieron mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo de *P. cembroides* que la aplicación de los tratamientos.

Cuadro 3. Análisis de varianza (ANCOVA) entre tratamientos y covariables iniciales de *P. cembroides*, Zucc. del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.

Variable	Cuadrados medios		CM Error	R <sup>2</sup>	CV
	Tratamientos	Covariable			
Diam	3.72**	24.06**	0.74	0.88	8.77
Alt	8.28 ns	165.7 **	8.37	0.91	9.99
Brot	14.48 ns	94.7**	9.95	0.71	22.42
Esbltz	0.29 ns	1.9 *	0.25	0.62	16.51

Diam= Diámetro basal del pino en (mm); Alt= Altura del pino en (cm); Brot= Número de brotes en el pino; Esbltz= Índice de esbeltez; CM Error= 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.

#### 4.1.1. Diámetro basal

En la variable diámetro basal, el análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos, este resultado indica que aunque la condición inicial del diámetro basal usado como covariable en el análisis fue altamente significativa, todos los tratamientos que contenían enmiendas tuvieron una mayor influencia sobre el diámetro basal final con medias de (10.76,

10.45, 10.29, 9.95 y 9.75), separándose estadísticamente del testigo sin enmienda (Figura 6), con la media más baja (7.67).

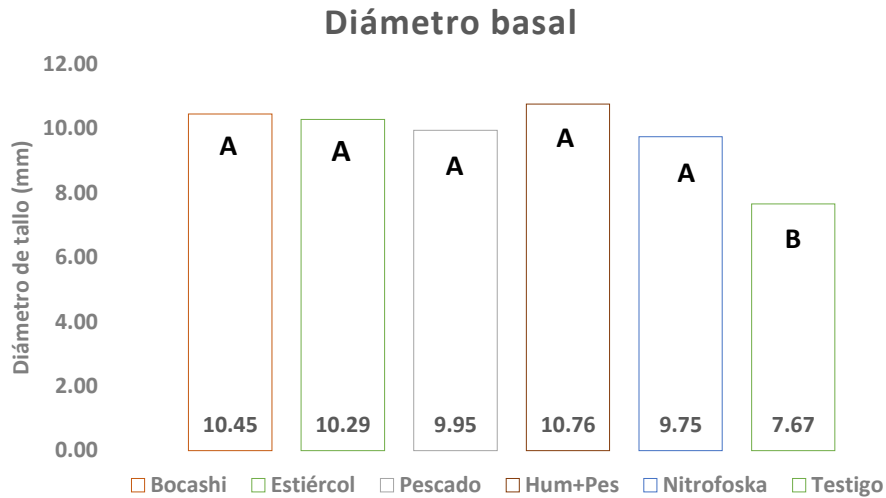


Figura 6. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para las medias del diámetro basal de *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.

El aumento en el diámetro basal como respuesta a la aplicación de todas las enmiendas refuerza la interpretación de los indicadores químicos del estado inicial del suelo, debido a que los tratamientos fueron calculados en función del déficit del suelo y del contenido nutrimental de los materiales utilizados, este resultado coincide con lo reportado por Ochoa & Licona (2017) quienes encontraron diferencias significativas en diámetro basal de plántulas de café con el uso de ácidos húmicos, además, Vázquez-Cisneros *et al.* (2018) reportan un aumento en el diámetro del tallo de *Pinus greggii* con el uso de fertilizantes de liberación controlada, asimismo, Madrid-Aispuro *et al.* (2020) señalan un aumento del diámetro del tallo al utilizar diferentes tratamientos con fertilizante de liberación controlada en la producción de brinzales de *P. cembroides* en vivero, del mismo modo, Hernández *et al.* (2018) lograron un aumento del diámetro basal en *Pinus cooperi*

Blanco con aplicación de fertilizantes a base de fósforo y con la interacción fósforo y potasio. Por tanto, se puede inferir que la aportación de enmiendas o fertilizantes que aporten nutrientes promueven el aumento en el diámetro de los tallos de pinos y algunos frutales sin importar su origen.

**4.2. Efecto de los tratamientos en el promedio del diámetro de copa y longitud de rama más larga de *P. cembroides***

El análisis de varianza indicó que existe una diferencia significativa entre tratamientos para la longitud de rama más larga ( $P=0.02$ ), mientras que para el promedio del diámetro de copa ( $P=0.052$ ) no se encontraron diferencias significancias entre los tratamientos (Cuadro 4). Este resultado muestra que el tratamiento con enmienda a base de bocashi tiene un mejor impacto en el crecimiento de la longitud de rama más larga, al separarse estadísticamente del testigo al que no se le aplico enmienda.

Cuadro 4. Análisis de varianza (ANOVA) para efecto de tratamientos sobre el promedio del diámetro de copa y longitud de rama más larga de *P. cembroides*, Zucc., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.

Variable	Cuadrados medios	CM Error	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 en (cm); Rama= Longitud de rama más larga en (cm); CM Error= 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.

4.2.1. Longitud de rama más larga

En la variable longitud de rama más larga, la enmienda a base de bocashi promovió un mayor crecimiento con un promedio de 15.23 cm, separándose estadísticamente del testigo (Tukey,  $\alpha=0.05$ ), con un promedio de 10.64 cm, el aumento en crecimiento de la rama de mayor longitud

como respuesta a la aplicación de enmienda a base bocashi (Figura 7), coincide con lo reportado por Jaramillo-López *et al.* (2015) quienes reportan aumento en altura en plantaciones utilizadas para reforestaciones de *Pinus pseudostrobus*, previamente fertilizadas con bocashi como enmienda al suelo, asimismo, Espinoza (2012) encontró una diferencia estadística en altura de plántones de *Schizolobium amazonicum* con el uso de diferentes proporciones de una variante de bocashi (Gaicashi) en el sustrato, además, Vázquez-Cisneros *et al.* (2018) obtuvieron un aumento en altura en una plantación de *Pinus greggii* con el uso de fertilizantes de liberación controlada, lo que podría sugerir que la aplicación de enmiendas a base de bocashi promueven el crecimiento de algunos pinos de la misma forma que lo pueden hacer los fertilizantes de síntesis química.

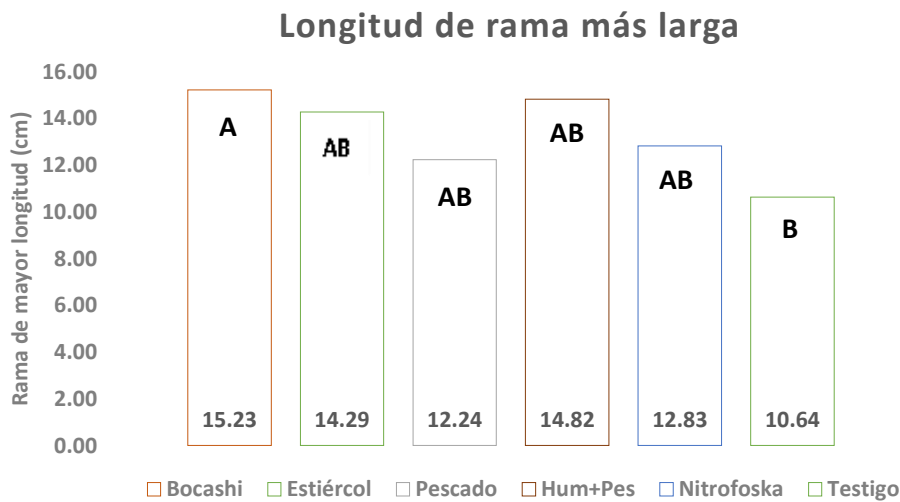


Figura 7. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para las medias de la longitud de rama más larga de *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.

#### 4.3. Indicadores físicos del suelo

Los resultados del análisis de laboratorio previo a la aplicación de tratamientos, reportaron parámetros que indican un suelo en el cual el agua infiltra muy lentamente, una vez que logra

permeable y saturar el espacio poroso se presenta una situación prolongada de anaerobiosis debido a una muy baja conductividad hidráulica (Cuadro 5), ocasionando que en la época de lluvias, una gran parte del agua pluvial escurra, la densidad aparente lo cataloga como un suelo de origen volcánico, de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000.

Un suelo con estas condiciones físicas obstaculiza el desarrollo normal de las raíces de los cultivos limitando la productividad. De acuerdo a INTAGRI (2017), esta condición se presenta debido a una proporción inadecuada de las fases del suelo, que ocasiona desequilibrio entre aireación, humedad y la parte sólida, limitando la correcta circulación del aire y humedad a través del suelo, su capacidad de almacenar agua, así como la disponibilidad para las raíces (Lozano *et al.*, 2000).

Cuadro 5. Resultados de laboratorio de parámetros físicos previo a la aplicación de los tratamientos.

PdSat%	DA g/cm	ConHidr cm/hr
72	0.93	0.20

PdSat= Punto de saturación en porcentaje. DA= Densidad aparente en gramos por centímetro cúbico. ConHidr= Conductividad hidráulica en centímetros por hora.

Los resultados del análisis de laboratorio realizado después de un año de aplicación de los tratamientos mostraron cambios contradictorios en los parámetros físicos del suelo (Cuadro 6), lo que se considera normal debido a la manipulación a la que fue sometido el suelo en el área de interés para instalar la plantación como indican Ruiz *et al.*, (2005), quienes mencionan que las labores para acondicionamiento del suelo inciden en las condiciones fisicoquímicas, a su vez, González, (2015) señala que los sistemas para labrar la tierra pueden provocar alteración en las propiedades físicas del suelo.

Cuadro 6. Resultados de laboratorio de parámetros físicos con aplicación de tratamientos durante un año.

TRATAMIENTO	PdSat %	DA g/cm	ConHidr cm/hr
Bocashi	70.2	1	0.6
Estiércol de borrego	78	1.05	0.1
Extracto de pescado	73.6	0.95	0.2
Ácidos húm + pescado	68	0.99	0.5
Nitrofoska perfect	74	0.93	0.1
Testigo	68	0.98	0.5

PdSat= Punto de saturación en porcentaje. DA= Densidad aparente en gramos por centímetro cubico. ConHidr= Conductividad hidráulica en centímetros por hora.

#### 4.3.1. Punto de saturación

Los resultados de los análisis de suelo con un año de aplicación de los tratamientos muestran valores de hasta 6% mayores para el tratamiento con estiércol de borrego y 4% menores para los tratamientos con ácidos húmicos más extracto de pescado y el testigo respecto al valor del mismo indicador obtenido en el análisis previo a la aplicación de las enmiendas (Figura 8), lo que indica que el suelo tratado con enmiendas a base de estiércol de borrego, extracto de pescado y nitrofosca perfect es capaz de retener más agua, por lo tanto, tener una capacidad de campo y un punto de marchitez permanente mayores (Castellanos *et al.*, 2000). Este parámetro está relacionado con el contenido de materia orgánica, la conductividad hidráulica y el tipo de arcillas contenidas en el suelo, sin embargo, es fuertemente influenciado por el manejo que se dé a los suelos. Rivera *et al.* (2000) encontraron un mayor contenido de humedad en un suelo inalterado comparado con suelos bajo dos tipos de manejo mecánico, los cambios observados en el punto de saturación pueden deberse a la excavación que se llevó a cabo para establecer la plantación, ya que este tipo de labranzas provocan inestabilidad en las propiedades físicas de los suelos (González, 2015).

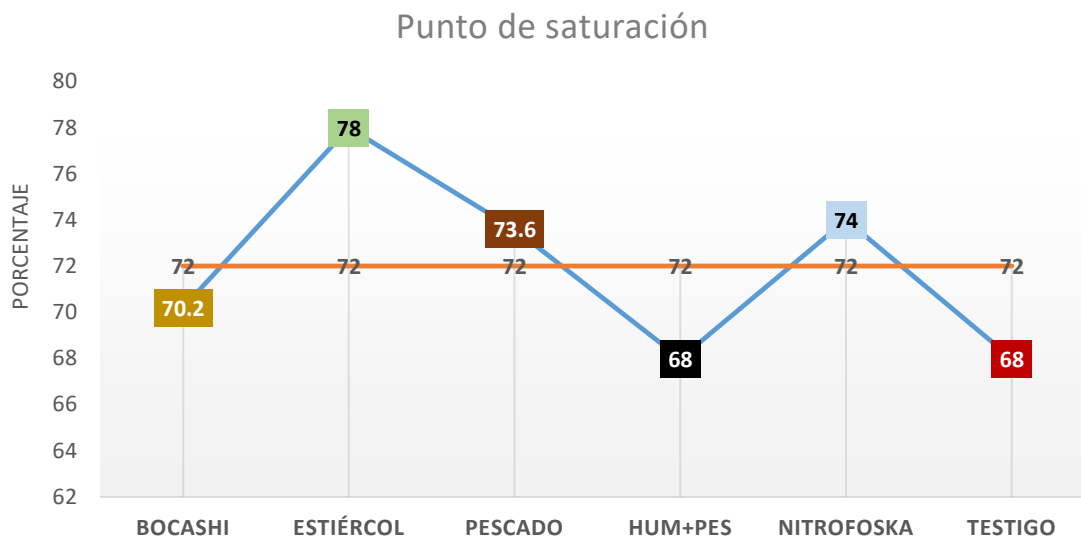


Figura 8. Cambios en el punto de saturación del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.

#### 4.3.2. Densidad aparente

La obtención de valores más altos de densidad aparente en todos los tratamientos difiere de los reportado por Castellanos (1982), quien reporta que la densidad aparente baja con el uso de materia orgánica, asimismo, Valencia *et al.* (2010) encontraron diferencias significativas con diferentes dosis de material vegetal inoculados con el hongo *Pleurotus ostreatus*, reportando una relación proporcional entre aumento de dosis y valores más bajos de densidad aparente, mientras que en este trabajo las enmiendas que contenían materia orgánica reportan valores mayores al registrado previo a los tratamientos (Figura 9), solamente el tratamiento a base de nitrofoska perfect, que no contiene materia orgánica, registró el mismo nivel, estos resultados pueden deberse a la manipulación a la que fue sometido el suelo antes y durante el establecimiento de la plantación ya que, según Mapa *et al.* (1986) las propiedades físicas de un suelo son alteradas cada vez que se realizan labores de cultivo, ya que esta actividad implica romper su estructura natural.

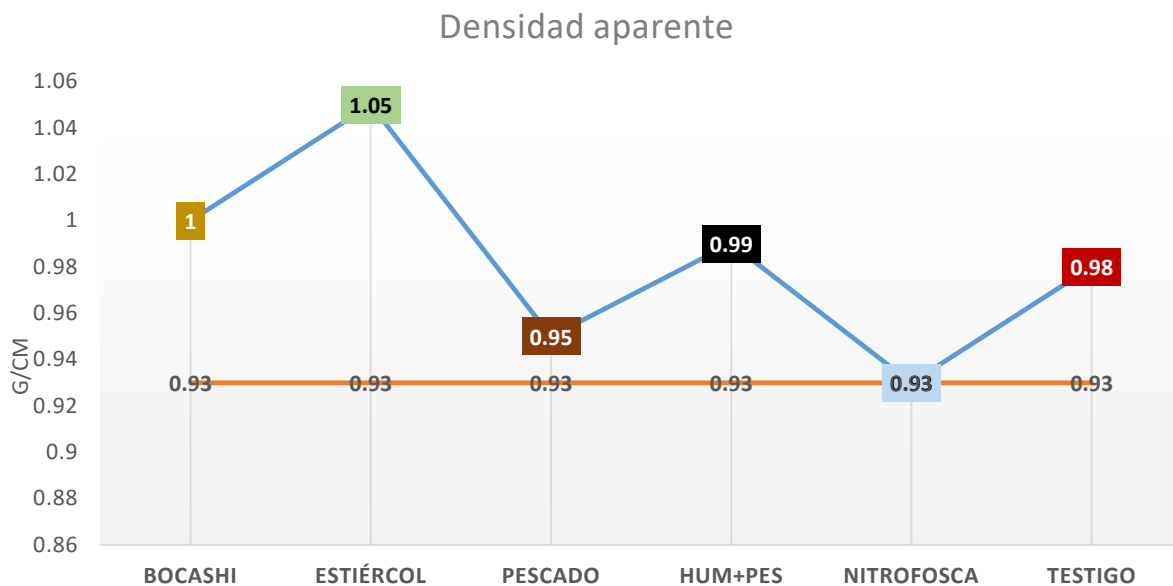


Figura 9. Cambio en la densidad aparente del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.

#### 4.3.3. Conductividad hidráulica

La aplicación de enmienda a base de bocashi y ácidos húmicos más pescado registraron un aumento de la conductividad hidráulica de un 200 y 150 % , incluso el testigo, registró un valor 150% mayor a la registrada previo a la aplicación de los tratamientos, mientras que con la aplicación de enmienda a base de estiércol y nitrofoska este parámetro bajó a la mitad (Figura 10), estos resultados pueden deberse a que, según Fuentes *et al.* (2004), la conductividad hidráulica de un suelo cambia en periodos prolongados de tiempo ya que depende de varios factores y aunque la aplicación de materia orgánica es una práctica que favorece la infiltración del agua, se requiere implementar varias prácticas de manera integral y duradera para mejorar esta propiedad.

La variabilidad de los valores observada en la conductividad hidráulica en los diferentes tratamientos, pueden deberse a la modificación de la estructura natural del suelo ocasionada al

realizar los hoyos en el área trazada para la plantación, o a la compactación, ya que de acuerdo a Rivera *et al.* (2000), el cambio de un suelo con vegetación natural a uso agrícola mecanizado o semimecanizado ocasiona una fuerte disminución en los agregados del suelo, por lo tanto, el cambio en los valores de la conductividad hidráulica pueden deberse al manejo, más que a un efecto de los tratamientos, considerando que la materia orgánica es capaz de mejorar los indicadores físicos del suelo, pero se requiere un periodo de tiempo prolongado, como mencionan Fuentes *et al.* (2004).

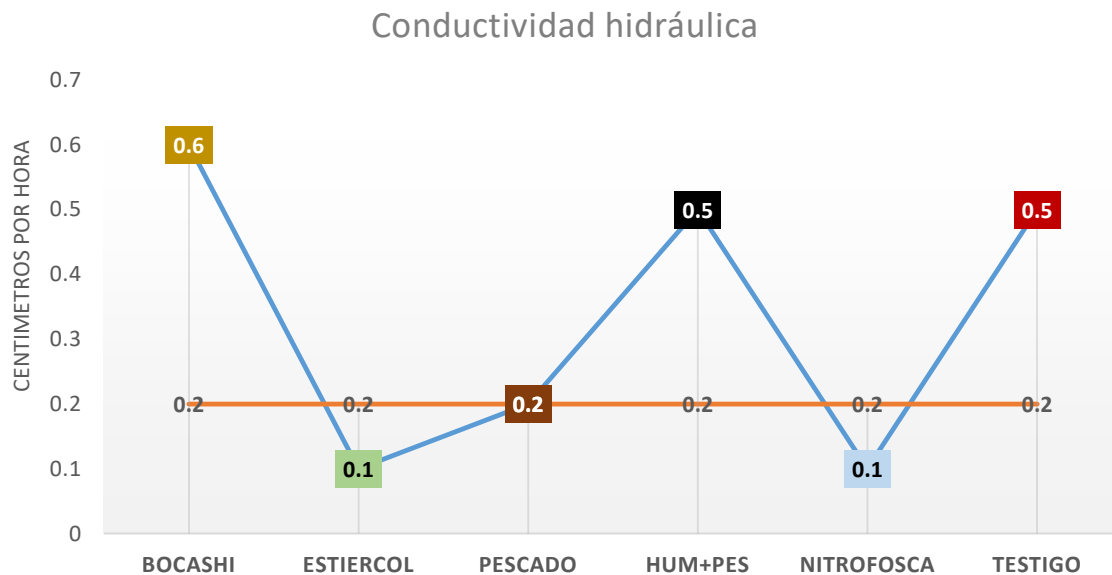


Figura 10. Cambio en la conductividad hidráulica del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.

#### 4.4. Indicadores químicos del suelo

Los resultados del análisis de laboratorio previo a la aplicación de tratamientos, reportan un suelo químicamente muy pobre, con indicadores deficientes y un pH ligeramente alcalino (Cuadro 7), estos parámetros muestran un suelo con muy baja capacidad para aportar nutrientes a las plantas

debido a su poca disponibilidad de sales, capacidad de intercambio catiónico muy baja, desbalance de cationes y muy bajo contenido de materia orgánica según la NOM-021-RECNAT-2000.

Cuadro 7. Resultados de laboratorio de parámetros químicos previo la aplicación de los tratamientos.

MO %	CIC me/100g	CE dS/m	pH
0.22	4.33	0.07	7.66

MO= Materia orgánica en porcentaje. CIC= Capacidad de intercambio catiónico en miliequivalentes por 100 gramos. CE= Conductividad eléctrica en decismens por metro. pH= Potencial de hidrogeno.

Los resultados del análisis de laboratorio realizado después de un año de aplicación de los tratamientos mostraron cambios en los indicadores químicos del suelo (Cuadro 8), destacando el aumento en la materia orgánica, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico con un mejor balance entre cationes para todos los tratamientos excepto el testigo que al no contener enmienda reportó un ligero descenso en el nivel de calcio posiblemente por la extracción de este elemento por parte del pino, el potencial de hidrogeno muestra un ligero movimiento a la baja en todos los tratamientos, lo que resulta favorable respecto al valor inicial.

Los cambios en los indicadores químicos coinciden con lo reportado por Hirzel *et al.* (2016), quienes concluyen que la incorporación de diferentes fuentes de calcio en dos suelos evaluados genera cambios en las propiedades químicas, a su vez Orozco *et al.* (2016), mencionan que el aporte de biofertilizantes y fertilizantes químicos combinados con la aplicación de lombricomposta durante tres años incrementaron los niveles de materia orgánica y de la capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 8. Resultados de laboratorio de parámetros químicos con aplicación de tratamientos durante un año.

TRATAMIENTO	MO %	CIC me/100g	CE dS/m	pH
Bocashi	1.17	6.98	0.36	6.59
Estiércol de borrego	1.27	5.99	0.6	6.55
Extracto de pescado	0.66	5.94	0.39	6.79
Ácidos húm + pescado	1.86	6.75	0.85	6.61
Nitrofoska perfect	0.47	6.95	0.48	6.75
Testigo	0.64	4.73	0.12	6.91

MO= Materia orgánica en porcentaje. CIC= Capacidad de intercambio catiónico en miliequivalentes por 100 gramos. CE= Conductividad eléctrica en decisimens por metro. pH= Potencial de hidrogeno.

#### 4.4.1. Materia Orgánica

Los resultados del análisis de laboratorio realizados después de un año de aplicación de los tratamientos reportan aumento en el indicador de materia orgánica para todos los tratamientos, incluso para el testigo y el tratamiento con nitrofoska perfect que no contenían materia orgánica, este aumento pudo deberse a la interacción de las raíces de los pinos y vegetación acompañante en el área de interés, como reportan Razz & Clavero (2006), quienes concluyen que el establecimiento de *Leucaena leucocephala* mejora las condiciones químicas de los suelos sin practica de fertilización, por otro lado, a pesar de que los tratamientos a base de enmiendas orgánicas aumentaron de manera considerable este indicador, aún se mantiene clasificado como muy bajo según la norma NOM-021-RECNAT-2000 (Figura 11).

Se considera que de seguir con la cantidad y frecuencia de las aplicaciones con el tratamiento a base de ácidos húmicos más extracto de pescado, se podría llegar a un nivel medio de materia orgánica en 3.6 periodos más y en 5.6 periodos para el caso de la enmienda a base de estiércol de borrego, los resultados obtenidos concuerdan con lo expuesto por Moraga (2021), quien concluyó que existe una mejor relación entre enmiendas orgánicas y el contenido de materia orgánica en el

efecto en la fertilidad del suelo con el uso de enmiendas orgánicas y minerales para la producción de maíz y frijol, asimismo, Hernández *et al.* (2017) reportan un aumento en la materia orgánica con el incremento de los niveles de composta aplicada.

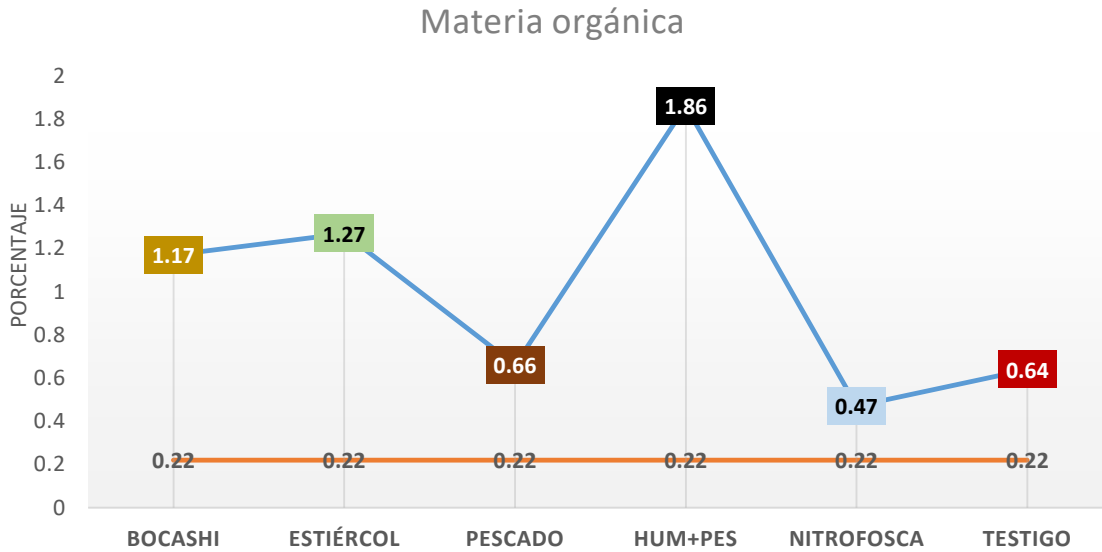


Figura 11. Cambio en la materia orgánica del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.

#### 4.4.2. Capacidad de intercambio catiónico

En lo que respecta a la capacidad de intercambio catiónico, los resultados de los análisis de laboratorio reportaron incremento en los valores para todos los tratamientos, incluso para el testigo, aunque fue el que reportó el valor más bajo permaneciendo aún en la clasificación de muy baja según la norma NOM-021-RECNAT-2000, mientras que el resto de los tratamientos que incluían enmiendas orgánicas y mineral aumentaron su valor para ubicarse en la clasificación de baja (Figura 12), este aumento era esperado debido a que los tratamientos se calcularon en función del

déficit de materia orgánica del suelo y al contenido de nutrientes de las enmiendas que los conformaban.

El aumento registrado en la capacidad de intercambio catiónico con el uso de enmiendas que contienen reguladores de pH como el sulfato de calcio ha sido reportado anteriormente (Millán *et al.*, 2010), el aporte de este y otros minerales en las cantidades adecuadas, sirve para equilibrar la capacidad de intercambio de cationes del suelo y así las plantas puedan absorber los minerales al liberarse a la solución del suelo (Carvajal & Gómez, 2016; Chien *et al.*, 1992; González & González, 1982). Por otro lado, Hernández *et al.* (2017), indican que la capacidad de intercambio catiónico es muy influida por la materia orgánica debido a la superficie específica de esta y de las arcillas, además que el aumento de este indicador puede ser drástico en suelos con un contenido bajo de materia orgánica como el usado en este trabajo.

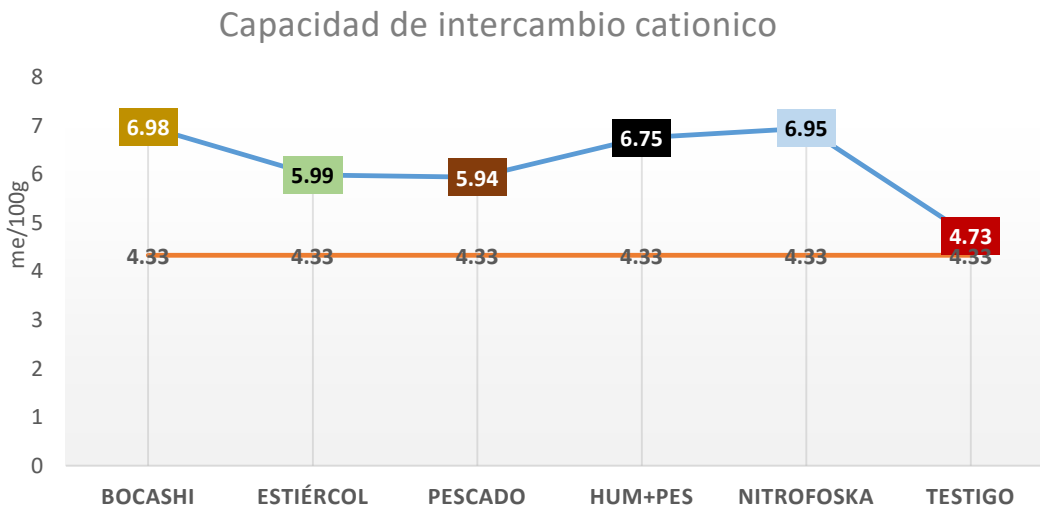


Figura 12. Cambio en la capacidad de intercambio catiónico del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.

#### 4.4.3. Conductividad eléctrica

Respecto a la conductividad eléctrica, los resultados de los análisis finales de laboratorio reportan aumento en los valores del indicador respecto del valor inicial para todos los tratamientos, incluso para el testigo aunque fue el que reportó el valor más bajo, este aumento concuerda con lo esperado ya que las enmiendas contienen sales y se aplicaron cada tres meses desde el establecimiento de la plantación, aún con aumentos de hasta 11.14 veces (Figura 13), en el caso de la enmienda a base de ácidos húmicos más extracto de pescado, los valores obtenidos se interpretan con efectos despreciables de salinidad según la norma NOM-021-RECNAT-2000.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Hernández *et al.* (2017) quienes consideran que la conductividad eléctrica de un material utilizado en las enmiendas de fertilidad puede ocasionar aumento en la conductividad eléctrica del suelo donde se utilizan, a la vez, López *et al.* (2001) muestran ligeros aumentos en la conductividad eléctrica de un suelo con la aplicación de diferentes dosis de estiércoles.

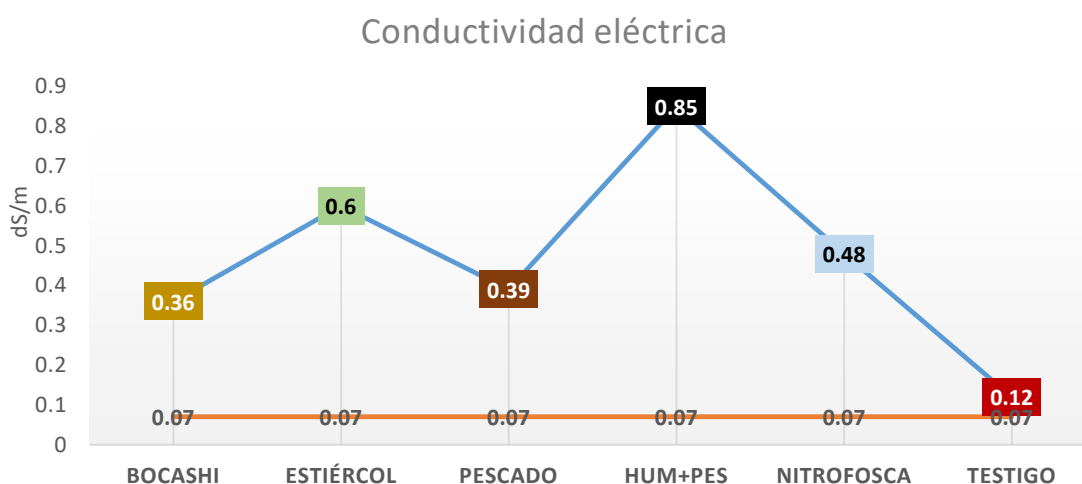


Figura 13. Cambio en la conductividad eléctrica del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.

#### 4.4.4. Potencial de hidrógeno

El resultado de los análisis de laboratorio después de un año de aplicación de los tratamientos mostró un descenso en el pH del suelo para todas las enmiendas, incluido el testigo, aunque este registró el menor descenso (Figura 14). Este cambio se considera positivo, ya que el pH registrado previo a la aplicación de los tratamientos es considerado ligeramente alcalino según la norma NOM-021-RECNAT-2000.

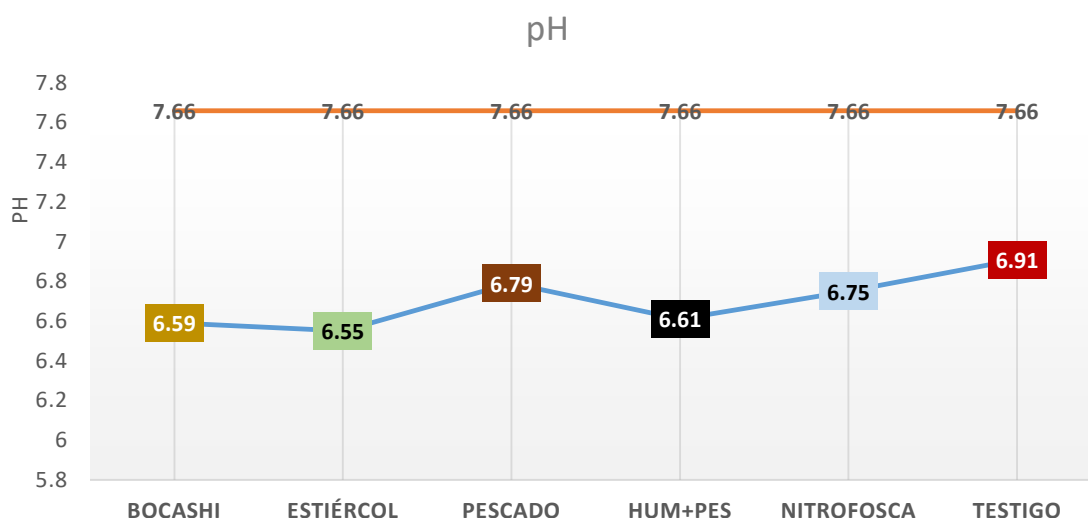


Figura 14. Cambio en el pH del suelo después de un año de aplicación de tratamientos en *P. cembroides* Zucc. D., del Área de Bosques de la estación experimental de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, UMSNH.

Aunque un valor de pH como el registrado previo a la aplicación de los tratamientos no se considera extremo, el descenso de ese indicador obtenido con la aplicación de los tratamientos es positivo ya que puede ayudar a que exista una mejor disponibilidad de los nutrientes en el suelo (Lambers *et al.*, 2008). Los resultados coinciden con lo mostrado por López *et al.* (2001) en algunas dosis de tratamientos a base de diferentes estiércoles, mientras que difiere de lo obtenido por Hernández *et al.* (2017) quienes muestran valores ligeramente más altos de pH en los tratamientos con una dosis mayor de composta aunque no encontraron diferencia significativa, argumentando que sus

resultados pueden deberse al efecto tampón de la materia orgánica, debido a que su suelo de estudio presentaba un valor alto de este indicador.

Trabajar en la nutrición de *P. cembroides* represento un reto, al ser una especie caracterizada por presentar un habito de crecimiento muy lento, además de que se trabajó en un suelo al cual se le removió el horizonte superficial para nivelar el terreno dejando un suelo con indicadores químicos muy bajos e indicadores físicos desfavorables.

## V. CONCLUSIONES

Los tratamientos basados en enmiendas orgánicas incrementaron el crecimiento de *P. cembroides* y mejoraron las condiciones químicas del suelo, por lo tanto, se recomienda la elaboración y aplicación de enmiendas orgánicas al incrementar el diámetro basal y la longitud de la rama más larga de *P. cembroides* y aumentar la materia orgánica del suelo, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico.

No fue posible determinar el efecto de las enmiendas orgánicas sobre los indicadores físicos del suelo debido al corto periodo de evaluación, ya que los indicadores físicos del suelo dependen de varios factores, por lo que para mejorar estas características se requiere de largos periodos de tiempo.

La enmienda a base bocashi complementada con sulfato de calcio es la óptima para mejorar las condiciones químicas de un suelo de origen volcánico clasificado como franco en su clase textural, pH moderadamente alcalino, muy pobre en materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y contenido de carbonatos muy bajos.

## VI. LITERATURA CITADA

- Alarcón, A. (2000). Historia e introducción a la nutrición mineral. Elementos esenciales, III. Master en Nutrición Vegetal en Cultivos Hortícolas Intensivos. Universidad Politécnica de Cartagena. España. 78p
- Álvarez, R. J., (2003) Módulo 16. El suelo: Fundamento teórico [PDF file]. Recuperado de: <https://pdfslide.tips/documents/modulo-16-el-suelo-fundamento-teorico-ii-master-de-nutricion-vegetal-modulo.html?page=1> 26/02/2023.
- Aparicio Ruiz, M. (2020). Efecto de una enmienda orgánica y diferentes tipos de mulching sobre la evaporación de agua del suelo. Recuperado de <http://dspace.umh.es/handle/11000/655529/03/2023>
- Arévalo, G., Castellano, M. (2009). Manual de Fertilizantes y Enmiendas. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 57p
- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2003). Fundamentos de Fisiología vegetal. Madrid, España. Ed. McGraw-Hill Interamericana. Edicions Universitat de Barcelona. 450 Pp.
- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2013). Nature and Properties of Soils, The: Pearson New International Edition PDF eBook. Pearson Higher Ed. Pp 650.
- Brechelt A. (2004), Manejo ecológico del suelo. Dominicana. Editorial RAPAL. 2004, no. 1. Pp 27.
- Carvajal, K. G., & Gómez, C. A. (2016). Efecto de la aplicación de cal dolomita sobre el pH del suelo y rendimiento de sorgo sureño en suelos de uso agrícola, Zamorano, Honduras (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2016.). Pp 28.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP*. Instituto de capacitación para la productividad agrícola. Chapingo, Estado de México, México. Pp 201.
- Castellanos, R. J. Z. (1982). La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplicación de estiércoles. *Seminarios Técnicos*, 7(8), 32.

- Castrejón, J. Z., Pacheco, B. G., Nieto, J. R., Ramos, L. Á., & Ávila-Ramos, F. (2021). El árbol *Pinus cembroides* como alternativa para reforestar ciudades, parques y jardines. *Abanico Agroforestal*, 3, 1-12.
- Carrillo, J. (2009). Estructura y regeneración de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D.K. Bailey en Santa María las Cuevas, Tlaxcala. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. Pp 64.
- Celestina, C., Hunt, R. J., Sale, W. G. P., Franks, E.A. (2019). Attribution of crop yield responses to application of organic amendments: A critical review. *Soil and Tillage Research*. Volume 186, Pages 135-145. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.10.002>.
- Chien, S. N., Prochnow, L., & Mikkelsen, R. (1992). Uso agronómico de la roca fosfórica para aplicación directa. Entrenamiento y crédito como generadores de cambios sociales y ambientales en el cultivo de café-cuatro años después. *Informaciones agronómicas - IPNI*, 1, 13-16.
- De la Rosa, A. (1995). Evaluación de dos Fuentes nitrogenadas en embriones de pino piñonero (*Pinus cembroides*) *in vitro* (Doctoral dissertation, Tesis profesional, FES-Cuautitlán, UNAM. México. 7-24). 141 Pp.
- Delard, R., C., Loewe Muñoz, V., Alvarez Contreras, A., et al. (2020). Interesante alternativa para Chile: Producción combinada de piñones de Pino piñonero (*Pinus pinea* L.) y Trufa de borch (*Tuber borchii* Vittad.). *Revista Chile Forestal* n°394, 2020. páginas 26-30.
- Espinoza Barreto, E. A. (2012). Efecto de diferentes dosis de gaicashi, en el crecimiento inicial de plantas de pino chuncho (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) producidas en tubetes. Tesis profesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables. Perú. 90 Pp. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/545>
- FAO, I. (2002). El abono orgánico mejora la eficiencia de los fertilizantes. En: *Los fertilizantes y su uso*. 4a. ed. Roma: FAO, IFA. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- FAO, I. (2002). Fundamento de la necesidad de fertilizantes (aumento de la producción y aumento del ingreso de los agricultores). En: *Los fertilizantes y su uso*. 4a. ed. Roma: FAO, IFA. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- FAO. (2016). Estado mundial del recurso suelo. Resumen técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia. Recuperado de <https://www.fao.org/3/i5126s/i5126s.pdf> 28/02/2023.

- Flavel, T. C., & Murphy, D. V. (2006). Carbon and Nitrogen Mineralization Rates after Application of Organic Amendments to Soil. *Journal of Environmental Quality*, 35(1), 183-193. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0022>
- Foth, H. D., & Ellis, B. G. (2018). *Soil fertility*. CRC Press, USA. Pp 304. <https://doi.org/10.1201/9780203739341>
- Franzluebbers, A. J. (2018). Soil quality: key concepts and applications. *Annual Review of Resource Economics*, 10, 109-132.
- Fuentes, J.P., M. Flury, y D.F. Bezdicek. 2004. Hydraulic properties in a silt loam soil under natural prairie, conventional till, and no-till. *Soil science society of America Journal* 68(5), 1679-1688.
- Gabriel J, Castro C, Valverde A, Indacochea B (2017) Diseños experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios. Grupo COMPAS, Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM), Jipijapa, Ecuador. 146 p.
- García-Ortiz-Civantos, C. (2016). Aprovechamiento del alperujo como enmienda orgánica en el olivar. Tesis, RUJA: Repositorio Institucional de Producción Científica. 365 Pp. [<http://hdl.handle.net/10953/769>]
- Gliessman, S. R. (2015). *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*, CRC Press, USA. *Journal of sustainable agriculture*, 22(3), 99-118.
- Gómez, S. P. M., Berdugo, S. E. B., Salomón, J. S. C., Pulido, S. Y. P., Casadiego, Y. A. S., Guzmán, M. C. V., & Leiva, M. L. P. (2019). Capítulo 9. Prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo. En *Servicios ecosistémicos: un enfoque introductorio con experiencias del occidente colombiano*, Cap. 9. 172-187. <https://doi.org/10.22490/9789586516358.09>
- González, A. R. (2015). Los sistemas de labranza y su influencia en las propiedades físicas del suelo. *Ingeniería Agrícola*, 5(2) 55-60.
- González, M., & González, M. A. (1982). Efecto de la fuente de calcio y la fertilización con sulfatos y cloruros en la disponibilidad del fósforo en un suelo ácido de Costa Rica. *Agronomía Costarricense (Costa Rica)*. Mar-Set, 6(1-2), 11-26.
- González R. C., Martínez L. C., García B. S. (2014). El modelo de nutrición vegetal a través de la historia y su importancia para la enseñanza. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, Editorial UCA, España, vol. 11, núm. 1, pp.2-12
- Gerding, Víctor, Geldres, Edith, & Moya, Jorge 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. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002006000100007>

- Guzmán, E. E. P., Nulfa, M. G., & Villanueva, E. J. R. (2021). Determinación de la composición química de las rocas minerales en las provincias O'Connor y Gran Chaco. *Odontología Actual*, 2(3), 81-90.
- Havlin, J., & Heiniger, R. (2020). Soil fertility management for better crop production. *Agronomy*, 10(9), 1349.
- Hernández, L. R. (1997). Control biológico de la marchitez bacterial en TOMATE con el uso de enmiendas orgánicas. Thesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 77 p.
- Hernández de la Cruz, O. B., Sánchez Hernández, R., Ordaz Chaparro, V. M., López Noverola, U., Estrada Botello, M. A., & Pérez Méndez, M. A. (2017). Uso de compostas para mejorar la fertilidad de un suelo Luvisol de ladera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(6), 1273-1285.
- Hernández Garboza, L., & Bustamante Rojas, E. (2001). Control biológico de la marchitez bacterial en tomate con el uso de enmiendas orgánicas. 09/01/2022, de Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) Sitio web: <http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/A2111e/A2111e.pdf>
- Hernández Valera, R. R., López López, M. Á., & Flores Nieves, P. (2018). Crecimiento y estado nutricional de una plantación de *Pinus cooperi* Blanco fertilizada con NPK. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(48), 115-134.
- Hirzel, J., Toloza, S., & Novoa, F. (2016). Evolución a corto plazo de las propiedades químicas en dos suelos de la zona centro sur de Chile fertilizados con diferentes fuentes de calcio. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 32(3), 217-227.
- IMPLAN Uruapan. (2021). D3.303 CLIMA. Recuperado 4 de julio de 2023, de [https://implanuruapan.gob.mx/wp-content/uploads/2021/03/D3\\_303.pdf](https://implanuruapan.gob.mx/wp-content/uploads/2021/03/D3_303.pdf)
- INTAGRI (2017). Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>.
- Irañeta J., Sánchez L., Malumbres A., Torrecilla J. y Díaz E. (2011). Abonos minerales: tipos y uso. Serie: Agricultura, Fertilización y Medio Ambiente. Recuperado de [http://www.preoc.es/download/ADS/D39CE001/Cat.%20abonos%20minerales.pdf?cookie\\_check=1](http://www.preoc.es/download/ADS/D39CE001/Cat.%20abonos%20minerales.pdf?cookie_check=1)
- Iturmendi, F., Bongiovani, N., & Holzmann, R. (2019). Aplicación de enmienda orgánica obtenida a partir de residuos agroindustriales. In XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

- Jaramillo-López, P. F., Ramírez, M. I., & Pérez-Salicrup, D. R. (2015). Impacts of Bokashi on survival and growth rates of *Pinus pseudostrabus* in community reforestation projects. *Journal of Environmental Management*, 150, 48-56.
- Kumar, R., Kumawat, N., & Sahu, Y. K. (2017). Role of biofertilizers in agriculture. *Popular kheti*, 5(4), 63-66.
- Lambers, H., Chapin, F. S., & Pons, T. L. (2008). *Plant physiological ecology* (Vol. 2, pp. 11-99). New York: Springer.
- León Ramos, L. L., Lunazco Rosales, E., & Vargas Araujo, W. C. (2021). Enmienda orgánica para la restauración de la capacidad de captura de carbono orgánico en suelos agrícolas de Carabayllo-Lima, Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao. Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/6319>
- López-Martínez, J. D., Díaz-Estrada, A., Martínez-Rubín, E., & Valdez-Cepeda, R. D. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*, 19(4), 293-299.
- Losada, C. M., Rodríguez, C. G., & Barros, S. G. (2014). El modelo de nutrición vegetal a través de la historia y su importancia para la enseñanza. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(1), 2-12.
- Lozano, Z., Lobo, D., & Pla, I. (2000). Diagnóstico de limitaciones físicas en Inceptisoles de los llanos occidentales venezolanos. *Bioagro*, 12(1), 15-24.
- Madrid, A., Madrid, R., Vicente, J.M. (1996). *Fertilizantes*. Mundi prensa., Madrid, 90 pp.
- 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), Pp 71. <https://doi.org/10.3390/f11010071>
- Malik, S., Chaudhary, P., & Meghvansi, M. K. (2018). Organic amendments for enhancing soil health and crop productivity. In *Soil Fertility Management for Sustainable Development* (pp. 23-43). Springer, Singapore.
- Maquilón Hernández, A. E. (2022). Caracterización físico-química de los principales abonos orgánicos comerciales, utilizados en la zona de Babahoyo (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022), Universidad Tecnica de Babahoyo, Pp 23 <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/7>.

- Mapa, R. B., Green, R. E., & Santo, L. (1986). Temporal variability of soil hydraulic properties with wetting and drying subsequent to tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5), 1133-1138.
- Max-Neef, M. A., Elizalde, A., & Hopenhayn, M. (2006). *Desarrollo a escala humana: conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones* (Vol. 66). Icaria Editorial, Barcelona, España. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SwBI5d90f1AC&oi=fnd&pg=PA13&dq=Max-Neef,+M.+A.,+Elizalde,+A.,+%26+Hopenhayn,+M.++\(2006\).+Desarrollo+a+escala+humana:+conceptos,+aplicaciones+y+algunas+reflexiones+\(Vol.+66\).+Icaria+Editorial&ots=MNNQN9syrF&sig=CIT\\_X7zyaF7ReFDIuG9M3C5N3Rs#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SwBI5d90f1AC&oi=fnd&pg=PA13&dq=Max-Neef,+M.+A.,+Elizalde,+A.,+%26+Hopenhayn,+M.++(2006).+Desarrollo+a+escala+humana:+conceptos,+aplicaciones+y+algunas+reflexiones+(Vol.+66).+Icaria+Editorial&ots=MNNQN9syrF&sig=CIT_X7zyaF7ReFDIuG9M3C5N3Rs#v=onepage&q&f=false)
- McGrath, J. M., Spargo, J., & Penn, C. J. (2014). Soil Fertility and Plant Nutrition. In *Plant Health* (pp. 166-184). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00249-7>
- Meena, R. S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., & Marfo, T. D. (2020). Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review *Land*, 9(2), 34. <https://doi.org/10.3390/land9020034>
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. Cuarta edición. Instituto Internacional del Potasio, Basilea, Suiza. 607 p.
- Millán, G., Vázquez, M., Terminiello, A., & Santos Sbuscio, D. (2010). Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana. *Ciencia del suelo*, 28(2), 131-140.
- Moncada, J., Garduño, M. A., Solorio, C. O., García, P. S., & Rodríguez, J. C. (2013). Folleto técnico. Suelo: Protejamos el suelo que nos da vida. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- Montes-Rivera, G., Solís-González, S., & 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.
- Moraga Quezada, 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. Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 61 p.
- Murtaza, G., Ghafoor, A., Malik, M. A., Mahmood, T., Qadir, G., & Aziz, T. (2018). Soil amendment with industrial by-products: impact on soil properties and crop productivity. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14), 13941-13950.

- Nair, K.P. (2019). Soil Fertility and Nutrient Management. In: Intelligent Soil Management for Sustainable Agriculture. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15530-8\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15530-8_17)
- Navarro García, G., & Navarro García, S. (2014). Fertilizantes: química y acción. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 273 p.
- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Larrinaga-Mayoral, J. Á., & García-Hernández, J. L. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia*, 27(8), 417-421. ISSN: 0378-1844. Venezuela.
- Ochoa, J. H., & Licon, G. J. (2017). Efecto del uso de ácidos húmicos, fúlvicos y su interacción con fertilizante nitrogenado en el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) en vivero. Doctoral dissertation, Zamorano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Orozco Corral, A. L., Valverde Flores, M. I., Martínez Téllez, R., Chávez Bustillos, C., & Benavides Hernández, R. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 441-456.
- Ortuño Tomás, A. M., Díaz Expósito, L., & Del Río Conesa, J. A. (2015). Evolución de la Fisiología Vegetal en los últimos 100 años. *Euvacteria*, n°34, 2015.
- Pérez, L. C. (2019). Concepciones sobre nutrición vegetal y relaciones tróficas en función del bagaje educativo: implicaciones para el futuro profesorado. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, (37), 89-106.
- Perry J. L. (1991). *The Pines of México and Central América*. Timber Press, Portland, Oregon.
- Primavesi, A. (1984). *Manejo ecológico del suelo*. 5 ed. Editorial El Ateneo, AR. 449 p.
- Ramírez, J. A., Marín, A., Urrego, J. B., Castaño, Á., & Ospina, R. (2021). Efecto de la fertilización en el crecimiento de *Retrophyllum rospigliosii* de la zona andina colombiana. *Madera y Bosques*, 27(3), e2732315. doi: 10.21829/myb.2021.2732315
- Razz, R., & Clavero, T. (2006). Cambios en las características químicas de suelos en un banco de *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha*. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(3), 331-337.
- Restrepo, J., & Hensel, J. (2015). *El ABC de la agricultura orgánica, fosfitos y panes de piedra*. Cali, Colombia, © Jairo Restrepo Rivera. [https://guiaspdf.net/wp-content/uploads/2021/02/Libro-de-Agricultura-Organica-GuiasPDF.Net\\_.pdf](https://guiaspdf.net/wp-content/uploads/2021/02/Libro-de-Agricultura-Organica-GuiasPDF.Net_.pdf)
- Rivera, F. S., Chaparro, V. O., Solorio, C. O., & de León González, F. (2000). Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. *Agrociencia*, 34(4), 379-386.

- Rodríguez, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. 2019. La contaminación del suelo: una realidad oculta. Roma, FAO.
- Ruisanchez Y., (2021). Hidrolizado de pescado: fuente confiable de nutrientes en agricultura orgánica. Agroexcelencia, Vol. 39 (27-28).
- Ruiz, M., Díaz, G., & Polón, R. (2005). Influencia de las tecnologías de preparación de suelo cuando se cultiva arroz (*Oryza sativa* L.). Cultivos Tropicales, 26(2), 45-52.
- Saenz-Romero, C., Nienstaedt, H., & Vargas-Hernandez, J. (1994). Performance of *Pinus patula* genotypes selected in South Africa and growing in their native Mexican environment. Silvae genetica, 43(2), 73-81.
- Salas-Escalante, E. R. 2011. Evaluación del efecto de cuatro productos hormonales aplicando dos tipos de podas en *Pinus pinceana* Gordon en Saltillo, Coahuila. Tesis profesional, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila, México. Pp 56.
- Sánchez, G.P., (s.f.) El manual de manejo integral de la nutrición de fresa en sistemas intensivos de producción [PDF file]. Recuperado de
- SAS Institute Inc. 2021. On demand para académicos. <https://odamidusw2.oda.sas.com/SASStudio/main?locale=esGMT05%25300ticket=ST-99376-Wegfnl>.
- Secretaría de Bienestar. (2020). Acuerdo por el que se emiten las Reglas de Operación del Programa Sembrando Vida, para el ejercicio fiscal 2022. 05/01/2022, de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/bienestar/documentos/programa-sembrando-vida-252708>
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. (pp. 6–7). Ciudad de México, Distrito Federal.: DIARIO OFICIAL. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Silveira, M. L., & Kohmann, M. M. (2020). Maintaining soil fertility and health for sustainable pastures. In Management strategies for sustainable cattle production in southern pastures (pp. 35-58). Academic Press.
- Singh, T. B., Ali, A., Prasad, M., Yadav, A., Shrivastav, P., Goyal, D., & Dantu, P. K. (2020). Role of organic fertilizers in improving soil fertility. Contaminants in agriculture: sources, impacts and management, 61-77. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_3)
- Tlelo-Cuautle, A. M., Taboada-Gaytán, O. R., Cruz-Hernández, J., López-Sánchez, H., & López, P. A. (2020). Efecto de la fertilización orgánica y química en el rendimiento de fruto de chile Poblano. Revista Fitotecnia Mexicana, 43(3), 238-238.

- Torres, F., & Rojas, A. (2018). Suelo agrícola en México: retrospectiva y prospectiva para la seguridad alimentaria. Realidad, datos y espacio. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 9(3), 137-155.
- Valencia, H. P., Gómez-Carabalí, A., Quintero, J. H. G., & Sarmiento, L. A. L. (2010). Cambios en las propiedades físicas de un Inceptisol por la adición de sustrato degradado con el hongo *Pleurotus ostreatus*. *Acta Agronómica*, 59(1), 73-79.
- Vázquez-Cisneros, I., Prieto-Ruíz, J. A., López-López, M. A., Wehenkel, C., Domínguez-Calleros, P. A., & Muñoz-Sáez, F. E. (2018). Crecimiento y supervivencia de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* bajo diferentes tratamientos de fertilización. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(2), 251-264.
- Velázquez-Castro, I. J., Aldrete, A., López-Upton, J., López-López, M. Á., & Etchevers Barra, J. D. (2022). Fertilización de dos grupos genéticos de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en un ensayo de progenies de cuatro años. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 28(1), 21-36 doi: 10.5154/r.rchscfa.2020.08.049
- Velasco M., H. A. 2000. Sobrevivencia en los desiertos mexicanos. AGT Editor. México. 459 p.
- Veobides-Amador, H., Guridi-Izquierdo, F., & Vázquez-Padrón, V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos tropicales*, 39(4), 102-109.
- Villena Gordo, R. (2019). Utilización del compost de orujo de vid como enmienda orgánica y fertilizante en una zona vulnerable (Doctoral dissertation, Tesis Doctoral, ETS de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, España). 228 Pp.
- Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., López-Upton, J., & Vargas-Hernández, J. J. (2005). Variación genética altitudinal en el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en campo. *Agrociencia*, 39(5), 575-587.
- Zurita Castillo, J., Hernández T., Huancachoque E., Palacios L. (2016). Nutrición vegetal y crecimiento. 15 de febrero del 2023, de [https://scholar.google.es/scholar?start=10&q=%22nutrici%C3%B3n+vegetal%22+&hl=es&as\\_sdt=0,5&as\\_ylo=2014&as\\_yhi=2022](https://scholar.google.es/scholar?start=10&q=%22nutrici%C3%B3n+vegetal%22+&hl=es&as_sdt=0,5&as_ylo=2014&as_yhi=2022).