



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLA
Y FORESTAL SUSTENTABLE**

TESIS DE MAESTRÍA

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS
COMO INDICADORES DE FERTILIDAD DEL SUELO CON DIFERENTES
TRATAMIENTOS SILVICOLAS DE APROVECHAMIENTO FORESTAL**

Para obtener el grado de

Maestro en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

PRESENTA

Ing. Dante Edain Villeda Fuentes

Director

Dr. Juan Capulín Grande

Tulancingo de Bravo, Hgo., México., mayo de 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
AGRÍCOLA Y FORESTAL SUSTENTABLE**

TESIS DE MAESTRÍA

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS
COMO INDICADORES DE FERTILIDAD DEL SUELO CON DIFERENTES
TRATAMIENTOS SILVICOLAS DE APROVECHAMIENTO FORESTAL**

Para obtener el grado de
Maestro en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

PRESENTA

Ing. Dante Edain Villeda Fuentes

Director

Dr. Juan Capulín Grande

Asesores

Dr. Ramón Razo Zárate

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Dra. Ma. Isabel Reyes Santamaría

Dr. Alfonso Suárez Islas

Tulancingo de Bravo, Hgo., México., mayo de 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

School of Forestry and Environmental Studies

Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

Master's in Sciences and Technology of Agriculture and Forestry

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: "EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS COMO INDICADORES DE FERTILIDAD DEL SUELO CON DIFERENTES TRATAMIENTOS SILVICOLAS DE APROVECHAMIENTO FORESTAL", que desarrolla el estudiante Dante Edain Villeda Fuentes.

Asistentes:

Dr. Juan Capulín Grande

Dr. Ramón Razo Zárate

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Dra. Ma. Isabel Reyes Santamaría

Dr. Alfonso Suárez Islas

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por Dante Edain Villeda Fuentes estudiante, comunicando al estudiante, realizó oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. El estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que El estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE

"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 2 de mayo de 2025

Dr. Juan Capulín Grande

Dr. Ramón Razo Zárate

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Dra. Ma. Isabel Reyes Santamaría

Dr. Alfonso Suárez Islas

Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda Aquetzalpa
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México; C.P. 43600
Teléfono: 771 71 72000 ext 2430
maestria_agricola_forestal@uaeh.edu.mx



www.uaeh.edu.mx

Agradecimiento

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada No. De CVU 1181191, al Doctor Juan Capulín Grande y al comité conformado por el Dr. Ramón Razo Zárate, Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna, Dra. Ma. Isabel Reyes Santamaría y el Dr. Alfonso Suárez Islas, a los Ingenieros Rafael y Brígido por el apoyo brindado.

Dedicatoria

A mi madre, hermanos y a todas las personas involucradas en la realización de esta investigación.

Índice General

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES	5
Matarrasa	6
Arboles semilleros	7
Propiedades Físicos del Suelo	7
Propiedades Químicos del Suelo.....	9
Nutrimentos	12
Biología del Suelo	13
JUSTIFICACIÓN	16
OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
Hipótesis	17
MATERIALES Y MÉTODOS	18
Localización y Descripción del Área de Estudio.....	18
Trabajo de Campo.....	21
Análisis de Laboratorio	22
Diseño Experimental	23
RESULTADOS Y DISCUSION.....	24
Propiedades Físicas del Suelo	24
Color.....	24
Densidad Aparente (Dap)	25

Textura	29
propiedades Químicas del Suelo	30
Materia Orgánica (MO)	30
Conductividad Eléctrica (CE)	32
Reacción del Suelo (pH)	33
Macro y Micronutrientes del Suelo	34
Nitrógeno Inorgánico (Ni)	34
Fosforo (P)	36
Calcio (Ca)	37
Magnesio (Mg)	37
Hierro (Fe)	38
Manganeso (Mn)	39
Sulfatos (SO ₄)	40
Biología del Suelo	41
Hongos y Bacterias	41
Macrofauna	43
CONCLUSIONES	47
REFERENCIAS	48
ANEXO	65

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de los ejidos La Cumbre de Muridores y El Casco	19
Figura 2. Ubicación Geográfica de los sitios evaluados en el Ejido El Casco	20
Figura 3 Ubicación Geográfica de los sitios evaluados en el Ejido La Cumbre de Muridores ...	20
Figura 4. Esquema de muestreo	21

Índice de Tablas

Tabla 1. Factores físicos del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 0-10 cm	27
Tabla 2. Factores físicos del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 10-20 cm	28
Tabla 3. Factores químicos del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 0-10 cm	31
Tabla 4. Factores químicos del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 10-20 cm	31
Tabla 5. Macro y microelementos del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 0-10 cm.....	35
Tabla 6. Macro y microelementos del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 10-20 cm.....	35
Tabla 7. Unidades Formadoras de Colonias de hongos y bacterias del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 0-10 cm	41
Tabla 8. Unidades Formadoras de Colonias de hongos y bacterias del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 10-20 cm	43

Tabla 9. Cuantificación de macrofauna del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas árboles semilleros (AS) y matarrasa (M).....	46
---	----

RESUMEN

La presente investigación consistió en evaluar los efectos de los tratamientos de regeneración más aplicados en México en bosques templados: matarrasa y árboles semilleros. El primero matarrasa se ubicó en el ejido La Cumbre de Muridores y el segundo árboles semilleros en el ejido El Casco, ambos ubicados en el estado de Hidalgo. Para evaluar cada tratamiento se escogieron 4 áreas: un área no intervenida o de conservación y tres cortas de regeneración de los años 1999, 2010 y 2022, y a dos profundidades del suelo 0-10 y 10-20 cm. Se evaluaron las características físicas: el color, la densidad aparente y la textura; características químicas como contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica, pH y el contenido de nutrimentos del suelo; las características biológicas fueron las UFC de hongos y bacterias y la macrofauna del suelo. Los principales resultados de esta investigación indican el aumento de la densidad aparente en sitios con aprovechamiento forestal más reciente en ambos tratamientos silvícolas, provocado por la actividad antropogénica. El contenido nutrimental de Ca, Mg, Fe y Mn fue mayor en el tratamiento matarrasa aprovechamiento 1999 y profundidad de 0-10 cm. El contenido de materia orgánica fue mayor en el tratamiento árboles semilleros con sus distintos aprovechamientos y profundidades, esto a su vez propició que el pH fuera más ácido en los mismos sitios y profundidades de muestreo. Los mayores contenidos de hongos se presentaron en el tratamiento matarrasa aprovechamiento 1999, mientras que el mayor contenido de bacterias se presentó en el tratamiento árboles semilleros aprovechamiento 2022, ambos a profundidad de 0-10 cm. La macrofauna tuvo mayor presencia en los sitios aprovechamiento 1999 y conservación del tratamiento matarrasa. Se concluye, que cuando un bosque se aprovecha puede mejorar sus características como el contenido de materia orgánica y aumento de las poblaciones de hongos y bacterias por la abundancia de restos orgánicos que se depositan en el suelo.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the effects of the most applied regeneration treatments in temperate forests in Mexico: clear-cutting and seed-tree methods. The clear-cutting treatment was located in the ejido La Cumbre de Muridores, and the seed-tree treatment in the ejido El Casco, both situated in the state of Hidalgo. To assess each treatment, four areas were selected: a non-intervened or conservation area, and three regeneration harvest areas from the years 1999, 2010, and 2022, with two soil depths evaluated: 0–10 cm and 10–20 cm. The physical characteristics assessed included color, bulk density, and texture; chemical characteristics included organic matter content, electrical conductivity, pH, and soil nutrient content; biological characteristics included colony-forming units (CFU) of fungi and bacteria, and soil macrofauna. The main findings of this study indicate an increase in bulk density in areas with more recent forest harvesting under both silvicultural treatments, caused by anthropogenic activity. The nutrient content of Ca, Mg, Fe, and Mn was higher in the clear-cutting treatment from 1999 at the 0–10 cm depth. Organic matter content was higher in the seed-tree treatment across its different harvesting years and depths, which in turn led to more acidic pH values at the same sites and sampling depths. The highest fungal contents were found in the clear-cutting treatment from 1999, while the highest bacterial contents were recorded in the seed-tree treatment from 2022, both at the 0–10 cm depth. Macrofauna was more abundant in the 1999 harvest and conservation sites of the clear-cutting treatment. It is concluded that when a forest is harvested, its characteristics may improve, such as organic matter content and the increase in fungal and bacterial populations, due to the abundance of organic residues deposited in the soil.

INTRODUCCION

La Ley General de Desarrollo forestal Sustentable (2003) define el aprovechamiento forestal como la extracción de los recursos que se encuentran en los bosques, tanto aquellos que son maderables como los que no lo son. Los recursos forestales maderables comprenden la vegetación leñosa que puede ser aprovechada y el uso responsable de cualquier recurso natural se convierte en una fuente de prosperidad y mejora económico para el país que sepa gestionarlo. En el caso de los recursos forestales maderables, al ser renovables, pueden considerarse inagotables, siempre que se manejen de manera responsable. El territorio mexicano cuenta con una superficie continental de 197 millones de ha, de las cuales 139.8 millones de ha tienen cobertura forestal, es decir, alrededor del 71 % del territorio nacional está cubierto por bosques, selvas, ecosistemas áridos y semiáridos (Pérez Olvera *et al.*, 2016).

El Sistema Nacional de Información Forestal (2021) indica que, en México, la superficie total bajo aprovechamiento forestal fue de aproximadamente 6.3 millones de ha y para el estado de Hidalgo de 22.5 mil ha. La explotación de un bosque debe ser sostenible, es decir, extraer madera de manera que se garantice su regeneración y se diseñen acciones para fomentar el crecimiento y desarrollo de los árboles. Estas actividades forman parte de lo que se conoce como métodos de aprovechamiento forestal, dentro de los métodos existen tratamientos silvícolas, los que más se aplican son: matarrasa o cortas totales en el que se eliminan totalmente los árboles para facilitar el establecimiento de una nueva generación, ya sea mediante regeneración natural o reforestación con el objetivo de formar un bosque coetáneo facilitando las labores de aprovechamiento y aumentar su productividad. Otro tratamiento es el de árboles semilleros que se caracteriza por la corta de la mayor parte de los árboles en un área específica para establecer una nueva generación, dejando algunos árboles maduros que estén sanos, que tengan copas grandes y densas, troncos rectos y sin deformaciones, resistentes al viento y buenos productores de semilla; el germoplasma necesario para la regeneración futura será proporcionado por estos

mismos los cuales se talan una vez que los brinzales alcanzan una altura de hasta 1.3 m y se han establecido adecuadamente (CONAFOR, 2018).

Cualquier actividad de explotación forestal generará algún grado de impacto, ya sea sobre la masa forestal residual, el suelo o los cuerpos de agua, entre las principales consecuencias de perturbar la vegetación está la erosión que es una de sus principales repercusiones provocando la compactación de los suelos, pérdida de materia orgánica, nutrientes y capacidad de retener agua. En síntesis, son suelos de menor calidad que no permiten mantener todas las funciones del mismo, como retención de humedad, conservar nutrientes, mantener profundidad de enraizamiento, entre otras, esto se puede definir como la pérdida de su fertilidad, resultado de un deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, producto de la desarticulación del binomio planta-suelo, Sin embargo, estos daños pueden minimizarse mediante una adecuada planificación de las operaciones de aprovechamiento (Contreras *et al.*, 2001; Astier-Calderón *et al.*, 2002; Cotler, 2020).

Evidencias demuestran que los impactos sobre la vegetación y el suelo se incrementan con la intensidad del aprovechamiento, pero si este es controlado o de impacto reducido permite obtener un mayor volumen de madera por hectárea sin incrementar los daños. Sin embargo, todo aprovechamiento lleva consigo algún nivel de impacto (Orozco Vílchez & Quirós, 2006).

Un suelo de uso forestal se define como aquel que ha evolucionado bajo la influencia de una cobertura de bosque, considerando los efectos distintivos del enraizamiento de los árboles, los organismos específicos que se relacionan con la vegetación, así como la capa de materia orgánica y la infiltración del agua (Pritchett, 1990), Con esta definición se considera que los suelos de uso forestales cubren aproximadamente la mitad de la superficie terrestre.

Las propiedades de los suelos de mayor interés para la planificación, uso y manejo son los físicos, químicos y biológicos. Las propiedades físicas determinan en gran medida la

capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta, la condición física de un suelo puede determinar la rigidez y la fuerza de sostenimiento de la vegetación, la facilidad para que las raíces penetren, la circulación de aire, la capacidad de drenaje y almacenamiento de agua, la elasticidad y la conservación de nutrientes. Las características físicas pueden ser un indicador de cómo el suelo almacena y provee agua a las plantas también como permite el desarrollo radical (Rucks *et al.*, 2004; Rodríguez-Martínez *et al.*, 2017).

Las propiedades químicas del suelo son importantes ya que pueden ser utilizadas para evaluar la habilidad del suelo de suministrar nutrientes y amortiguar cambios, algunas propiedades químicas del suelo son: pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), contenido de materia orgánica (MO), macro y micronutrientes y metales pesados. Si una de estas propiedades se ve afectada, consecuentemente atraerá una serie de problemas negativos para la vida que se encuentra sobre y en el suelo (Chapin Patiño, 2020).

La biología del suelo es amplia, compleja y dinámica, abarcando desde hongos, bacterias, micro y macrofauna hasta vertebrados de tamaño reducido; la mesofauna y la microbiota del suelo cumplen un rol esencial en la fragmentación, transformación y movimiento de los materiales orgánicos presentes en él. Además, contribuyen con significativas cantidades de biomasa al suelo y mejoran algunas de sus propiedades físicas (Karyanto *et al.*, 2012).

Los bosques y los suelos desempeñan una función crucial al proporcionar servicios ecosistémicos vitales para la vida en el planeta, entre los servicios más importantes que ofrecen destaca la regulación del clima, la cual se lleva a cabo a través de la emisión y absorción de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la deforestación impulsada por la utilización de madera con fines industriales y la expansión de las tierras agrícolas, ponen en peligro la capacidad de los suelos forestales de cumplir funciones como mantener la capacidad de retención de agua, regular los gases de efecto invernadero, alojar una gran biodiversidad y sumideros de carbono. Si no se implementan medidas de conservación apropiadas la

deforestación causa una grave degradación de los suelos al dejarlos desprotegidos y expuestos a los factores de erosión (Blum *et al.*, 2006; FAO, 2015).

ANTECEDENTES

Los estudios sobre la degradación de suelos en México datan de mediados del siglo pasado, pero debido a diferencias metodológicas y objetivos en su valoración las estimaciones difieren significativamente por lo que no se dispone de una descripción exacta de los cambios que han ocurrido a lo largo del tiempo en la superficie del suelo en México. El suelo forestal se define como aquel que se ha desarrollado bajo la influencia de una cubierta forestal, el efecto de las raíces profundas de los árboles y la asociación de los microorganismos específicos de la vegetación forestal y la capa de hojarasca junto con los productos de su descomposición promueven el génesis del suelo que se describe como aquellas causas que dieron lugar a su formación, todos los suelos son formados por interacciones complejas del clima, vegetación, animales, roca madre, topografía y el tiempo. También tienen características físicas y químicas que influyen en el crecimiento y desarrollo del arbolado. Las propiedades físicas como textura, densidad aparente (Dap) y algunas otras establecen la habilidad de penetración de las raíces, la cantidad de oxígeno y otros gases en el suelo, así como la disponibilidad y absorción de agua; mientras que las químicas como el pH, la materia orgánica (MO), la conductividad eléctrica (CE), entre otros son vitales para describir los suelos forestales (Hernández *et al.*, 2008; SEMARNAT, 2014).

El aprovechamiento de los recursos forestales maderables debe de ser regulado por legislaciones para asegurar su correcto aprovechamiento, esto se hace a través de un plan de manejo forestal, cuando este se cumple a cabalidad ayuda a que se mitigue el impacto ambiental, se proteja a las especies amenazadas y se tomen medidas preventivas contra incendios y plagas forestales. Durante el año 2003 se autorizaron 3 mil 465 planes de aprovechamiento para un total de poco más de 7 millones de m³ de madera, Michoacán y Veracruz fueron los estados con mayor número de autorizaciones y los estados de Durango y San Luis Potosí fueron los estados con mayor volumen de madera aprovechada (SEMARNAT, 2014).

Matarrasa

El tratamiento llamado matarrasa se comenzó a aplicar en México en el año 1999 en el estado de Jalisco su propósito es establecer reforestaciones de pino inmediatamente después de la corta total, este tratamiento consiste en la remoción total en una sola corta de las masas forestales que van llegando a su madurez o final de turno, la regeneración natural de estos sitios se logran mediante el germoplasma dejado en el suelo por los árboles antes removidos y por los árboles en pie adyacentes al área de corta, la plantación puede ser otro método para la regeneración.

Las principales características de este tratamiento se pueden resumir en que es un método de producción intensivo, se aplica a especies intolerantes, menores costos al concentrar operaciones en áreas reducidas y en periodos cortos de tiempo, permite al nuevo cultivo desarrollarse a plena luz y libre de competencia que se traduce en un rápido crecimiento, permite y facilita el cambio de especies. El objetivo de la aplicación de las cortas de matarrasa es establecer un bosque regular a través de la remoción del bosque en una sola corta, este método también puede tener riesgos como la erosión del suelo cuando no se regula la extensión de las cortas, puede surgir el establecimiento espontáneo de todos los árboles que ya estaban ahí antes de realizar dicha tala, ya sea mediante las semillas almacenadas en el suelo o de los individuos próximos al área de corte, así como también por la capacidad de reproducción vegetativa que poseen algunos de ellos (Smith, 1997; Beltrán Pérez, 2012).

Project Learning Tree, (2015) señala que las cortas de matarrasa se distinguen porque todos los árboles de un rodal se cosechan simultáneamente con la esperanza de que un nuevo rodal con edad pareja se establezca, también se utiliza para establecer árboles que crecen mejor con luz solar, un área que se sometió a cortas de matarrasa se puede regenerar con las semillas de rodales colindantes, semillas almacenadas en el suelo del bosque o de un tronco o brotes provenientes de las raíces de los árboles talados.

Arboles semilleros

En este tratamiento el área es cortada totalmente a excepción de algunos árboles que son reservados como productores de semillas para regenerar el rodal de forma natural, estos árboles deben tener ciertas características como árboles maduros, sanos, que tengan copas grandes y densas, troncos rectos y sin deformaciones, resistentes al viento y buenos productores de semilla ya que son los que proveerán de germoplasma para la posterior regeneración, esto tiene como ventaja que permite cierto control sobre las especies deseadas para facilitar su establecimiento y obtener alguna mejora genética. Además, es una opción económica ya que concentra las actividades de tala y transporte en áreas relativamente reducidas, minimiza los daños a la regeneración natural, promueve el crecimiento de plantas forrajeras y posibilita el pastoreo en las primeras etapas del desarrollo de la masa forestal (CONAFOR, 2018).

Aunque las desventajas son pocas, dejar los mejores árboles como fuentes de germoplasma puede resultar económicamente inviable y su extracción podría dañar la regeneración natural. Estos problemas pueden agravarse si la extracción no se realiza en el momento adecuado. Además, los árboles semilleros, si no son retirados, podrían interferir con el desarrollo de la nueva masa forestal (Musálem, 2006).

Propiedades Físicas del Suelo

Color

El color es una propiedad cualitativa del suelo, su interés radica en que permite inferir fácilmente distintos estados de oxidación o reducción; así como el contenido de MO y componentes minerales como carbonatos, óxidos y yeso, entre otros. El material parental puede heredar el color al suelo o ser consecuencia de procesos pedogénicos (Porta *et al.*, 2003).

Schlatter *et al.* (1981) señalaron que el suelo muestra un amplio rango de colores y estos dependen de los factores y procesos de la pedogénesis como su composición mineral, su contenido de materia orgánica y la clase de drenaje del suelo. Para interpretar correctamente los

colores del suelo se debe diferenciar entre aquellos heredados y los adquiridos, los colores heredados derivan del material de origen; en cambio, los colores adquiridos resultan de los procesos de formación del suelo, el color del suelo puede ser determinado en el campo o en laboratorio mediante la comparación colorimétrica, utilizando una Tabla Munsell (Thiers *et al.*, 2014).

Los horizontes superficiales de un suelo forestal con una vegetación de pino-encino se caracterizan por presentar colores pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) a pardo rojizo (5YR4/3) en seco, y pardo amarillento oscuro (10YR3/4) a pardo rojizo oscuro (YR2.5/2) en húmedo (Acevedo-Sandoval *et al.*, 2010).

Textura

La textura del suelo es la proporción relativa de sus fracciones de arenas, limo y arcilla sin incluir la materia orgánica y enfocándose únicamente en los elementos minerales que forman la fracción inorgánica del suelo. La textura repercute en la capacidad de retención de agua, la aireación, el drenaje, el contenido de materia orgánica y en otras propiedades relacionadas con la fertilidad del suelo (Aguilera, 2000; FAO, 2015).

Rucks *et al.* (2004) indican que la textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de las partículas que lo forman, esto es relevante ya que define el comportamiento de los suelos principalmente su capacidad de retención de agua y de nutrientes. También tiene implicaciones en el tipo de vegetación que puede establecerse en cada suelo, en suelos forestales las texturas que dominan son franco, franco arenoso y franco arcilloso siendo siempre mayores los porcentajes de arena, seguidos por limo y finalizando arcilla. La textura es un factor significativo que tiene relevancia en la recarga de agua, principalmente cuando el suelo no está cubierto por vegetación, también tiene un impacto directo en la composición y crecimiento de los bosques (Acevedo-Sandoval *et al.*, 2010; García-García *et al.*, 2024).

Densidad Aparente (Dap)

La densidad aparente (Dap) se define como la masa (peso) de una unidad de volumen de suelo seco; este volumen incluye el espacio poroso ocupado por el aire y líquidos; por lo tanto depende directamente de la composición y de las condiciones estructurales del suelo, la Dap tiende a variar según la clase textural del mismo, los suelos arenosos y con poca cantidad de materia orgánica tienden a tener una densidad aparente elevada, y por el contrario, los suelos arcillosos tienen una densidad aparente baja (Rubio Gutiérrez, 2010).

Arias Jiménez (2001) reporta, que la Dap es la masa del material sólido incluyendo el espacio poroso dentro de un volumen definido, esta suele ser muy variable, al respecto Luna Bautista (2014) observó que en un sitio sin aprovechamiento forestal la Dap es menor que una superficie con manejo, siendo de 1.10 g cm^{-3} para el sitio sin aprovechamiento y 1.50 g cm^{-3} en un sitio con aprovechamiento. Balbuena *et al.* (2000) obtuvieron valores similares que van de los 1.18 a 1.24 g cm^{-3} en los primeros 30 cm para un sitio sin aprovechamiento.

Rubio Gutiérrez (2010) concluyó que, para áreas con cubiertas vegetales diferentes, entre ellas bosques de pino y con un tipo de suelo franco, la Dap van desde 0.62 a 1.30 g cm^{-3} . Otro factor importante es la profundidad del suelo, la densidad aparente aumenta de forma considerable, mientras el porcentaje de MO se reduce y el volumen de los poros disminuye en los horizontes más profundos.

Propiedades Químicas del Suelo

Reacción del Suelo (pH)

El pH constituye una propiedad fundamental en la composición del suelo dado que es un indicador de disponibilidad de los nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal. De igual manera, cumple un rol esencial en la capacidad de disolución de nutrimentos y en la actividad de los microorganismos encargados de descomponer la materia orgánica afectando así la productividad del suelo, el pH es una característica química fundamental en los suelos ya que

proporciona información sobre la acidez o alcalinidad de la solución del suelo de la cual las raíces y los microorganismos obtienen sus nutrientes (Burga-Díaz, 2022).

Los suelos forestales tienden a ser ácidos como lo demuestra Maycotte Morales *et al.* (2002) en su investigación “Radiación fotosintéticamente activa y propiedades físico-químicas en suelos forestales con y sin incendio” donde evaluó sitios dominados por *Pinus patula* resultando pH que va de 5.38 a 5.43., Otros estudios con especies forestales y árboles urbanos indican que un pH de 5.2 a 7.0 es óptimo para su crecimiento, en este intervalo los nutrientes se encuentran disponibles y los árboles no evidencian síntomas de toxicidad por metales pesados. En México los pH de los bosques dominados por coníferas oscila entre 5 y 7 ya que la mayoría de las coníferas toleran mejor los suelos ácidos (Saavedra-Romero *et al.*, 2020). Algunos estudios arrojan resultados donde el pH disminuye con el aumento de la altitud, estudios más recientes señalan que el pH está directamente relacionado con el material parental (Murga-Orrillo *et al.*, 2021).

Materia Orgánica (MO)

La materia orgánica (MO) representa la fertilidad del suelo, un elemento clave resultado de la combinación de las propiedades físicas y químicas junto con la contribución de los residuos orgánicos en proceso de descomposición. La MO constituye el 5 % de la composición de un suelo ideal y cumple un rol esencial en las funciones de un suelo saludable, las funciones principales del suelo como la producción primaria, la purificación y regulación del agua, el almacenamiento y control del carbono, la biodiversidad y el ciclo de nutrientes, dependen en gran medida de ella. La MO del suelo tiene un impacto significativo en la mayoría de las características físicas, químicas y biológicas (Yáñez Díaz *et al.*, 2023).

Las proporciones de MO pueden ir desde cercano al 0 % como es el caso de depósitos arenosos hasta 95 % en algunas zonas de turbas. Sin embargo, en el suelo forestal puede estar presente hasta en un 30 % y catalogado como un suelo con alto contenido de MO (Mendoza *et*

al., 2022). Los factores que influyen en el contenido de MO y nitrógeno están principalmente determinados por el clima y la vegetación aunque también están sujetos a la influencia de otros factores locales como el relieve, el material parental, el tipo y duración de la explotación de los suelos y algunas de sus características químicas, físicas y microbiológicas, en el caso de las propiedades químicas encontramos el aumento de la reserva de nutrimentos del suelo, si la MO del suelo aumenta se genera un aumento en la capacidad de intercambio de cationes y como resultado una mejora en la dinámica de los nutrientes. En los aspectos biológicos favorece los procesos de mineralización de alimento para los microorganismos y un estimula el crecimiento de la planta (Schulte *et al.*, 2014; Vásquez Acuña, 2019).

La MO del suelo no sólo es un hábitat para los microorganismos edáficos o incluso para otros organismos más grandes, sino que también es un alimento para ellos, cuanto más alto es el contenido de MO, más diversa y abundante es la vida en el suelo esto no solo conduce a una movilización más eficiente de los nutrimentos para las plantas, sino también a una mayor resistencia frente a las enfermedades del suelo y con ello aumenta la salud del mismo. De manera general, la MO desempeña un papel esencial en los suelos más resilientes, es decir, en la capacidad del suelo para hacer frente a los efectos negativos del exterior por ejemplo sequía, temperaturas extremas, compactación, pesticidas, entre otras (Grand & Michel, 2020).

Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) del suelo es una medida indirecta de la concentración de sales, el suelo naturalmente tiene sales disueltas por lo que la CE puede ser muy baja pero nunca nula, el exceso de sales puede afectar tanto al crecimiento de las plantas como a la actividad de los microorganismos del suelo. La CE puede variar según las condiciones climáticas, en áreas con alta precipitación se pueden eliminar las sales, disminuyendo la CE, mientras que, en zonas áridas, las sales tienden a acumularse resultando en una alta CE (Weil & Brady, 2016).

Los suelos áridos con alto contenido de sales y sodio intercambiable suelen tener una CE extremadamente alta, en suelos salinos con nivel freático elevado el agua capilar puede aumentar la concentración de sal y la CE en las capas superficiales; se ha observado una relación entre suelos con altos niveles de salinidad ($CE \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$) y la presencia de arcilla, lechos rocosos y fragipanes a diferentes profundidades; la CE también varía en relación con su contenido de humedad, disminuyendo cuando está completamente saturado debido a la dilución de la solución e incrementando en el punto de marchitez permanente (FAO, 2015).

La CE y sales disueltas totales proporcionan un panorama sobre el grado de salinidad de los suelos, no obstante, debe contener una mezcla de sales mínimamente indispensables; sin embargo, cuando se alcanzan concentraciones elevadas, pueden causar, entre otros efectos, inhibición osmótica (reducción en la absorción de agua), alteración de procesos enzimáticos y toxicidad en árboles caducifolios debido a la alta concentración de metales pesados, los valores de conductividad eléctrica $< 2.0 \text{ dS m}^{-1}$ se clasifican como insignificantes aunque algunas especies son sensibles incluso a esas concentraciones (USDA, 2022).

Nutrientes

La productividad forestal está relacionada directamente con la absorción y disponibilidad de nutrientes que se derivan del suelo y son esenciales para las plantas, de acuerdo a su concentración y a los requerimientos necesarios para el crecimiento de las mismas, la absorción de nutrientes por las plantas está inicialmente limitada por las tasas de descomposición y de mineralización de la MO, la solubilidad mineral, la capacidad de intercambio catiónico y la competitividad de los microorganismos (USDA, 2022). Los suelos tienen una serie de elementos esenciales que propician el crecimiento de las plantas, la cantidad de nutrientes presentes en el suelo determina su potencial para sostener la vida de los organismos que se encuentran sobre y en él.

Se clasifican en macronutrientes y micronutrientes, según la cantidad que necesitan las plantas para su desarrollo, los macronutrientes son necesarios en grandes cantidades e incluyen Carbono (C), Hidrógeno (H), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S). En cambio, los micronutrientes son necesarios en cantidades más pequeñas e incluyen Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Boro (B), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni) y Cloro (Cl). Su carencia puede provocar deficiencia, mientras que su exceso puede causar toxicidad (USDA, 2022).

Elementos fundamentales como C, H, O y N son aportados por el aire y el agua mientras que el resto son contribuidos por el propio suelo. Es importante señalar que la MO es una de los mayores aportadores de nutrientes al suelo, llegan a liberar de un 70 a 90 % del total de los requerimientos de los seres vivos (Sánchez *et al.*, 2008; FAO, 2023; Navarro García, 2023).

Biología del Suelo

Hongos y Bacterias

Morocho & Leiva-Mora (2019) señalan que, como parte de los componentes bióticos del suelo los microorganismos tienen diversas funciones importantes que influyen en la calidad y salud del suelo, dentro de los grupos de microorganismos benéficos están hongos y bacterias con diversas funciones como la degradación de MO, formación del suelo, formación de humus, reciclado y disponibilidad de nutrientes, determinan la fertilidad del suelo, forman asociación simbiótica con las plantas, ayudan a la planta a mejorar la absorción de agua, forman una defensa contra fitopatógenos y ayudan a la planta a mejorar la tasa fotosintética. Los microorganismos del suelo aprovechan residuos de las plantas y animales junto con los derivados de la MO como fuentes de alimentos, los desechos generados por los microorganismos favorecen a la formación de humus en el suelo (Barrientos Ramos & Rojas Cabrera, 2020).

Las bacterias descomponen los materiales fácilmente aprovechables como los compuestos de carbono simple incluyendo las exudaciones de las raíces y los restos frescos de

las plantas. Los desechos generados por las bacterias se convierten en productos secundarios de la MO. Los hongos descomponen la materia orgánica más resistente, reteniendo en el suelo los nutrientes obtenidos en forma de biomasa y contribuyendo a la liberación de dióxido de carbono (CO₂), es decir, los compuestos menos resistentes de la materia orgánica son descompuesto primero, mientras que el material más resistente como la lignina que se encuentran en la madera y acículas se degradan más lento y en etapas (Salavarría Jiménez, 2023).

Macrofauna

La fauna del suelo o edáfica incluye a los organismos que viven total o parcialmente dentro o sobre la superficie inmediata, en la capa superior de hojarasca o en los troncos caídos en proceso de descomposición. Dentro de la fauna del suelo la macrofauna incluye los invertebrados más notables con una longitud igual o mayor de 10 mm y un diámetro mayor de 2 mm, por lo que son fácilmente visibles en la superficie e interior del suelo, entre los más comunes se encuentran lombrices de tierra (*Oligochaeta*), caracoles (*Mollusca*), cochinillas (*Isopoda*), milpiés (*Diplopoda*), ciempiés (*Chilopoda*), arañas (*Araneae*) y diversos insectos, tales como las termitas (*Isoptera*), hormigas (*Hymenoptera*), cucarachas (*Dictyoptera*), escarabajos (*Coleoptera*), larvas de moscas (*Diptera*) y de mariposas (*Lepidoptera*), chinches, salta hojas (*Hemiptera*) y grillos (*Orthoptera*). De estos organismos, los escarabajos suelen ser los más diversos, aunque en abundancia predominan generalmente las termitas (*Isoptera*) y hormigas (*Hymenoptera*) (Cabrera Dávila, 2019).

Autores como Hernández (2018) señala que las lombrices de tierra (*Oligochaeta*) y milpiés (*Diplopoda*) forman posiblemente el grupo más importante del suelo en regiones templadas. La macrofauna desempeña un papel crucial en las transformaciones de la MO y las propiedades físicas del suelo al crear canales y poros que favorecen la aireación, la estabilidad de los agregados, el drenaje y la capacidad de retención de agua. Los milpiés (*Diplopoda*),

escarabajos (*Coleoptera*) y grillos (*Orthoptera*) son los principales degradadores de la MO en el ciclo de nutrientes del suelo (Hernández, 2018; Scaglione, 2023).

Juárez Soto (2020) reporta que la vegetación es un factor importante en la composición de las comunidades de la mesofauna, por lo tanto, un cambio o perturbación en la vegetación puede influir en la estructura de las comunidades y diversidad.

JUSTIFICACIÓN

Estudios sobre el suelo y su relación con la vegetación se han realizado con éxito, pero mayormente con un enfoque en suelos agrícolas dejando de lado los suelos forestales. Resulta de especial interés conocer cómo se ve afectado el suelo cuando la vegetación sobre él está bajo aprovechamiento. El propósito de la investigación surge de la escasa información comparativa de los impactos que se generan sobre el suelo cuando se realiza aprovechamiento forestal por lo que se pretende ampliar el conocimiento sobre los factores fisicoquímicos y biológicos y el efecto del aprovechamiento forestal sobre ellos.

OBJETIVOS E HIPOTESIS

Objetivo General

Evaluar de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo forestal, analizando cómo estas características varían en función de diferentes condiciones de manejo forestal, particularmente en áreas sometidas a tratamientos silvícolas de matarrasa y árboles semilleros en diferentes años de aprovechamiento.

Objetivos Específicos

- 1.- Evaluar las características fisicoquímicas del suelo forestal alteradas por los tratamientos matarrasa y árboles semilleros y sus diferentes años de aprovechamiento.
- 2.- Cuantificar la presencia de hongos, bacterias y macrofauna en el suelo forestal y su influencia en la transformación de los restos orgánicos en los diferentes tratamientos en periodos de tiempo distintos.
- 3.- Determinar el tratamiento de aprovechamiento forestal que propicie el menor impacto y mantenga la mejor fertilidad del suelo.

Hipótesis

Los tratamientos silvícolas de matarrasa y árboles semilleros originan cambios benéficos en las propiedades físicas, químicas y un incremento en los organismos como hongos, bacterias y macrofauna en suelos de uso forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y Descripción del Área de Estudio

El ejido La Cumbre de Muridores cuenta con una extensión de 219.90 ha, se ubica en el municipio de San Bartolo Tutotepec al este del estado de Hidalgo con coordenadas 20° 20' 30.27" N y 90° 19' 21.10" O, dentro de la Sierra Madre Oriental en la Región Hídrica Tuxpan-Nautla en la cuenca del Río Tuxpan. El ejido El Casco está conformado por 179.90 ha ubicándose en el Municipio de Metepec al este del estado de Hidalgo con coordenadas 20° 19' 29.40" N y 98° 19' 39.01" O dentro de la Sierra Madre Oriental en la Región Hídrica del Panuco en la cuenca del Río Moctezuma (Figura 1) (INEGI, 2000).

En los sitios de estudio se encuentran características similares, el clima descrito se basa en la clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García, para los dos ejidos el clima es C(m), templado húmedo con temperaturas medias anuales de 12 a 18 °C y lluvias marcadas en verano (Anexo 1). El suelo del ejido La Cumbre de Muridores en su totalidad es de uso forestales mientras que el ejido El Casco tiene un uso mayoritario de agricultura de temporal anual, sin embargo, los tratamientos silvícolas a evaluar se implementaron en área de uso forestal. La vegetación reportada en la literatura para los dos ejidos es bosque mesófilo de montaña (Anexo 2) (CONAGUA, 2002), pero en la práctica es un bosque de Pino-Encino dominado por *Pinus patula*. Los suelos para los dos ejidos son de tipo Regosol distríco (Anexo 3). La zona de estudio presenta un gradiente altitudinal que van de los 2360 hasta 2520 msnm (INEGI, 2000).

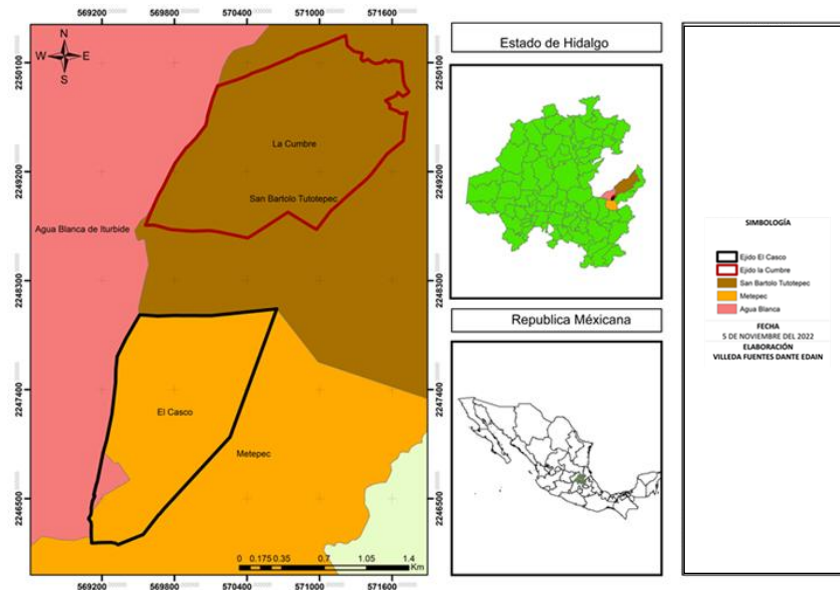


Figura 1. *Ubicación geográfica de los ejidos La Cumbre de Muridores y El Casco*

La zona de estudio se encuentra dentro del ejido La Cumbre de Muridores donde el tratamiento silvícola de aprovechamiento forestal usado fue cortas de árboles semilleros y para el ejido El Casco se aplicó cortas de matarrasa. Dentro de cada tratamiento silvícola se eligieron 4 sitios, un sitio de conservación y 3 de aprovechamiento de los años 1999, 2010 y 2022 (Figura 2 y 3). Las superficies de los sitios con árboles semilleros fueron las siguientes: el sitio conservación con 1.526 ha, aprovechamiento 1999 con 1.199 ha, 2010 presento 2.219 ha y el sitio 2022 presento un área de 3.773 ha; para el tratamiento matarrasa las superficies fueron las siguientes: conservación 1.269 ha, 1999 con 1.607 ha, 2010 presento un área de 2.554 ha y aprovechamiento 2022 con un área de 2.772 ha.

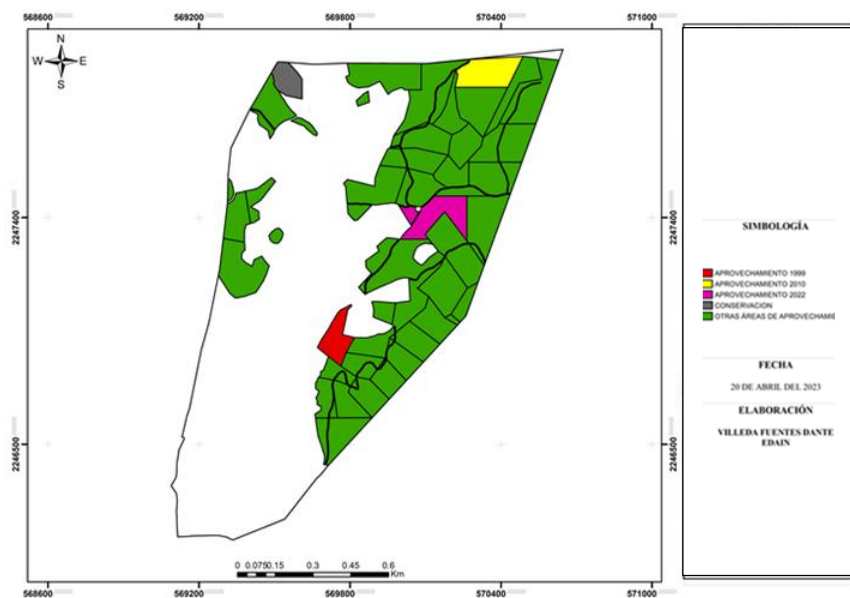


Figura 2. Ubicación Geográfica de los sitios evaluados en el Ejido El Casco

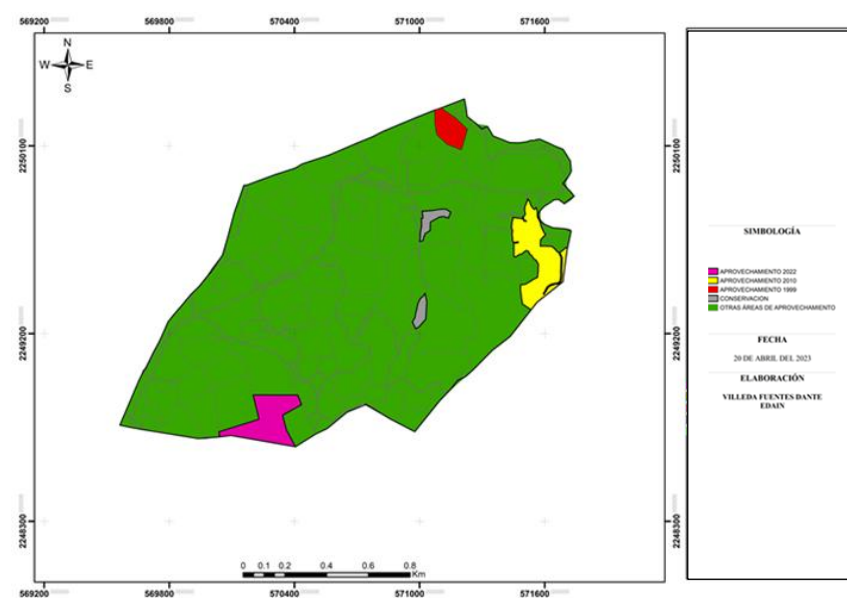


Figura 3 Ubicación Geográfica de los sitios evaluados en el Ejido La Cumbre de Muridores

Trabajo de Campo

En cada tratamiento se eligieron los 4 sitios, y en cada sitio se tomaron 10 submuestras en transectos en zig-zag para formar una muestra compuesta con tres repeticiones a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm), formando un total de 6 muestras compuestas por sitio de aproximadamente 1.5 kg. La toma de las submuestras se realizó con una barrena de 6 cm de diámetro a las profundidades ya indicadas (Figura 4), según la metodología de la NOM-021-RECNAT-2000 (2002). Inmediatamente después de la recolecta de las muestras se llevaron al laboratorio para realizar los análisis referentes a cuantificación de UFC de hongos y bacterias mientras que para los demás análisis las muestras de suelo se secaron en el laboratorio a temperatura ambiente por aproximadamente 6 días para su posterior análisis.

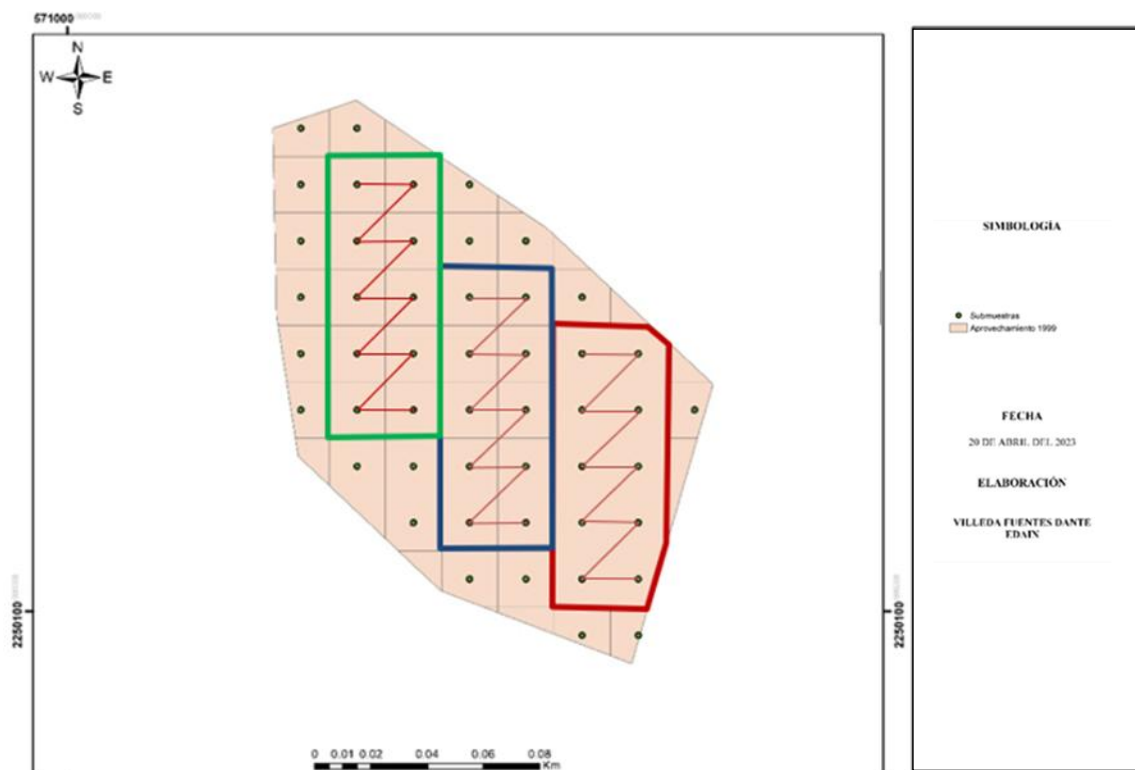


Figura 4. Esquema de muestreo de suelo por sitio y profundidad

Análisis de Laboratorio

Los métodos empleados para determinar el valor de las variables fueron: densidad aparente por el método de la parafina (Gandoy-Bernasconi, 1991), el color por medio de la tabla Munsell (Munsell, 1975), la textura por medio del Hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1936). También se determinó pH relación 2:1 de agua y suelo (NOM-021-RECNAT-2000, 2002), materia orgánica (MO) a través del método de Walkley & Black (Walkley & Black, 1934), conductividad eléctrica (CE) por extracto de saturación reportado en la norma (NOM-021-RECNAT-2000, 2002).

Para los macro y micronutrientes la metodología fue la siguiente: N inorgánico extraído con cloruro de potasio 2N y determinado por arrastre de vapor, P asimilable por el método Bray, Ca y Mg extraídos con acetato de amonio 1.0 N y pH 7.0 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica, Fe y Mn extraído con DTPA y determinado por espectrofotometría de absorción atómica, SO_4 obtenido por turbidimetría de BaCl_2 en el extracto de la pasta de saturación (NOM-021- RECNAT-2000, 2002).

Para las variables biológicas los métodos utilizados fueron los siguientes: UFC de hongos y bacterias empleando el método de dilución en placa, para lo cual, se pesó 1 g de suelo, se diluyó en 9 mL de agua destilada, se inocularon cajas con agar nutritivo, para bacterias incubadas a 28 °C y para hongos en agar dextrosa papa, incubadas a 28 °C durante cinco días (Toroco *et al.*, 2006). La determinación de la macrofauna se hizo a través del método de trampa de caída Pitfall, la cual consiste en hacer una excavación en el suelo y poner un recipiente al ras del mismo con una solución salina como conservador de los especímenes muestreados (Gómez y Gómez & Jones, 2002). Para evaluar los valores de macrofauna se usó el índice de diversidad ecológica de Shannon (1999).

$$H^1 = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Donde:

s =Número de especies

p_i =Proporción de individuos de cada especie respecto al total: n_i/N

n_i =Número de individuos de la especie i

N =Número de individuos de toda la población

H^1 =Resultado de la ecuación que normalmente varía entre 0.5 a 5; menor a 2 es bajo y superior a 3 es alto en relación con la biodiversidad.

Diseño Experimental

Para evaluar el efecto del aprovechamiento forestal y sus diferentes periodos en las propiedades físicas, químicas y biológicas, se empleó un diseño completamente al azar para posteriormente hacer un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($p=0.05$) para cada una de las variables evaluadas. Se utilizó el paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSION

Propiedades Físicas del Suelo

Color

Los resultados para el color del suelo en los tratamientos matarrasa y árboles semilleros a profundidad de 0-10 cm (Tabla 1) fueron, el color del suelo en seco marrón olivo (10YR4/3) para la mayoría de los sitios exceptuando el sitio 010ASC que mostró un color marrón grisáceo muy oscuro (10YR3/2) y el sitio 010M22 con un color marrón olivo oscuro (10YR5/3). Los colores en muestras de suelo húmedo fueron marrón olivo oscuro (10YR2/2) para todos los sitios excepto el sitio 010ASC que presento un color negro (10YR2/1). Para las muestras de los dos tratamientos a una profundidad de 10-20 cm (Tabla 2) los colores en suelo seco fueron marrón olivo (10YR4/3) para la mayoría de los sitios a excepción del sitio 1020M22 mostrando un color marrón grisáceo oscuro (10YR4/2), el color marrón olivo oscuro (10YR2/2) domino en todas las muestras de suelo húmedo.

Estos resultados obtenidos son similares con los colores reportados en la literatura, suelo franco arcilloso con vegetación de pastizal y árboles dispersos, siendo marrón (10YR5/3) y marrones oscuros (10YR3/3) a una profundidad de 0-10 cm y marrones claros (7.5YR6/4) a una profundidad de 10-30 cm (Bravo *et al.*, 2017). Para suelos forestales con una vegetación de pino-encino el color en suelo seco fue pardo amarillo oscuro (10YR4/4) y en muestras húmedas pardo amarillo oscuro (10YR3/4). En suelo franco arcillosos con una vegetación dominante de *Pinus teocote* presentó un color pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en seco y negro (10YR2/1) en húmedo. (Acevedo-Sandoval *et al.*, 2010).

Estos valores cualitativos demuestran que los colores oscuros son una característica principal de suelos con abundante materia orgánica, como fracción orgánica del suelo proveniente de los residuos de plantas y animales que son incorporados a su composición, luego de su descomposición asociada a la acción microbiana se presenta de color pardo o negruzco,

y constituye el 5% del volumen en un suelo ideal (Núñez-Ravelo *et al.*, 2021), esto concuerda con los resultados obtenidos en los sitios evaluados dominado por la clase Regosol, que son suelo muy jóvenes con poco desarrollo edáfico, generalmente resultado del depósito reciente de roca y arena acarreada al pie de las sierras montañosas.

El color del suelo es un indicador valioso para identificar otros atributos ya que puede ofrecer una aproximación de propiedades que no son tan fáciles de evaluar. En términos generales, a mayor oscuridad en el color, mayor es el contenido de MO del suelo. Un cambio en el color puede señalar variaciones en el nivel de MO debido a un uso o manejo específico del suelo (Noellemeyer *et al.*, 2021).

Densidad Aparente (Dap)

Los resultados de densidad aparente (Dap) obtenidos (Tabla 1 y 2) no presentaron diferencias significativas entre sí exceptuando el sitio 1020M10. Se presenta una tendencia donde los valores son más altos en los sitios con aprovechamiento de matarrasa comparado con los sitios donde se aplicó árboles semilleros esto en los muestreos a profundidad de 10-20 cm. La Dap puede variar dependiendo de la textura y la porosidad del suelo tendiendo a valores inferiores si en la textura predominan las arcillas y la porosidad es alta, el valor promedio de Dap para los suelos de bosque ronda los 0.5 g cm⁻³ (Meza Pérez & Geissert Kientz, 2003). Las Dap de las distintas texturas de suelos francos pueden variar entre 1.5 para suelos franco arenosos, 1.3 y 1.4 g cm⁻³ para suelos francos y franco limosos, respectivamente, hasta un valor de 1.2 g cm⁻³ para suelos franco arcillosos (CONAFOR, 2014).

Villalobos-Barquero & Meza-Montoya (2019) presentaron un estudio donde se analizó diferentes sitios de aprovechamiento forestal donde los valores de Dap para un suelo perturbado por arrastre de madera con animales de carga fue de 1.071 g cm⁻³ mientras que el testigo (sin perturbación) tuvo un valor de 1.005 g cm⁻³, este estudio también señala que la compactación

por animales se puede ver reflejada en los primeros 10 cm de suelo mientras que un impacto ocasionado por maquinaria puede afectar hasta los 30 cm.

Núñez Peñaloza (2019) comparó la Dap de tres sistemas de reproducción: forestal, agrícola y pastizal, siendo el sistema de producción forestal el sitio con valores más altos de Dap correspondiendo 1.52 g cm^{-3} , estos resultados son congruentes con los valores obtenidos en esta investigación, y esto puede ser debido a la actividad humana de los sitios aprovechados y a los diferentes porcentajes de MO.

Vera Sosa (2024) evaluó Dap de tres tipos de coberturas forestales: un sitio forestal sin ningún tipo de actividad antropogénica presentó un valor promedio de 0.954 g cm^{-3} , para una plantación forestal establecida el valor de Dap fue de 1.04 g cm^{-3} y para un sitio forestal degradado fue de 1.029 g cm^{-3} . Aunque no hubo diferencias significativas en la mayoría de sitios y sus profundidades, las más evidentes se deben a la profundidad del muestreo, la cantidad de MO y la actividad antropogénica que ocurren sobre el sitio, también se puede observar que con el pasar del tiempo los valores de los sitios de aprovechamiento se acercan a los valores del sitio de conservación como se puede observar en el sitio 010AS99 (Tabla 1) que presenta los valores más cercanos a el sitio conservación del mismo tratamiento y a la misma profundidad, aunque en el sitios 010M10 no se cumple esta constante (Tabla 1) tiene valores Dap más bajos que el sitio 010M22 a la misma profundidad.

Tabla 1. Factores físicos del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas, árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 0-10 cm

Sitios	Color		Densidad aparente (g cm ⁻³)	Textura (%)			Clase Textural
	Seco	Húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
010ASC	10YR 3/2 Marrón grisáceo muy oscuro	10YR 2/1 Negro	0.577 a	71.173 ab	18.667 a	10.160 a	Franco arenoso
010MC	10YR 4/3 Marrón oliva	10TR 2/2 Marrón oliva oscuro	1.274 a	59.867 abc	19.853 a	27.560 a	Franco arcilloso
010AS99	10YR 4/3 Marrón oliva	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	0.712 a	73.787 a	14.667 a	11.547 a	Franco arenoso
010M99	10YR 4/3 Marrón oliva	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	1.240 a	52.760 c	25.027 a	22.213 a	Franco arcilloso arenoso
010AS10	10YR 4/3 Marrón oliva	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	0.940 a	58.867 abc	24.667 a	16.467 a	Franco arenoso
010M10	10YR 4/3 Marrón oliva	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	0.614 a	57.787 bc	27.333 a	14.880 a	Franco arenoso
010AS22	10YR 4/3 Marrón oliva	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	1.679 a	68.507 abc	19.947 a	11.547 a	Franco arenoso
010M22	10YR 5/3 Marrón oliva claro	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	1.143 a	67.173 abc	16.667 a	16.160 a	Franco arenoso
C.V. (%)			38.606	8.829	23.845	39.908	

010ASC= árboles semilleros conservación, 010MC= matarrasa conservación, 010AS99= árboles semilleros aprovechamiento 1999, 010M99= matarrasa aprovechamiento 1999, 010AS10= árboles semilleros aprovechamiento 2010, 010M10= matarrasa aprovechamiento 2010, 010AS22= árboles semilleros aprovechamiento 2022, 010M22= matarrasa aprovechamiento 2022. C.V.= Coeficiente de variación.

Tabla 2. Factores físicos del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas, árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 10-20 cm

Sitios	Color		Densidad aparente (g cm ⁻³)	Textura (%)			Clase Textural
	Seco	Húmedo		Arena	Limo	Arcilla	
1020ASC	10YR 4/3 Marrón oliva	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	0.486 b	58.507 ab	28.667 a	12.827 a	Franco arenoso
1020MC	10YR 4/3 Marrón oliva	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	1.444 b	49.227 b	27.333 a	23.440 a	Franco arcilloso
1020AS99	10YR 4/3 Marrón oliva	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	1.329 b	69.120 a	17.333 a	13.547 a	Franco arenoso
1020M99	10YR 4/3 Marrón oliva	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	1.166 b	49.173 b	26.907 a	23.253 a	Franco limoso
1020AS10	10YR 4/3 Marrón oliva	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	1.344 b	56.867 ab	28.000 a	15.133 a	Franco arenoso
1020M10	10YR 4/3 Marrón oliva	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	2.793 a	55.787 ab	27.333 a	16.880 a	Franco
1020AS22	10YR 4/3 Marrón oliva	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	0.909 b	63.173 a	23.280 a	13.547 a	Franco arenoso
1020M22	10YR 4/2 Marrón grisáceo oscuro	10YR 2/2 Marrón oliva oscuro	1.187 b	59.840 ab	26.000 a	14.160 a	Franco arenoso
C.V. (%)			32.561	8.427	16.408	25.87	

1020ASC= árboles semilleros conservación, 1020MC= matarrasa conservación, 1020AS99= árboles semilleros aprovechamiento 1999, 1020M99= matarrasa aprovechamiento 1999, 1020AS10= árboles semilleros aprovechamiento 2010, 1020M10= matarrasa aprovechamiento 2010, 1020AS22= árboles semilleros aprovechamiento 2022, 1020M22= matarrasa aprovechamiento 2022. C.V.= Coeficiente de variación.

Textura

Los resultados de texturas no muestran diferencias significativas para los porcentajes de limo y arcilla, las diferencias significativas se presentaron en los porcentajes de arena para los dos tratamientos evaluados (Tabla 1) esto se repite en los resultados a profundidad de 10-20 cm (Tabla 2), aunque las clases texturales van de franco, franco arenoso, franco limoso, franco arcilloso arenoso y franco arcillosos todas estas tienen características similares. Según la Soil Science Society of America (2008), los porcentajes de partículas minerales de los suelos francos van del 23 a 52 % para arenas, 28 a 50 % para limo y del 7 al 27 % para arcilla. Otros autores como Carrasco-Ortiz *et al.* (2019) señalan que los suelos francos exhiben proporciones aproximadamente iguales de cada fracción de partículas, en los suelos con textura franca abunda el limo y suelen ser de los más aptos para el cultivo por tener una textura equilibrada y buenas características físicas y químicas, su color es casi negro, tiene elevados porcentajes de MO y no presenta muchas dificultades a la hora de trabajarlo.

Erazo Chinchay (2019) realizó un estudio donde demostró que la textura del suelo forestal con distintas densidades de cubierta vegetal siempre es franca dominando las clases texturales franco y franco arcilloso. Mendoza *et al.* (2022) obtuvo resultados similares siendo suelos francos para zonas forestales del oeste de Ecuador lo que significa que eran suelos con un porcentaje similar entre arena, limo y arcilla. En zonas forestales del estado de Durango bajo programas de pago de servicios ambientales y con una vegetación dominada por el género *Pinus*. Peláez-Mora *et al.* (2022) reportó suelos de textura franco-arenosa esto concordando con los resultados obtenidos en esta investigación.

Para los sitios evaluados los porcentajes de arenas son mayores en aquellos donde se aplicó el tratamiento árboles semilleros, mientras que para limo y arcilla el mayor porcentaje fue en el tratamiento matarrasa, esto se repite en casi todos los sitios exceptuando 1020AS10 (Tabla 2) donde esta constante no se cumple, esto no afecta la clase textural del sitio. Aunque

generalmente se habla de la textura del suelo de forma general, lo correcto sería hablar de la textura de cada horizonte del suelo ya que puede variar de horizonte a horizonte ya que es una característica propia de cada uno de ellos.

propiedades Químicas del Suelo

Materia Orgánica (MO)

Los porcentajes de materia orgánica (MO) (Tabla 3 y 4) mostraron diferencia significativa en cada profundidad. El mayor porcentaje se presentó en 010AS99 con 46.294 % (Tabla 3), y en el resto de los sitios con tratamiento árboles semilleros en ambas profundidades, mientras que el menor porcentaje se encontró en el tratamiento matarrasa sitio 1020M99 con 10.195 % (Tabla 4). El porcentaje encontrado en esta investigación se clasifican como contenidos altos y muy altos de MO tal como lo menciona la NOM-021-RECNAT-2000, (2002).

Los porcentajes de MO reportados por Pérez-Hernández *et al.* (2023) para bosques dominados por *Pinus* y *Quercus* ubicados en la Sierra Alta del estado de Hidalgo donde obtuvieron un porcentaje de 6.9 % para un sitio de conservación y 16.2 % para un área de aprovechamiento, siendo estos valores inferiores a los encontrados en este estudio.

Burga-Díaz (2022) analizó el porcentaje de MO de tres diferentes coberturas (bosque primario, bosque secundario y sin cobertura) y a tres diferentes profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) reportando los contenidos de MO de 10.18 % para bosque primario a una profundidad de 0-10 cm, el porcentaje de MO tiende a disminuir con la profundidad. Esta tendencia se repite en las otras coberturas y concuerda con los resultados de esta investigación. Cocotle Romero *et al.* (2022) obtuvo 19.0 % de MO para suelos de bosques de la Sierra Madre Oriental, mientras que González González *et al.* (2019) en bosques de pino, pino-encino y oyamel, el porcentaje de MO fue de 7.87 %, esto cae en el rango de área con bajo contenido de MO, mientras que para áreas con aprovechamiento la MO es de aproximadamente 14.22 % clasificándose con un suelo con contenido medio de MO.

Tabla 3. Factores químicos del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas, árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 0-10 cm

Sitios	MO (%)	CE (dS m ⁻¹)	pH
010ASC	29.327 ab	0.049 a	4.223 cd
010MC	11.697 b	0.058 a	5.224 abc
010AS99	46.294 a	0.059 a	4.006 d
010M99	14.200 b	0.044 a	5.404 ab
010AS10	22.427 b	0.057 a	4.566 abcd
010M10	19.822 b	0.040 a	4.443 abcd
010AS22	22.851 b	0.057 a	4.334 bcd
010M22	17.679 b	0.046 a	5.540 a
C.V. (%)	31.345	24.025	8.82

010ASC= árboles semilleros conservación, 010MC= matarrasa conservación, 010AS99= árboles semilleros aprovechamiento 1999, 010M99= matarrasa aprovechamiento 1999, 010AS10= árboles semilleros aprovechamiento 2010, 010M10= matarrasa aprovechamiento 2010, 010AS22= árboles semilleros aprovechamiento 2022, 010M22= matarrasa aprovechamiento 2022. C.V.= Coeficiente de variación.

Tabla 4. Factores químicos del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas, árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 10-20 cm

Sitios	MO (%)	CE (dS m ⁻¹)	pH
1020ASC	16.941 b	0.032 a	4.432 d
1020MC	11.219 b	0.042 a	5.249 bc
1020AS99	29.181 a	0.041 a	4.246 d
1020M99	10.195 b	0.034 a	5.443 ab
1020AS10	14.590 b	0.036 a	4.516 d
1020M10	16.804 b	0.026 a	4.761 cd
1020AS22	18.540 ab	0.041 a	4.574 d
1020M22	14.133 b	0.044 a	5.891 a
C.V. (%)	24.408	22.34	4.606

1020ASC= árboles semilleros conservación, 1020MC= matarrasa conservación, 1020AS99= árboles semilleros aprovechamiento 1999, 1020M99= matarrasa aprovechamiento 1999, 1020AS10= árboles semilleros aprovechamiento 2010, 1020M10= matarrasa aprovechamiento 2010, 1020AS22= árboles semilleros aprovechamiento 2022, 1020M22= matarrasa aprovechamiento 2022. C.V.= Coeficiente de variación.

Otros autores como Mendoza *et al.* (2022) han reportado altos porcentajes para suelos forestales de una zona tropical con una media de 30 % de MO. Chávez-Aguilar *et al.* (2020) reportaron que para bosques sin aprovechamiento y con suelos de tipo Regosol y Andosol dominados por *Pinus hartwegii* el porcentaje de MO oscilan entre 11.50 a 20.70 %.

La mayor parte de la MO se encuentra en la parte superficial del suelo y al estar expuesta a los factores climáticos y a la mesofauna esto acelera su descomposición, se ve reflejado en sitios bajo aprovechamiento y por ende con una cobertura vegetal menor a un bosque natural, al estar expuesto el suelos a los factores climáticos estos aceleran la descomposición de hojarascas, acículas y madera, entre otros (Docampo, 2018), esto puede explicar el contenido de MO en los sitios y profundidades evaluadas.

Conductividad Eléctrica (CE)

Los valores para conductividad eléctrica (CE) (Tabla 3 y 4) no presentaron diferencias significativas, todos los valores obtenidos fueron menores a 1.0 dS m^{-1} . Según la NOM-021-RECNAT-2000 (2002) define los sitios como suelo con efectos despreciables de la salinidad, estos valores concuerdan con los obtenidos por García Gallegos *et al.* (2023) el cual avalúo tres sitios forestales con suelos franco-arenosos obteniendo valores de 0.6 dS m^{-1} para un sitio con vegetación dominada por *Pinus* y *Quercus*, 0.4 dS m^{-1} para sitios con *Juniperus* como vegetación dominante y 0.1 dS m^{-1} para un sitio forestal dominado por especie introducida.

Yáñez Díaz *et al.* (2023) en su investigación “Efecto en las propiedades fisicoquímicas de un Regosol con cambios de uso de suelo” analizó la CE de bosques de pino a profundidades de 0-5 y 5-30 cm obteniendo 0.18 y 0.17 dS m^{-1} , respectivamente. La CE es un indicador directo de la salinidad del suelo, los resultados obtenidos indican que un suelo con o sin manejo forestal tienden a tener baja CE lo que a su vez indica bajos niveles de sales, esto se debe a la buena permeabilidad del suelo y al alto contenido de humedad del bosque, ya que valores altos de CE por lo general se encuentran en suelos ubicados en climas áridos. Otro ejemplo de lo anterior

dicho son los resultados que obtuvieron Pavón *et al.* (2012) donde evaluaron bosques dominado por pino y pino-encino bajo condiciones de conservación y bajo aprovechamiento dando como resultado valores de 0.0002 y 0.0036 dS m⁻¹ respectivamente.

Palma López & Sánchez Hernández (2023) analizaron suelos forestales franco arenosos bajo aprovechamiento y un sitio de conservación, los valores obtenidos se encuentran entre 0.008 y 0.026 dS m⁻¹ que, de acuerdo con Soriano, (2018) estos valores de conductividad eléctrica indican que es un suelo no salino. Según la NOM-021- RECNAT-2000 (2002) un suelo salino es aquel que tenga valores mayores o iguales a 4.0 dS m⁻¹.

Reacción del Suelo (pH)

En las Tabla 3 y 4 se observa que hay significancia entre tratamientos y aprovechamiento los cuales están dentro de la categoría de suelos de medianamente ácidos a fuertemente ácidos (NOM-021-RECNAT-2000, 2002). Rodríguez-Rivera *et al.* (2023), en su investigación “Efecto del manejo forestal en las propiedades fisicoquímicas del suelo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México” señalan que, en un sitio donde se aplicó matarrasa en el año 2005 y con una vegetación dominado por pino-encino los valores de pH están entre 4.26 y 4.85 y los valores para un sitio de recuperación natural fueron de 4.85 a 5.23. Romero-Barrios *et al.* (2015) reportaron pH de entre 5.5 a 6.2 para suelos Regosoles del centro del país en zonas forestales dominadas por pinos, encinos y oyameles y con cierto nivel de erosión. Cocotle Romero *et al.* (2022) reportaron valores similares para suelos forestales ubicados en la Sierra Madre Oriental con un valor promedio de 5.2.

Lilienfein *et al.* (2000) mencionaron que las coníferas incrementan la acidez del suelo asociado a esto se alteran procesos edáficos, al aumentar la hidrólisis ácida, la lixiviación de cationes básicos y la actividad microbiana. El pH del suelo es un factor importante que influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, la actividad biológica, la toxicidad de los metales pesados y la estructura del suelo. La mayoría de los nutrientes vegetales están disponibles a un

pH ligeramente ácido, la acidez en suelos es directamente proporcional a porcentajes altos de MO (Sela, 2021).

Macro y Micronutrientes del Suelo

Nitrógeno Inorgánico (Ni)

Para las concentraciones de Ni a profundidad de 0-10 cm el tratamiento árboles semilleros presento mayor concentración en sitios con mayor tiempo desde su aprovechamiento o que no han sido aprovechados (010ASC, 010AS99) (Tabla 5). Para los muestreos a profundidad de 10-20 cm esta tendencia se repitió en los sitios 1020ASC y 1020AS99 con mayores concentraciones (Tabla 6). Las concentraciones de Ni dependen de factores como la temperatura, humedad del suelo, textura y calidad del sustrato orgánico, sitios con baja precipitación y suelos arenosos puede tener concentraciones bajas de hasta 3 mg kg⁻¹ (Zhang *et al.*, 2020). Los contenidos bajos a medios de Ni de los sitios evaluado NOM-021- RECNAT-2000 (2002) se pueden deber a pérdidas que están influenciadas por factores edáficos y climáticos, uno de ellos es la volatilización que es el proceso en el cual una sustancia química de fase líquida pasa a fase gaseosa, también ocurren pérdidas por desnitrificación, que consiste en un proceso de reducción bioquímica del nitrato.

Torres-Duque *et al.* (2022) en estudios hechos en bosques de pino obtuvo como resultado que las cantidades de nitratos + amonio (nitrógeno inorgánico) fue de 46.1 y 41.7 mg kg⁻¹ para dos sitios con características similares. Zhang *et al.* (2020) para suelos forestales reportó concentraciones de 11.3 y 27.6 mg kg⁻¹ de amonio y nitrato, respectivamente. Mendoza *et al.* (2022) obtuvo un resultado de 17 mg kg⁻¹ para suelos forestales de zonas tropicales.

Tabla 5. Macro y micronutrientes del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas, árboles semilleros (AS) y matorrasa (M) a profundidad de 0-10 cm

Sitios	N	P	Ca	Mg	Fe	Mn	Sulfatos
	(mg kg ⁻¹).....						
010ASC	35.0 a	5.1 a	256.5 d	117.5 cd	324.8 ab	18.1 b	2.0a
010MC	25.4 a	2.3 a	280.0 d	549.0 ab	166.5 ab	63.8 a	1.2 a
010AS99	31.5 a	3.2 a	400.0 cd	74.5 d	602.9 a	9.6 b	2.0 a
010M99	17.5 a	1.0 a	2489.0 a	659.5 a	77.7 b	59.8 a	2.5 a
010AS10	21.9 a	3.1 a	780.5 bcd	125.5 cd	139.4 ab	24.8 ab	1.8 a
010M10	19.3 a	5.1 a	1440.0 b	300.0 cd	158.4 ab	37.1 ab	2.2 a
010AS22	21.0 a	2.12 a	1155.0 bc	184.0 cd	250.6 ab	37.7 ab	2.3 a
010M22	25.4 a	1.1 a	1341.0 b	344.0 bc	195.0 ab	42.4 ab	1.8 a
C.V. (%)	41.5	82.1	21.3	20.7	49.7	27.4	16.7

010ASC= arboles semilleros conservación, 010MC= matorrasa conservación, 010AS99= árboles semilleros aprovechamiento 1999, 010M99= matorrasa aprovechamiento 1999, 010AS10= árboles semilleros aprovechamiento 2010, 010M10= matorrasa aprovechamiento 2010, 010AS22= árboles semilleros aprovechamiento 2022, 010M22= matorrasa aprovechamiento 2022. C.V.= Coeficiente de variación.

Tabla 6. Macro y micronutrientes del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas árboles semilleros (AS) y matorrasa (M) a profundidad de 10-20 cm

Sitios	N	P	Ca	Mg	Fe	Mn	Sulfatos
	(mg kg ⁻¹).....						
1020ASC	28.1a	2.4 a	216.5 bc	77.5 b	295.2 a	12.3 a	1.6 a
1020MC	19.3 a	2.1 a	215.0 bc	387.5 a	330.4 a	44.5 a	1.5 a
1020AS99	24.5 a	2.6 a	41.5 c	53.5 b	301.5 a	13.5 a	1.4 a
1020M99	16.6 a	2.7 a	1815.5 a	472.5 a	179.0 a	42.0 a	3.3 a
1020AS10	17.5 a	4 a	544.4 bc	54.0 b	71.8 a	10.0 a	2.9 a
1020M10	15.8 a	2.6 a	762.5 bc	106.0 b	88.5 a	13.0 a	2.0 a
1020AS22	22.8 a	1.2 a	910.5 abc	124.0 b	141.0 a	29.5 a	3.0 a
1020M22	15.8 a	1.0 a	1089.5 ab	320.5 a	84.4 a	32.3 a	2.1 a
C.V. (%)	29.7	75.2	34.5	21.2	77.1	43.1	42.2

1020ASC= arboles semilleros conservación, 1020MC= matorrasa conservación, 1020AS99= árboles semilleros aprovechamiento 1999, 1020M99= matorrasa aprovechamiento 1999, 1020AS10= árboles semilleros aprovechamiento 2010, 1020M10= matorrasa aprovechamiento 2010, 1020AS22= árboles semilleros aprovechamiento 2022, 1020M22= matorrasa aprovechamiento 2022. C.V.= Coeficiente de variación.

La concentración de Ni en el suelo está vinculada con las variaciones en la textura, dado que conforme crece la proporción de partículas finas (limo y arcilla), también aumenta su concentración. Además, un contenido alto de MO produce y retiene más nitrógeno y esto se ve reflejado en la descomposición del material orgánico (Larios-González *et al.*, 2021).

Una constante que se repite en todos los sitios evaluados es la mayor cantidad de Ni a una profundidad de muestreo de 0-10 cm (Tabla 5) comparado con la profundidad de 10-20 cm (Tabla 6), a pesar de esto ningún tratamiento con distintas profundidades presento diferencias significativas. Los resultados de Ni de esta investigación oscilaron entre concentraciones que van de bajos a medios según la NOM-021 RECNAT-2000 (2002).

Fosforo (P)

Los resultados de P (Tabla 5 y 6) arrojaron valores bajos con valores menor a 5.1 mg kg^{-1} según la NOM-021-RECNAT-2000 (2002). Los sitios con valores más bajos fueron los aprovechamientos recientes en los dos tratamientos y a las dos diferentes profundidades (010AS22, 1020M22, 010AS22, 1020M22), aunque los valores presentados son numéricamente diferentes sin diferencias significativas, esto puede ser originado por la quimio-adsorción de fosfatos al suelo ya que el pH no presenta un problema para la solubilidad del P.

Cocotle Romero *et al.* (2022) obtuvieron valores de 8.1 mg kg^{-1} para suelos forestales dominados por bosques de oyamel en el centro de México. Tinoco-Varela & Bayuelo-Jiménez (2021) En bosques de pino obtuvieron resultados con valores muy bajos ya que oscilaron entre 0.6 y 0.7 mg kg^{-1} esto debido a una presumible rápida mineralización. Bayuelo Jiménez *et al.* (2019) reportaron un valor de 2.1 mg kg^{-1} para bosques del estado de Michoacán dominados por pino-encino. Aunque las concentraciones de P son bajas la planta solo necesita pequeñas fracciones de este, la cantidad de P en la solución del suelo suele estar en torno a 0.05 mg kg^{-1} (Teresa-Fernández, 2007).

Calcio (Ca)

Las concentraciones de calcio son muy variadas, en profundidad de 0-10 cm el valor más bajo fue 780.5 mg kg⁻¹ para el sitio 010AS10 y el valor más alto se presentó en el sitio 010M99 con 2489.0 mg kg⁻¹ (Tabla 5). En la profundidad 10-20 cm el valor más bajo de 41.5 mg kg⁻¹ fue para el sitio 1020AS99 y el contenido más alto de 1815.5 mg kg⁻¹ fue el más alto para el sitio 1020M22 (Tabla 6) con diferencia significativa.

Según un estudio en bosques de pino-encino las concentraciones de Ca están alrededor de 1200 mg kg⁻¹ (García Gallegos *et al.*, 2023). García-Gallegos & Hernández-Acosta (2024) evaluaron dos sitios en áreas forestales que arrojaron valores que van de 1040 a 2320 y 1220 a 2000 mg kg⁻¹. Además, Rodríguez-Rivera *et al.* (2023) encontraron valores de 1333 mg kg⁻¹ para un sitio de matarrasa en franjas y 2453 mg kg⁻¹ para un sitio de conservación. El Ca es de las bases intercambiables más abundantes en el suelo, los suelos con mayor concentración por lo general son antiguos fondos marinos, el Ca puede encontrarse en variadas proporciones, esto depende en gran medida de la roca madre, incluso en suelos ácidos casi siempre hay cantidades suficientes para la adecuada nutrición de las plantas. Los suelos varían bastante en sus contenidos de Ca, en suelos con texturas gruesas y con climas húmedos se encuentran los valores más bajos, mientras que los valores más altos se encuentran en regiones semiáridas (Ruiz Sch, 1997; Monge *et al.*, 1994; Mendoza *et al.*, 2022). Los valores obtenidos en esta investigación se pueden englobar en rangos que van de muy bajos a medios (NOM-021-RECNAT-2000, 2002).

Magnesio (Mg)

Las concentraciones de Mg en el suelo tuvieron diferencia significativa. Los valores más altos se presentaron en el tratamiento matarrasa. Los contenidos en matarrasa son más del doble que los valores del tratamiento árboles en las dos profundidades de muestreo. Para los sitios de matarrasa los valores van de 300.0 a 659.5 mg kg⁻¹ mientras que para árboles semilleros los

valores están entre 74.5 y 184.0 mg kg⁻¹ (Tabla 5), esto se repite en los muestreos a profundidad de 10-20 cm (Tabla 6), las mayores concentraciones se presentan en los sitios 010M99 y 1020M99 mientras que las menores concentraciones están presentes en los sitios 010AS99 y 1020AS99.

Pincay Sánchez & Vera Carvache (2023) analizaron suelos de bosques caducifolios y encontraron valores de 693 mg kg⁻¹ y para bosque perennes los valores fueron de 912 mg kg⁻¹. 504 mg kg⁻¹ para bosques del centro de México (Cocotle Romero *et al.*, 2022). Rodríguez-Rivera *et al.* (2023) obtuvo valores que van desde 248.4 mg kg⁻¹ para un sitio con matarrasa y 8919.0 mg kg⁻¹ para un sitio con bosque natural. Pérez Cortés (2020) y Rodríguez-Rivera *et al.* (2023) indican que el Mg se está presente en la solución del suelo y se adsorbe en las superficies de las arcillas y la MO. El Mg no se retiene tan fuertemente en los coloides del suelo como el Ca, lo que facilita su pérdida por lixiviación. Las carencias de Mg son comunes en suelos arenosos y ácidos que reciben grandes cantidades de lluvia. Sin embargo, estas deficiencias también pueden ser causadas por el consumo de Mg por la vegetación secundaria (Meaza Rodríguez, 2022).

Hierro (Fe)

Las concentraciones de Fe fueron mayores en el tratamiento arboles semilleros a la profundidad de 0-10 cm con concentraciones que van de siendo de 139.4 a 602.9 mg kg⁻¹, mientras que en el tratamiento matarrasa las mayores concentraciones fueron en la profundidad 10-20 y concentraciones de 84.4 a 330.4 mg kg⁻¹. El contenido de 0-10 cm mostro diferencia significativa. Los niveles de Fe son adecuados para todos los sitios según la NOM-021-Recnat-2000, (2002).

May & Heredia (2020) obtuvieron resultados que señalan que el Fe tiene mayores concentraciones en suelos bajo bosques de pino resultando 229.0 mg kg⁻¹ que, en latifoliadas, pero baja abruptamente a 84.0 mg kg⁻¹ en horizontes inferiores. Pérez Cortés (2020) señala que

bosques naturales presentan valores más altos de Fe que plantaciones forestales, esto se debe a que existe una intervención del hombre y probablemente algunas propiedades químicas inherentes como el pH tuvieron un efecto en la disponibilidad de Fe en el suelo. La disponibilidad del Fe en el suelo es altamente controlada por el pH, disminuye rápidamente cuando el pH está por arriba de 4.0, cantidades muy pequeñas se encuentran en pH por arriba de 6. Suelos con un pH de entre 6.5 a 8.0 el Fe alcanza su mínima concentración. Álvares Álvares *et al.* (2003) indican que suelos arenosos y con baja MO por ende con un pH mayor a 7.0 presentan bajas cantidades de Fe y alto contenido de P.

Manganeso (Mn)

Las concentraciones de Mn son adecuadas según la NOM-021-Recnat-2000 (2002), ya que los valores oscilan entre 9.6 mg kg⁻¹ para el sitio 010AS99 hasta 63.8 mg kg⁻¹ para 010MC (Tabla 5), en los muestreos a profundidad de 10-20 cm los valores se encuentran entre 10.0 mg kg⁻¹ para el sitio 1020AS10 a 44.5 mg kg⁻¹ presente en el sitio 1020MC (Tabla 6). En la mayoría de los sitios evaluados las concentraciones de Mn son mayores a la profundidad de 0-10 cm (Tabla 5) exceptuando 010MC, 010M99 y 010AS99 que en los muestreos a profundidad de 10-20 cm.

Rolón Galeano *et al.* (2022) obtuvieron valores de 57.0 mg kg⁻¹ en bosques de pinos, mientras que May & Heredia (2020) obtuvieron valores de 63.3 mg kg⁻¹ para horizontes superficiales de suelo de bosques dominados por pinos, estos valores concuerdan con los obtenidos en esta investigación en la profundidad 0-10 cm.

El Mn es influenciado principalmente por el pH del suelo siendo mayor su disponibilidad a medida que disminuye el pH llegando inclusive a niveles de toxicidad en suelos con muy alta acidez y con problemas de aireación, el nivel de MO, el contenido de arcilla, la profundidad del suelo y la presencia de otros elementos como el Fe y los sulfatos también influyen en su concentración y disponibilidad, climas secos no favorecen la presencia de Mn pero suelos con

muy altos porcentajes de humedad también limitan la presencia de Mn al menos temporalmente, aunque las deficiencias de este elemento son muy poco comunes ya que es de los elementos más abundantes y de los que los seres vivos requieren en cantidades mínimas (Larios-González *et al.*, 2021).

Sulfatos (SO_4)

La concentración de sulfatos en el tratamiento matarrasa y a la profundidad de 0-10 cm tuvieron un rango de 1.2 mg kg^{-1} para 010MC hasta 2.5 mg kg^{-1} para 010M99 (Tabla 5) y tratamiento de árboles semilleros de 1.8 mg kg^{-1} para 010AS10 hasta 2.3 mg kg^{-1} para 010AS22, para profundidad de 10-20 cm las concentraciones van de 2.0 mg kg^{-1} para 1020M10 hasta 3.3 mg kg^{-1} para 1020M99 (Tabla 6), para arboles semilleros a profundidad de 10-20 cm van desde 1.4 mg kg^{-1} para 1020AS99 a 3.0 mg kg^{-1} para 1020AS22, estos valores no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, sitios, profundidades y años de aprovechamiento. Quilchano & Gallardo (1999) señalan que la cantidad de sulfatos que se adsorbe en el suelo aumenta conforme aumenta la profundidad, aunque esto no se pudo identificar ya que el muestreo de suelo para los dos tratamientos se realizó solo en las capas de 0-10 y 10-20 cm, sin incluir profundidades mayores. En este estudio los resultados no coinciden con lo reportado por estos autores como Guerrero *et al.* (1997) que, para suelos forestales encontraron concentraciones que van de 34.3 mg kg^{-1} para los primeros 15 cm y 34.5 mg kg^{-1} para una profundidad de 15-30 cm.

El azufre en el suelo está en su mayoría como anión sulfato (SO_4^{2-}) unido a un catión (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) para formar compuestos que son abundantes en el suelo, la presencia de sulfatos no es muy frecuente por su facilidad de lavado, puesto que pueden transitar libremente a través de los horizontes del suelo y su solubilidad relativamente alta. Lusk, (1998) observó que los horizontes superficiales de los suelos con alto contenido de materia orgánica y bajo contenido de óxidos de hierro tenían poca capacidad para adsorber sulfato adicional, mientras que los

horizontes subsuperficiales con bajo contenido de materia orgánica y alto contenido de óxidos de hierro podían adsorber sulfato a concentraciones de solución superiores a 0.5 mmol L⁻¹.

Biología del Suelo

Hongos y Bacterias

Los resultados obtenidos para UFC de hongos presentaron diferencia significativa, el tratamiento matarrasa (Tabla 7) tiene mayor valor en hongos que el tratamiento de árboles semilleros. El aprovechamiento matarrasa 1999 mostro los valores más altos de UFC de hongos en ambas profundidades con 91.222×10^3 (tabla 7) para el sitio 010M99 y 78×10^3 para 1020M99 (Tabla 8). Con respecta a UFC de bacterias el tratamiento árboles semilleros presenta el mayor valor con 55.778×10^3 en el sitio 010AS10 y el menor con 16×10^3 del sitio 010MC, esta diferencia representa más de tres veces de individuos con diferencia significativa. Con profundidad de 10-20 cm las UFC de bacterias no mostraron diferencia significativa.

Tabla 7. Unidades Formadoras de Colonias de hongos y bacterias del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 0-10 cm

Sitio	UFC Hongos (g suelo)	UFC Bacterias (g suelo)
010ASC	11.889×10^3 c	44.667×10^3 abc
010MC	24.778×10^3 bc	16.000×10^3 d
010AS99	27.000×10^3 bc	47.555×10^3 ab
010M99	91.222×10^3 a	35.889×10^3 bc
010AS10	29.555×10^3 bc	55.778×10^3 a
010M10	45.555×10^3 b	28.111×10^3 cd
010AS22	27.000×10^3 bc	59.333×10^3 a
010M22	29.111×10^3 bc	48.333×10^3 ab
C.V. (%)	27.668	14.261

010ASC= arboles semilleros conservación, 010MC= matarrasa conservación, 010AS99= árboles semilleros aprovechamiento 1999, 010M99= matarrasa aprovechamiento 1999, 010AS10= árboles semilleros aprovechamiento 2010, 010M10= matarrasa aprovechamiento 2010, 010AS22= árboles semilleros aprovechamiento 2022, 010M22= matarrasa aprovechamiento 2022. C.V.= Coeficiente de variación.

Los valores obtenidos en esta investigación se alejan demasiado de los reportados por otros autores como García Gallegos *et al.* (2023) que obtuvo 1820×10^3 UFC para bacterias en suelos forestales. Murillo-Cuevas *et al.* (2019) obtuvieron 1.2333×10^4 para suelos con vegetación nativa del Edo. de Veracruz. 217×10^3 para suelos de bosques sin perturbar (Sánchez Benito, 2019).

Diferentes autores señalan que el porcentaje de humedad más alto favorece la actividad de los microorganismos en el suelo. En los recuentos de microorganismos se puede apreciar una tendencia en el aumento de UFC conforme se incrementa la humedad en el suelo, la presencia de hongos y bacterias está relacionada directamente con la formación del humus, la mineralización de la MO y la estructura del suelo, otros factores muy importantes son el pH, la aireación, el cambio de temperatura, el lugar en el perfil del suelo, la época del año y tipo de vegetación ya sea nativa o indicada.

Sánchez-Yáñez *et al.* (2007) observaron que para un suelo con un porcentaje de humedad de 8.9 % los resultados de UFC de hongos fueron de 99×10^3 pero el mismo suelo con un porcentaje de 27.1 % de humedad la cantidad de UFC casi se duplica resultando 173×10^3 esto es similar con los datos presentados por Murillo-Cuevas *et al.* (2019) donde las UFC de hongos y bacterias aumentan significativamente en suelos húmedos por temporada de lluvias. Estos datos podrían responder porque en esta investigación la cuantificación de UFC de hongos y bacterias fueron bajas, la MO es uno de los factores más importantes en la proliferación de hongos y bacterias cuando es rica en C favorece la multiplicación de UFC de hongos, sin embargo, cuando esta MO tiene poca degradación se observa mayor actividad bacteriana, las bacterias tienen ventaja de poder proliferar a temperaturas de hasta 50°C , con lo que respecta al pH los hongos son más tolerantes a la acidez del suelo que las bacterias, sin embargo, esta relación no ha sido del todo concluyente, pues tanto bacterias como hongos se adaptan tanto a pH ácidos como alcalinos. Con lo que respecta a la humedad del suelo, por lo general los hongos

se ven favorecidos por condiciones de humedad, mientras las bacterias son menos afectadas por condiciones de sequía ya que estos organismos habitan los espacios porosos del suelo y esto a su vez las hace más tolerantes a la desecación (Martínez & Ortega, 2023).

Tabla 8. Unidades Formadoras de Colonias de hongos y bacterias del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas árboles semilleros (AS) y matarrasa (M) a profundidad de 10-20 cm

Sitios	UFC Hongos (g suelo)	UFC Bacterias (g suelo)
1020ASC	10.778x10 ³ d	35.110x10 ³ a
1020MC	36.333x10 ³ c	55.670x10 ³ a
1020AS99	34.000x10 ³ c	40.780x10 ³ a
1020M99	78.000x10 ³ a	58.000x10 ³ a
1020AS10	30.889x10 ³ c	30.110x10 ³ a
1020M10	54.333x10 ³ b	37.000x10 ³ a
1020AS22	21.778x10 ³ cd	47.780x10 ³ a
1020M22	33.333x10 ³ c	43.330x10 ³ a
C.V. (%)	16.411	39.902

1020ASC= arboles semilleros conservación, 1020MC= matarrasa conservación, 1020AS99= árboles semilleros aprovechamiento 1999, 1020M99= matarrasa aprovechamiento 1999, 1020AS10= árboles semilleros aprovechamiento 2010, 1020M10= matarrasa aprovechamiento 2010, 1020AS22= árboles semilleros aprovechamiento 2022, 1020M22= matarrasa aprovechamiento 2022. C.V.= Coeficiente de variación.

Macrofauna

La macrofauna en los sitios evaluados fue diversa (Tabla 9), para el sitio ASC el mayor porcentaje de individuos fue para el Orden *Orthoptera*, para el sitio MC, *Aranaea* fue el que tuvo mayor porcentaje de individuos, para los sitios M99, M10 y M22 *Hymenoptera*, los sitios AS10 y AS22 presentaron al Orden *Hemiptera* con el de mayor porcentaje, AS99 domino el Orden *Coleoptera* en su estadio adulto. Al respecto, Hernández Hernández (2018) reportó que para áreas de conservación y zonas de aprovechamiento no hubo diferencias de individuos ni especies, factores como las bajas temperaturas, la lenta descomposición de la MO y la textura

arcillosa favorecen la proliferación de macrofauna como Coleópteros en estado larval, pH ácidos y alto contenido de fósforo incrementa la supervivencia de lombrices e Isópodos.

El índice de Shannon (Tabla 9) indica que aunque la diversidad es baja en todos los sitios, las condiciones de aprovechamiento de los sitios 1999 en ambos tratamientos favorecen la proliferación de la macrofauna edáfica ya que tiene mayor humedad y cobertura de hojarasca, esto no concuerda con lo reportado por García & Chamorro (1990) ya que señalan que en bosques de pino con aprovechamiento forestal donde las temperaturas bajas se mantienen todo el año, la descomposición por los microorganismos se vuelve más lenta y la cantidad y variedad de los animales en el suelo disminuye.

Machado-Cuellar *et al.* (2021) encontraron que los cambios en la cantidad de macrofauna del suelo están principalmente ligados al clima, debido a las grandes diferencias encontradas en la temperatura del aire y la humedad en los diferentes niveles de altura. También, los índices que relacionan la macrofauna con las características del suelo y el clima confirmaron que depende de factores ambientales y puede influir en el reciclaje de nutrientes. La cobertura o los residuos en la superficie del suelo juegan un papel importante, ya que protegen el suelo de la erosión causada por la lluvia; disminuye la variación térmica y la evaporación, lo que favorece la humedad del suelo y además suministra alimento y refugio para un adecuado crecimiento, desarrollo y supervivencia de los organismos del suelo.

La macrofauna edáfica responde a la vegetación y al manejo, aunque por otra parte se señala su dependencia al tipo de suelo y el clima a nivel local, la heterogeneidad del hábitat, las condiciones edáficas, la acumulación y calidad de la hojarasca como fuente de materia orgánica, constituyen los factores más importantes; fundamentalmente para organismos detritívoros que pasan su vida en la hojarasca y primeros centímetros del suelo (Cabrera Dávila *et al.*, 2022). La disminución de la cobertura reducirá drásticamente la disponibilidad de alimento y condiciona determinados factores edáficos como la temperatura, la humedad y el estatus nutricional, que

adquieren importancia en el desarrollo de la macrofauna. La presencia o ausencia de macrofauna del suelo es un indicador del grado de perturbación y recuperación del suelo forestal, la mayoría de estos organismos tienen ciclos biológicos largos, se mueven libremente, pueden excavar el suelo y crear poros. Sus actividades físicas, como mezclar el mantillo con el suelo, hacer túneles y estructuras, y la formación de agregados en el suelo junto con sus procesos metabólicos como usar fuentes orgánicas, formar relaciones de ayuda o competencia, afectan muchos procesos del suelo. Entre ellos, ayudan a descomponer la MO y a hacer más disponibles los nutrientes en la rizosfera, además de cambiar la estructura del suelo al crear macroporos y agregados; lo que afecta de forma positiva la tasa de infiltración y de aeración, estos procesos mejoran algunas propiedades del suelo promoviendo el crecimiento de las plantas, mejorando la distribución del agua en el perfil y disminuyendo la contaminación ambiental (Zerbino & Altier, 2006; Cabrera Dávila & López Iborra, 2018).

Tabla 9. Cuantificación de macrofauna del suelo forestal con dos tratamientos silvícolas, árboles semilleros (AS) y matarrasa (M)

Sitio	Numero de invertebrados	Orden	%	Índice de Shannon
ASC	5	<i>Orthoptera</i>	35.714	1.334
	3	<i>Araneae</i>	21.429	
	2	<i>Coleoptera</i>	14.286	
	4	<i>Geophilomorpha</i>	28.571	
MC	7	<i>Araneae</i>	38.889	1.426
	3	<i>Orthoptera</i>	16.667	
	1	<i>Lepidoptera</i>	5.556	
	5	<i>Coleoptera</i>	27.778	
	2	<i>Diptera</i>	11.111	
AS99	9	<i>Hymenoptera</i>	19.565	1.253
	2	<i>Desconocidos</i>	4.348	
	4	<i>Orthoptera</i>	8.696	
	27	<i>Coleoptera</i>	58.696	
	2	<i>Dermaptera</i>	4.348	
	2	<i>Araneae</i>	4.348	
M99	7	<i>Araneae</i>	17.949	1.518
	3	<i>Diptera</i>	7.692	
	7	<i>Coleoptera</i>	17.949	
	9	<i>Hemiptera</i>	23.077	
	13	<i>Hymenoptera</i>	33.333	
AS10	4	<i>Araneae</i>	17.391	1.006
	7	<i>Diptera</i>	30.435	
	12	<i>Hemiptera</i>	52.174	
M10	20	<i>Hymenoptera</i>	68.966	1.024
	5	<i>Orthoptera</i>	17.241	
	1	<i>Coleoptera</i>	3.448	
	1	<i>Diptera</i>	3.448	
	1	<i>Desconocido</i>	3.448	
	1	<i>Dermaptera</i>	3.448	
AS22	4	<i>Diptera</i>	15.385	0.984
	7	<i>Araneae</i>	30.769	
	12	<i>Hemiptera</i>	53.846	
M22	9	<i>Hymenoptera</i>	75.000	0.562
	3	<i>Araneae</i>	25.000	

ASC= árboles semilleros conservación, MC= matarrasa conservación, AS99= árboles semilleros aprovechamiento 1999, M99= matarrasa aprovechamiento 1999, AS10= árboles semilleros aprovechamiento 2010, M10= matarrasa aprovechamiento 2010, AS22= árboles semilleros aprovechamiento 2022, M22= matarrasa aprovechamiento 2022.

CONCLUSIONES

Tanto en el tratamiento silvícola matarrasa como en árboles semilleros la densidad aparente del suelo se incrementó al realizar los aprovechamientos, sin embargo, con el paso del tiempo después de haber sido aprovechados tienden a regresar a valores similares a los sitios de conservación. Los porcentajes de MO siempre fueron mayores en el tratamiento de árboles semilleros, destacando el aprovechamiento 1999, por consecuencia el pH fue más ácido comparado con el tratamiento silvícola matarrasa. El contenido nutrimental de Ca, Mg, Fe y Mn mostro diferencias significativas, Ca Mg y Mn fueron superiores en el tratamiento matarrasa aprovechamiento 1999, mientras que el Fe fue mayor en aprovechamiento 1999 del tratamiento árboles semillero, con mayor disponibilidad debido a la acidez del suelo.

La cuantificación de UFC de hongos en los tratamientos silvícolas evaluados mostro que el tratamiento matarrasa aprovechamiento 1999 tuvo la mayor población. Las UFC de bacterias fueron mayores en el tratamiento árboles semilleros aprovechamiento 2022. Con lo que respecta a macrofauna la población se vio favorecida en el tratamiento matarrasa y aprovechamiento 1999. Las poblaciones de hongos, bacterias y macrofauna se redujeron debido a las sequias que el país atravesó al momento de realizar esta investigación.

Los resultados de esta investigación arrojaron que a pesar de que hay un impacto en las características del suelo, ninguno de los dos tratamientos silvícolas perturbo considerablemente al suelo, pero se observa que el aprovechamiento 1999 en ambos tratamientos silvícolas fue el que presento los mayores valores; esto quiere decir que con el paso del tiempo después de aprovechar el recurso forestal maderable varios factores tienden a mejorar sus valores y con ellos la fertilidad del suelo.

REFERENCIAS

- Acevedo-Sandoval, O., Valera-Pérez, M. A., & Prieto-García, F. (2010). Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlán, Hidalgo, México. *Universidad y Ciencia*, 26(2), 137-138. <https://ri.ujat.mx/handle/20.500.12107/1254>
- Aguilera S., S. M. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. (14). <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121065>
- Álvares Álvares, J. M., Novillo Carmona, J., & Rico Selas, M. I. (2003). Los micronutrientes un factor importante en muchos cultivos. *Revista agropecuaria*, (854), 612-618. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Agri/Agri_2003_854_612_618.pdf
- Arias Jiménez, A. C. (2001). *Suelos Tropicales*. Euned. <https://editorial.uned.ac.cr/gpd-suelos-tropicales-9789968310925.html>
- Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, M., & Etchevers-Barra, J. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5), 607-607 Retrieved 04 15, 2024, from <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/214/214>
- Balbuena, R. H., Terminiello, A. M., Claverie, J. A., Casado, J. P., & Marlats, R. (2000). Compactación del suelo durante la cosecha forestal: evolución de las propiedades físicas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(3), 453-459. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000300023>
- Barrientos Ramos, L. A., & Rojas Cabrera, D. E. (2020). Efectos del Compost de residuos orgánicos vacunos en suelos franco-arenosos de la Asociación Vivienda La Bloquetera - Villa María del Triunfo [Tesis de Licenciatura, Universidad Peruana Unión. Repositorio institucional].

<https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ccd24ca3-66b6-49f0-94df-d7dd9332960c/content>

Bayuelo Jiménez, J. S., Ochoa, I., de la Cruz Torres, E., & Muraoka, T. (2019). Efecto del uso del suelo en las formas y disponibilidad de fósforo de un Andisol de la Meseta P'urhépecha, Michoacán. *Terra Latinoamericana*, 37, 35-44. <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.367>

Beltrán Pérez, C. (2012). *Un Problema de gestión forestal con requerimientos de adyacencia en unidades territoriales [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]*. Repositoria institucional. <http://eprints.uanl.mx/2588/1/1080227419.pdf>

Blum, H.E.W., Warkentin, P.B., & Frossard, E. (2006). Soil, human society and the environment *Geological Society*. (Vol. 266). Special publication. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.2006.266.01.01>

Bouyoucos, G. J. (1936). Directions for Making Mechanical Analysis of Soils by the Hydrometer Method. *Soil Science*, (42) 225-230. <https://doi.org/10.1097/00010694-193609000-00007>

Bravo, C., Torres, B., Alemán, R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., Tuniesky Gutiérrez, E., & Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 37(2), 247-264. <https://doi.org/10.5209/AGUC.57725>

Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). *Methods Of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Methods*. American Society Of Agronomy Madison Wisconsin USA. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31>

Burga-Díaz, N. (2022). Influencia de la cobertura vegetal en las propiedades físicas, químicas y contenido de materia orgánica del suelo del bosque montano La Palma, Chota, 2022.

[Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Repositorio digital.
<http://hdl.handle.net/20.500.14142/388>

Cabrera Dávila, G. d. I. C. (2019). Evaluación de la macrofauna como bioindicador del impacto de uso y calidad del suelo en el occidente de Cuca [Tesis de doctorado, Universidad de Alicante]. Repositorio institucional.
https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88889/1/tesis_grisel_de_la_caridad.pdf

Cabrera Dávila, G. d. I. C., & López Iborra, G. M. (2018). Caracterización ecológica de la macrofauna edáfica en dos sitios de bosque siempreverde en El Salón, Sierra del Rosario, Cuba. *Bosque*, 39(3), 363-373. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002018000300363>

Cabrera Dávila, G. d. I. C., Sánchez Rendón, J. A., & Ponce de León Lima, D. (2022). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana*, 221, 1-21. <https://cu-id.com/2402/v221e01>

Carrasco-Ortiz, M., Munguía-Lino, G., Castro-Castro, A., Vargas-Amado, G., Harker, M., & Rodríguez, A. (2019). Riqueza, distribución geográfica y estado de conservación del género *Dahlia* (Asteraceae) en México. *Acta Botánica Mexicana*, (126), 1-24. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1354>

Chapin Patiño, J. L. (2020). Análisis geoestadístico y multivariado de propiedades químicas de un suelo en cultivo de banano, finca Marquez, La Peaña, cantón pasaje [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio institucional.
<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15533/1/TTUACA-2020-IA-DE00003.pdf>

Chávez-Aguilar, G., Burrola-Aguilar, C., González-Morales, A., & Pérez-Suárez, M. (2020). Almacén de carbono orgánico del suelo y abundancia ectomicorrízica bajo dos especies de coníferas en el Nevado de Toluca, México. *Agroproductiva*, 13(1), 75-82. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi0.1621>

Cocotle Romero, L., Ramírez Salazar, M., & Hernández Castellanos, B. (2022). Impacto en la calidad del suelo mediada por el cambio de uso en el Cofre de Perote, México. *Revista de la Alta Tecnología y Sociedad*, 14(1), 1-8. <https://www.academiajournals.com/revista-alta-tec-y-sociedad>

CONABIO. (2021). Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manejo>

CONAFOR. (2014). Protección, restauración y conservación de suelos forestales. https://www.conafor.gob.mx/apoyos/docs/externos/2024/Manual_de_restauracion_forestal_ersion_digital.pdf

Contreras, F., Cordero, W., & Fredericksen, T. S. F. (2001). Evaluación del Aprovechamiento Forestal. BOLFOR. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v3n10/v3n10a5.pdf>

Cotler, H. (2020). Manual para evaluar la erosión de los suelos en zonas forestales. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, México. https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/Manual_de_Suelos_v1.5_dobles_opt.pdf

Diario Oficial de la Federación. (2003). Ley General de Desarrollo forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS.pdf>

Docampo, R. (2018). LA IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO Y SU MANEJO EN PRODUCCIÓN FRUTÍCOLA. *Serie Actividades de Difusión*, (687), 81-89. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11480/1/sad-687-p.81-88.pdf>

Erazo Chinchay, J. K. (2019). Influencia de la pendiente y textura del suelo en el stock de carbono en coberturas boscosas, distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas [Tesis de

licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio institucional.
<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2140>

FAO. (2015). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Sistema Universal de Clasificación de Suelos. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/es/>

Gandoy Bernasconi, W. (1991). Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos: temporal y riego, parcela y cuenca. Universidad Autónoma Chapingo.
<https://doi.org/10.28940/terra.v35i1.241>

García-Gallegos, E., & Hernández-Acosta, E. (2024). Indicadores de calidad para suelos forestales dentro de un Área Natural Protegida. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(85), 29-47. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i85.1467>

García Gallegos, E., Vázquez Cuecuecha, O. G., Guerra-De la Cruz, V. G.-D. I. C., & Cicoletzi Pérez, F. J. (2023). Evaluación del efecto de obras de conservación en suelos forestales de Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(78), 35-57. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i78.1385>

García-García, S. A., Rascón-Solano, J., Pérez-Álvarez, S., Alanís-Rodríguez, A.-R., & Hernández-Salas, J. (2024). Factores que originan la distribución espacial de las coníferas. *Revista Forestal Mesoamericana*, 21(49), 9-22. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v21i49.7250>

Gobierno de México. (2018). Sistema Nacional de Información Forestal. Sistema Nacional de Información Forestal: SNIF. <https://snif.cnf.gob.mx/>

Gómez y Gómez, B., & Jones, R. W. (2002). Manual de métodos de colecta, preservación y conservación de insectos. Colegio de la Frontera Sur.
<https://independent.academia.edu/Jes%C3%BAsRRiveraG>

González González, M. F., Castelan Vega, R. d. C., Tamaríz Flores, V., Cruz Montalvo, A., & Pacheco Rios, A. (7 y 8 de noviembre del 2019). Propiedades fisicoquímicas del suelo bajo diferentes condiciones de manejo forestal en los bienes comunales San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan. IX Simposio de Investigación del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. https://www.academia.edu/42561623/MEMORIA_IZTA

Grand, A., & Michel, V. (2020). Materia orgánica del suelo. Best4Soil. <https://www.best4soil.eu/factsheets>

Guerrero, C., Gómez, I., Jorge Mataix, Díaz-Crespo, C., & Moral, R. (1997). Aplicación de un compost de residuos sólidos urbanos a un suelo forestal quemado: evaluación de la conductividad eléctrica, sulfatos y cloruros. *Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*, 3(1), 109-115. <http://edafologia.ugr.es/revista/tomo3b/indice.htm>

Hernández, A., Ascanio, M. O., Morales, M., Bojórquez, J. I., García, N. E., & García, J. D. (2008). El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo. (1st ed.). Universidad Autónoma de Nayarit.

Hernández Hernández, U. (2018). Macrofauna edáfica asociada a un bosque de pino con aprovechamiento forestal en Eloxochitlán, Zacatlán, Puebla [Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio institucional. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/521ce1be-40b4-46ba-8100-6a6092a8ccd4/content>

Hernández Hernández, U. (2018). Macrofauna edáfica asociada a un bosque de pino con aprovechamiento forestal en Eloxochitlán, Zacatlán, Puebla. [Tesis de licenciatura, Benemérito Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio institucional.

<https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/521ce1be-40b4-46ba-8100-6a6092a8ccd4/content>

INEGI. (2000). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/hgo/default.aspx?tema=me&e=13>

Juárez Soto, Y. (2020). Propiedades del suelo y mesofauna edáficas en áreas de rehabilitación de la cuenca del Rio Chapingo [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. Repositorio institucional. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4994>

Karyanto, A., Rahmadi, C., Franklin, E., Susilo, F. X., & de Moraes, J. W. (2012). Soil Collembola, Acari and other mesofauna—the Berlese method. In A handbook of tropical soil biology. Routledge.

Larios-González, R. C., García Centeno, L., Jerónimo Ríos, M., Avalos Espinoza, C. d. S., & Castro Salazar, C. S. (2021). Pérdidas de nitrógeno por volatilización a partir de dos fuentes nitrogenadas y dos métodos de aplicación. SIEMBRA, 8(2), 2-11. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2475>

Lilienfein, J., Wilcke, W., Ayarza, M., & Vilela, L. (2000). Soil Acidification in Pinus caribaea Forests on Brazilian Savanna Oxisols. Forest Ecology and Management, 128(3), 145-157. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00143-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00143-7)

Luna Bautista, L. (2014). Aprovechamiento forestal y su impacto en la vegetación y propiedades físicas del suelo en Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. <http://hdl.handle.net/10521/2327>

Lusk, M. G. (1998). *Sulfate Dynamics and Base Cation Release in a High Elevation Appalachian Forest Soil*. [Master of Science, Virginia Polytechnic Institute and State University]. <http://hdl.handle.net/10919/36692>

Machado-Cuellar, L., Rodríguez-Suárez, L., Murcia-Torrejano, V., Orduz-Tovar, S. A., Ordoñez-Espinosa, C. M., & Suárez, J. C. (2021). Macrofauna del suelo y condiciones edafoclimáticas en un gradiente altitudinal de zonas cafeteras, Huila, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 102-112. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.42955>

Martínez, M. M., & Ortega, R. (2023, March 29). Una relación con mucho por decir. *Mundoagro*. <https://mundoagro.cl/una-relacion-con-mucho-por-decir/>

May, T., & Heredia, M. (2020). Concentración y acumulación diferencial de macro y micronutrientes en suelos bajo pinares y bosques de árboles latifoliados en la ladera norte de la Cordillera Central Dominicana. *Moscoso*, (20), 162-176. <https://bvearmb.do/handle/123456789/2640>

Maycotte Morales, C. C., Velázquez Martínez, A., Vargas Hernández, J. J., Trinidad Santos, A., Musálem Santiago, M. Á., & Vera Castillo, G. (2002). Radiación fotosintéticamente activa y propiedades físico-químicas en suelos forestales con y sin incendio. *Madera y Bosque*, 8(2), 39-55. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61780204>

Meaza Rodríguez, G. (2022). *El bosque integral* (J. L. Benito Alonso, Ed.; Primera edición ed.). Jolube Consultor Botánico y Editor. <https://www.jolube.net/shop/etnobotanica/el-bosque-integral/>

Mendoza, L. G., Vera, V., Girel, J. M., & Simbaña, K. (2022). Características físicoquímicas del suelo de uso agrícola y forestal. Caso: San Pablo de Tarugo, Chone - Ecuador. *Ciencia Natural Ambiental*, 15(2), 334-341. <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/cna/article/view/1492/3634>

Meza Pérez, E., & Geissert Kientz, D. (2003). ESTRUCTURA, AGREGACIÓN Y POROSIDAD EN SUELOS FORESTALES Y CULTIVADOS DE ORIGEN VOLCÁNICO DEL

COFRE DE PEROTE, VERACRUZ, MÉXICO. *Foresta Veracruzana*, 5(2), 57-60.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49750209>

Monge, E., Val, J., Sanz, M., Blanco, A., & Montañes, L. (1994). El calcio nutriente para las plantas. Bitter pit en manzano. *An. Estac. Exp. Aula De*, 21(3), 189-201.
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/4021/1/analesv.21n.3-1995-Especial50.pdf#page=80>

Morocho, M. T., & Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-101.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200093

Munsell, A. H. (2000). *Munsell soil color charts*. Gretagmacbeth.
<https://soils.uga.edu/files/2016/08/Munsell.pdf>

Murga-Orrillo, H., Coronado Jorge, M. F., Abanto-Rodríguez, C., & De Almeida Lobo, F. (2021). Gradiente altitudinal y su influencia en las características edafoclimáticas de los bosques tropicales. *Madera y Bosque*, 27(3), 1-13. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732271>

Murillo-Cuevas, F. D., Adame-García, J., Cabrera-Mireles, H., & Fernández-Viveros, J. A. (2019). Fauna y microflora edáfica asociada a diferentes usos de suelo. *Ecosistema y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 23-33. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1792>

Musálem, M. Á. (2006). *Silvicultura de plantaciones forestales comerciales* (1st ed.). Universidad Autónoma Chapingo.
https://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/silvicultura_plantaciones_forestales_comerciales_2006.pdf

Navarro García, G. (2023). Fertilizantes. Química y acción. 2ª edición. MundiPrensa.
<https://www.mundiprensa.mx/catalogo/9788484767633/fertilizantes--quimica-y-accion---2%C2%AA-edicion>

Noellemeyer, E., Lucila Álvarez, L., Leizica, E., & Gómez, F. (2021). Guía para la evaluación visual de la calidad del suelo. Cátedra de Edafología y Manejo de Suelos, Universidad Nacional de La Pampa. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/10338>

Núñez Peñaloza, J. L. (2019). Estado de la fertilidad del suelo en tres sistemas de producción: forestal, agrícola y pastizal [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio institucional. <http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/412>

Núñez-Ravelo, F., Ugas-Pérez, M., Calderón-Castellanos, R., & Rivas-Meriño, F. (2021). Cuantificación del carbono y materia orgánicos en suelos no rizosféricos o cubiertos por *Avicennia germinans* (L.) y *Conocarpus erectus* (L.) emplazados en Boca de Uchire, laguna de Unare, Estado de Anzoátegui, Venezuela. *Revista Geográfica de América Central*, 1(66), 340-366. <https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.13>

Orozco Vílchez, L., & Quirós, D. (Eds.). (2006). Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales. CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/444>

Osman, K. T. (2015). *Soils: Principles, Properties and Management*. Springer Netherlands. https://www.researchgate.net/publication/281739513_Soils_Principles_Properties_and_Management

Palma López, D. J., Sánchez Hernández, R. (2023). Uso y manejo del suelo. Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo., 3, 311. https://www.smcsmx.org/files/2023/LIBRO_3_2023.pdf

Pavón, N. P., Moreno, C. E., & Ramírez-Bautista, A. (2012). Biomasa de raíces en un bosque templado con y sin manejo forestal en Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3), 303-312. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.07.052>

Peláez-Mora, R., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., & Villanueva-Díaz, J. (2022). Estructura forestal y análisis de suelos en un programa de pago por servicios ambientales en la cuenca del río Nazas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 30(87), 13-14. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2022873741>

Pérez Cortés, F. (2020). Muestreo y determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con bosque natural y plantaciones comerciales [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/631b090f-7f78-4a35-bd91-b4b2591f5368>

Pérez-Hernández, J. F., Razo-Zárate, R., Rodrigo Rodríguez-Laguna, R., Capulín-Grande, J., Árcega-Santillán, I., & Manzur-Chávez, N. (2023). Efecto del manejo forestal en las características físico-hidrológicas del suelo en un bosque de clima templado. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(80), 55-79. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i80.1388>

Pérez Olvera, C. d. I. P., Dávalos Sotelo, R., & Guerrero Cuacuil, E. G. C. (2016, 6 5). Aprovechamiento de la madera de encino en México. *Madera y Bosque*, 6(1), 4. <https://doi.org/10.21829/myb.2000.611338>

Pincay Sánchez, L. M., & Vera Carvache, M. B. (2023). Características del suelo con aptitud forestal en el Recinto Santa Rosa del Cantón Jipijapa [Proyecto de investigación, UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANAB]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/5316>

Porta, J., López-Acevedo Reguerin, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología: Para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/251>

Pritchett, W. L. (1990). Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento (J. Hurtado Vega, Trans.). Limusa.
https://books.google.com.ec/books/about/Suelos_forestales.html?id=cxdpPQAACAAJ

Project Learning Tree. (2015). *Pre K-8 Environmental Education Activity Guide* (4th ed.). Project Learning Tree. <https://es.scribd.com/document/720402469/PLTPreK-8-Actividad-93-Pagina-del-estudiante-La-Historia-de-hacer-Papel>

Rodriguez-Martínez, N., Sánchez-Herrera, S. G., & Martínez-Montoya, C. J. (2017). Caracterización Físico - Química de Suelos Agrícolas del Municipio de Francisco I Madero, Hidalgo. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 4(11), 1-9.
https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias/vol4num11/Revista_de_Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias_V4_N11_1.pdf

Rodríguez-Rivera, V., Zaragosa-López, K., Clark-Tapia, R., & Ramírez Santiago, R. (2023). Efecto del manejo forestal en las propiedades fisicoquímicas del suelo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosque*, 29(1), 1-14.
<https://doi.org/10.21829/myb.2023.2912476>

Rolón Galeano, M. P., Ortiz Grabski, C. E., Rolón Paredes, G. A., Leguizamón Rojas, C. A., Fatecha Fois, D. A., & Rasce Alvarez, J. W. (2022). Disponibilidad de manganeso en suelos de la región oriental del Paraguay. *Revista de investigación científica y tecnológica*, 6(1), 58-69.
[https://doi.org/10.36003/Rev.investig.cient.tecnol.V6N1\(2022\)5](https://doi.org/10.36003/Rev.investig.cient.tecnol.V6N1(2022)5)

Romero-Barrios, C., García-Gallegos, E., & Hernández-Acosta, E. (2015). Materia orgánica y densidad aparente en suelos del suroeste de La Malinche, Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(5), 64-70.
<http://www.reibci.org/publicados/2015/septiembre/1200108.pdf>

Rubio Gutiérrez, A. M. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque nacional Los Alcornosques [Tesis de licenciatura, Universidad de Sevilla. Repositorio institucional. <https://digital.csic.es/handle/10261/57951>

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Facultad de agronomía. <https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>

Ruiz Sch, R. (1997). Calcio: disponibilidad en el suelo y su absorción por la planta. In Symposium Internacional. en línea. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/39160>

Saavedra-Romero, L. d. L., Alvarado-Rosales, D., Hernández-Trinidad, T., & Hernández-de la Rosa, P. (2020). Propiedades físicas y químicas del suelo urbano del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México. Tierra Latinoamericana, 38(3), 529-540. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.644>

Salavarría Jiménez, K. R. (2023). Influencia de la microbiota del suelo en la producción bananera de la provincia de Los Ríos [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio institucional. <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/14888>

Sánchez, S., Crespo, G., Hernández, M., & García, Y. (2008). Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. Pastos y Forrajes, 31(2), 99-117. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269119699001>.

Sánchez Benito, C. (2019). Variación de la población de microorganismos en suelos que han sufrido un incendio forestal. Grao en biología. <http://hdl.handle.net/2183/23623>

Sánchez-Yáñez, J. M., Márquez-Benavidez, L., Leal Lozano, L., & Fernández Pavia, S. (2007). Los hongos fundamentales en la productividad del suelo. www.monografias.com.

https://www.researchgate.net/publication/339438629_Los_hongos_fundamentales_en_la_produccion_del_suelo

Scaglione, J. (2023). Efecto de los cultivos de cobertura sobre propiedades y macrofauna del suelo en secuencias cortas de cultivos agrícolas [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Rosario]. Repositorio institucional. <https://rehip.unr.edu.ar/server/api/core/bitstreams/ecafb917-0cc4-42ab-a1f0-5bdf9553af1a/content>

Schlatter, V. J., Gerding, V., & Grez Zanelli, R. (1981). Manual para el reconocimiento de suelos. Pautas e indicaciones para el reconocimiento de suelos y su evaluación en terreno (2nd ed.). Valdivia. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/253>

Schulte, R., Creamer, R. E., Donnellan, T., Farrelly, N., Fealy, R., O'Donoghue, C., & O'hUallachain, D. (2014). Functional land management: A framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. : Environmental Science and Policy, 38, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.10.002>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap3.html>

SEGOB-DOF. (2002). NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>

Sela, G. (2021, March 19). El pH y la acidez del suelo. Croipaia. <https://croipaia.com/es/blog/el-ph-del-suelo/>

Somarriba, E. (1999). Diversidad Shannon. *Agroforestería en las Américas*, 6(23), 72-74.

Smith, D. M. (1997). *The Practice of Silviculture: Applied Forest Ecology*. (9th ed.). Wiley.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19980608088>

Teresa-Fernández, M. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, 42(2).
<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>

Thiers, O., Reyes, J., Gerding, V., & Schlatter, J. E. (2014). Suelos en ecosistemas forestales. In Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile. In Donoso C, ME González, A Lara.
https://www.researchgate.net/publication/277131964_SUELOS_EN_ECOSISTEMAS_FORESTALES

Tinoco-Varela, D., & Bayuelo-Jiménez, J. S. (2021). Formas y distribución de fósforo en un Andisol con sistemas contrastantes de uso del suelo del centro de México. Terra Latinoamericana, 39, 1-11. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.881>

Toroco, R., Seija, V., & Vignoli, R. (2006). Métodos de estudio de la sensibilidad antibiótica. Temas de Bacteriología y Virología Medica, 36(1), 665-668.
<http://164.73.172.2:8080/bacvir/materiales/cefa/2008/BacteCEFA36.pdf>

Torres-Duque, F., Gómez-Guerrero, A., Trejo-Téllez, L. I., Reyes-Hernández, V. J., & Correa-Díaz, A. (2022). Pulsos de nitrógeno inorgánico en el suelo y reabsorción foliar de nitrógeno en dos bosques de *Pinus hartwegii* Lindl. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambie, 18(2), 258-268. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2021.02.010>

USDA (2022). Soil Quality Physical Indicator Information Sheet Series. en: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil%20Electrical%20Conductivity.pdf>.

Vásquez Acuña, D. (2019). Características físicas y químicas de un suelo con especies forestales y su relación con los microorganismos [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1f299028-f806-4709-8f31-53db81fcbbca/content>

Vera-Sosa, J. M. (2024). Efectos de la cobertura forestal en el control de erosión hídrica. Estudio de caso Subcuenca del Arroyo Pirapyta, Región Oriental de Paraguay [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. repositorio institucional. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12675>

Villalobos-Barquero, V., & Meza-Montoya, A. (2019). Impacto en la densidad aparente del suelo provocado por el tránsito de búfalos (*Bubalus bubalis*) en arrastre de madera. Ciencias Ambientales, 53(2), 147-155. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.53-2.8>

Walkley, A. J., & Black, I. A. (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. Soil Sci.

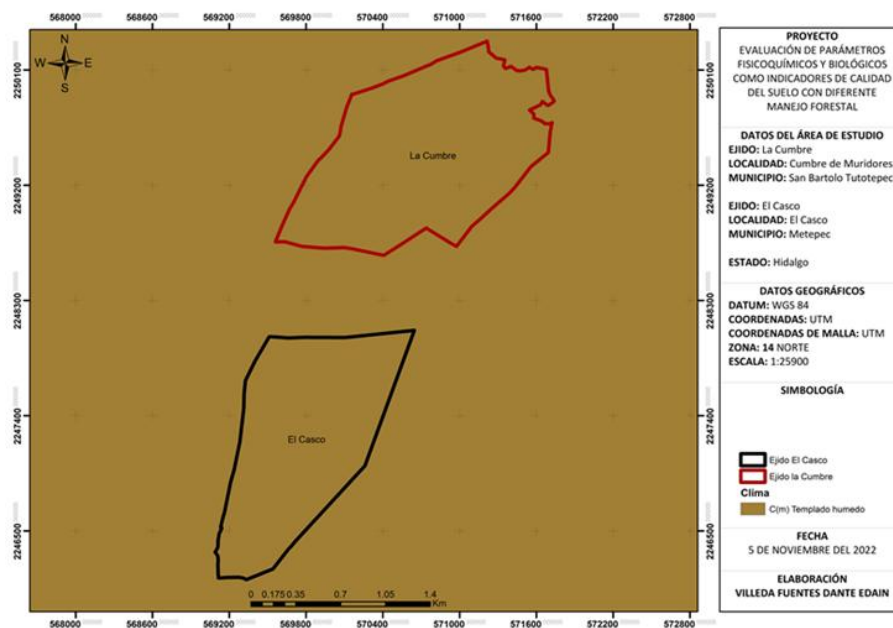
Weil, R. R., & Brady, N. C. (2016). The Nature and Properties of Soils. Pearson. https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition

Yáñez Díaz, M. I., Cantú Silva, I., & Garza Ocañas, F. (2023). Efecto en las propiedades fisicoquímicas de un Regosol con cambios de uso de suelo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 14(79), 59-79. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1359>

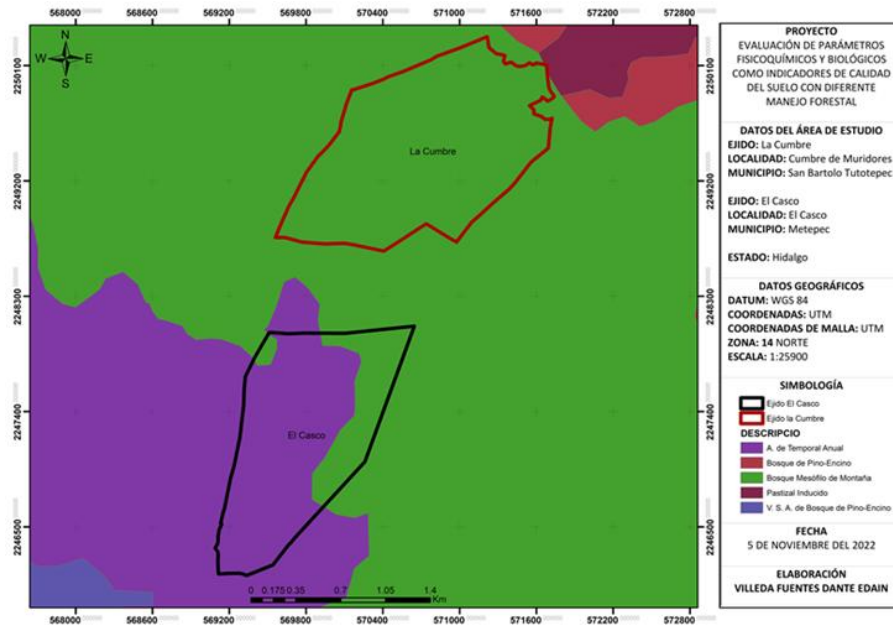
Zerbino, S., & Altier, N. (2006). La biodiversidad del suelo: Su importancia para el funcionamiento de los ecosistemas. INAI. <https://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807164750.pdf>

Zhang, J., Peng, C., Xue, W., & Yang, B. (2020). Dinamic of soil water extractable organic carbon and inorganic nitrogen and their environmental controls in mountain forest and meadow ecosystems in China. CATENA, 187(2). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104338>

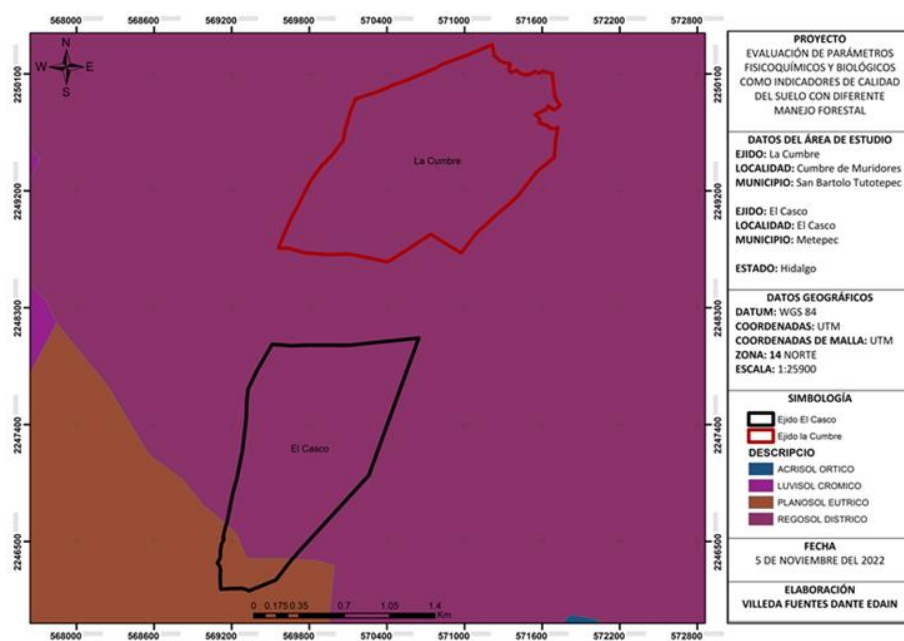
ANEXO



Anexo 1. *Clima de los Ejidos La Cumbre de Muridores y El Casco*



Anexo 2. *Uso de Suelo y Tipo de Vegetación de los Ejidos La Cumbre de Muridores y el Casco**



Anexo 3. Tipo de Suelo de los Ejidos La Cumbre de Muridores y El Casco