



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO.

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC.

LICENCIATURA EN INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA.

**USO DEL VERMICOMPOST Y COMPOST EN LA RECUPERACIÓN DE
SUELOS DEGRADADOS DE PASTIZALES NATURALES EN EL PEÑÓN,
TEMASCALTEPEC ESTADO DE MÉXICO**

TESIS

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA ZOOTECNISTA**

QUE PRESENTA:

GISELA DAYANLIN VALDES HERNANDEZ

ASESORA DE TESIS:

DRA. FRANCISCA AVILÉS NOVA

TEMASCALTEPEC, ESTADO DE MÉXICO SEPTIEMBRE.

INDICE

RESUMEN	VII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.	3
2.1 Situación actual del suelo en México	3
2.2. El suelo: su importancia	4
2.2.1 Características físicas del suelo	5
2.2.2 Características químicas del suelo	8
2.2.3. Componentes del suelo	10
2.3 Macrofauna	11
2.4 Fertilización orgánica	12
2.5 Procesos de fertilización	13
2.6 Abonos	13
2.6.1 Abonos orgánicos	13
2.6.2 Compost	13
2.6.3 Vermicompost	14
2.6.4 Abonos verdes.	14
2.7 Erosión	15
2.8 Degradación del suelo	15
2.9 Pastizales Naturales	15
2.9.1 Importancia de los pastizales naturales	16
2.9.2 Fertilización de pastos forrajeros	16
2.10 Ciclo del nitrógeno.	16

2.11 Fosforo en el suelo.	19
III. JUSTIFICACIÓN	21
IV. HIPÓTESIS	23
V. OBJETIVOS	24
5.1 Objetivo general.	24
5.2 Objetivos específicos.	24
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.	25
6.1 Localización del sitio experimental	25
6.2 Materiales de campo.	26
6.2.1 Material Biológico	26
6.2.2 Materiales de campo.	28
6.2.2 Materiales de laboratorio.	28
6.3 Tratamientos.	29
6.4 Toma de muestras del suelo.	30
6.5. Mediciones de variables de estudio de propiedades físicas y químicas de los suelos y abonos orgánicos.	32
6.5.1 Propiedades químicas del suelo.	32
6.5.2 pH:	32
6.5.3 Materia orgánica y Carbono Orgánico.	33
6.5.4 Nitratos.	35
6.5.5 Amonio.	37
6.5.6 Potasio.	39
6.5.7 Fosforo.	42
6.6 Evaluación de propiedades físicas del suelo.	44

6.6.1 Textura	44
6.6.2 Densidad aparente.	47
6.6.3 Porosidad	49
6.6.4 Color.	49
6.6.5 Realización de inventario de Macrofauna.	50
6.7 Aplicación de los tratamientos	52
6.8 Diseño experimental	53
6.8.1 Modelo lineal	53
6.8.2. Análisis Estadístico	53
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	54
7.1 Características físicas del suelo antes de la aplicación de los tratamientos.	54
7.2 Características químicas del suelo antes de la aplicación del suelo antes de la aplicación de los tratamientos.	55
7.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE COMPOSTA DE HORTALIZAS Y HECES DE BOVINOS, ABONO VERDE Y VERMICOMPOST.	60
7.4 Características físicas del suelo a los 60 días de la aplicación de los abonos orgánicos (tratamientos).	64
7.5 Características químicas del suelo a la aplicación del tratamiento.	67
7.6 Inventario de Macrofauna del suelo.	78
VIII. CONCLUSIONES.	81
IX. RECOMENDACIONES	82
X. REFERENCIAS	83

Índice de Tablas.

Tabla 1. Tratamientos utilizados en las micro parcelas	29
Tabla 2. Contenido de Porosidad, densidad real y densidad aparente, descripción de textura y color del suelo, previo a la aplicación de los tratamientos en el suelo de pastizales.	55
Tabla 3. Contenido de carbono orgánico, materia orgánica del suelo y pH previo a la aplicación de los tratamientos en el suelo del pastizal.	56
Tabla 4. Contenido de nitrógeno disponible en forma de amonio, nitrógeno en forma de amoniaco y amoniaco, en el suelo previo a la aplicación de los tratamientos.	57
Tabla 5. Contenido Nitratos previo a la aplicación de los tratamientos en el suelo del pastizal.	57
Tabla 6. Contenido de fosforo, óxido fosfórico y fosfato previo a la aplicación de los tratamientos en el suelo del pastizal.	58
Tabla 7. Contenido potasio y óxido potásico previo a la aplicación de los tratamientos en el suelo del pastizal.	59
Tabla 8. Contenido potasio y óxido potásico de los tratamientos antes de la aplicación.	60
Tabla 9. Contenido de fosforo, óxido fosfórico y Anión fosfato de los tratamientos.	61
Tabla 10. Contenido Nitratos y amonio de los tratamientos (Abonos Orgánicos).	62
Tabla 11. Contenido de Materia Orgánica de los tratamientos.	63
Tabla 12. Contenido de Carbono Orgánico de los tratamientos.	63
Tabla 13. Contenido de pH de los tratamientos.	64
Tabla 14. Características físicas del suelo después de la aplicación de los tratamientos (Abonos orgánicos).	65
Tabla 15. Propiedades físicas del suelo, Densidad aparente y Densidad real.	67
Tabla 16. Contenido de carbono orgánico, materia orgánica del suelo y pH después de la aplicación de los tratamientos en el suelo.	68
Tabla 17. Contenido de Potasio y Oxido de potasio en el suelo después de la aplicación de los tratamientos.	70
Tabla 18. Contenido de fosforo, oxido fosfórico y fosfato después de 60 días de la aplicación de los tratamientos en el suelo.	71
Tabla 19. Contenido de nitratos en el suelo después de los 60 días de aplicación de los tratamientos.	73
Tabla 20. Contenido de amonio en el suelo después de la aplicación de los tratamientos.	74
Tabla 21. Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de la aplicación de los abonos orgánicos y después de la aplicación.	77
Tabla 22. Inventario de la macrofauna encontrada en el suelo inicial del experimento y la macrofauna después de la aplicación de los abonos orgánicos.	80

Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1 Suelos de México, ING 2007.	4
Ilustración 2 Horizontes del suelo.	5
Ilustración 3 Triangulo para determinar texturas, obtenido de:	7
Ilustración 4 Componentes del suelo.	10
Ilustración 5 Macrofauna del suelo, lombriz de tierra.	12
Ilustración 6 Ciclo del nitrógeno.	18
Ilustración 7 Ciclo del fósforo	19
Ilustración 8 Localización del sitio experimental.	25
Ilustración 9 Vermicompost.	26
Ilustración 10 Compostaje de abono verde.	27
Ilustración 11 Parcelas establecidas.	28
Ilustración 12 Suelo antes de la aplicación de los tratamientos (abonos orgánicos).	30
Ilustración 13 Vermicompost y Abono verde.	31
Ilustración 14 Tamización de muestras de suelo.	31
Ilustración 15 Extracción de Dicromato de potasio 1N.	33
Ilustración 16 Titulación del sulfato ferroso para determinar Carbono Orgánico.	34
Ilustración 17 Muestra de suelo en tubo cónico de 50 ml agregándole agua destilada.	35
Ilustración 18 Tubos cónicos en la centrifugadora para comenzar las revoluciones.	38
Ilustración 19 filtración de muestras.	40
Ilustración 20 calibración del fotómetro	41
Ilustración 21. Agitación del reactivo de fósforo para lectura de fotómetro	43
Ilustración 22 Utilización de fotómetro	44
Ilustración 23 Agitación de muestras en licuadora.	45
Ilustración 24 Probetas con muestras de suelo para identificar textura.	45
Ilustración 25 Picnómetros con muestras de suelo para determinar densidad real.	48
Ilustración 26 identificación de color del suelo.	49
Ilustración 27 Identificación de macrofauna.	50
Ilustración 28 Suelo Estructurado por macrofauna.	51
Ilustración 29 Aplicación de tratamientos.	52
Ilustración 30 Macrofauna en el suelo.	79
Ilustración 31 Túneles y estructura del suelo, hechos por la macrofauna que habita.	79

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la aplicación del abono verdes, compost y vermicompost para la recuperación de suelos degradados de pastizales naturales en la comunidad del Peñón, en cuanto a sus características físicas y químicas. Las características físicas que se evaluaron fueron: textura, color, densidad aparente, densidad real y porosidad. Las características químicas fueron: Materia Orgánica, carbono orgánico (CO), pH, nitrógeno en forma de nitratos y amonio. Se utilizaron nueve micro parcelas de 1.5 x 1.5 m². Los tratamientos fueron T1: abonos verdes (50% de hojas y tallos de maíz con 50% de suelo), T2: vermicompost, T3: compost (75% de hortalizas y 25% heces de bovino) y T4: testigo (suelo sin aplicación de abonos orgánicos). Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones, los análisis se realizaron con un ANOVA y se aplicó la prueba de Tukey (P< 0.05). La textura se mantuvo en franco arenoso, el color del suelo cambio de café rojizo a café amarillo oscuro, la densidad aparente disminuyó de 1.5 g/m³ a 0.96- 1.04 g/m³ y la densidad real presentó ligera disminución paso de 56.21 a 53.87. El contenido CO inicial del suelo fue de 0.73% y el final presentó diferencias significativas (P=0.001) entre tratamientos el cual aumentó hasta un 67.68%. El contenido de materia orgánica en el suelo inicial fue 1.34%, el cual aumento en la aplicación de todos los tratamientos y presentó diferencias significativas entre tratamientos (P=0.000). El pH inicial del suelo fue ligeramente ácido (5.6) y mostró diferencias significativas (P=0.008) entre tratamientos. (P=0.000). La aplicación de los abonos orgánicos incrementó los nutrientes del suelo en diferentes proporciones, beneficiando al ecosistema suelo y a los pastizales con lo cual se disminuye la erosión al mejorar la calidad de los suelos.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo aporta los principales nutrientes que requieren las plantas y animales, por ello es de gran importancia darles un gran valor, ya que de ellos depende la agricultura de todo el mundo y así mismo la alimentación humana.

El suelo es un recurso natural fundamental e irreproducible del que depende toda la vida de nuestro planeta. Es la base de numerosos servicios de los ecosistemas que permiten y regulan la vida en este planeta. El suelo ofrece un 99% de los suministros globales de alimento para consumo humano, filtra el agua de la lluvia y la devuelve limpia y potable, regula el clima y es una reserva esencial tanto de carbono orgánico como de biodiversidad (Messa, 2016).

La salud es definida como la condición de un organismo o alguna de sus partes de mantener normales sus funciones y propiedades vitales. Es decir, que la salud de suelo hace referencia a la “autorregulación”, estabilidad y resiliencia del suelo como ecosistema. El termino salud de suelo describe la integridad biológica de la comunidad del suelo, es decir el balance entre los organismos del suelo, y entre mencionados organismos y el ambiente (Banegas, 2014).

El vermicompost y compost se utilizan como biorremediadores del suelo, ya que contienen los nutrientes necesarios para el desarrollo de la vegetación, las ventajas que tiene estos abonos orgánicos son prácticas, además de económicos y ayudan al medio ambiente. Las desventajas que se tienen que si no se aplica las dosis correctas puedan afectar a las plantas causando intoxicaciones, por ello es necesario tener conocimientos previos para poder aplicarlos.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la aplicación del abono verdes, compost y vermicompost para la recuperación de suelos degradados de pastizales naturales

I. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Situación actual del suelo en México

En México existe una gran variedad de suelos (Ilustración 1), se puede explicarse por la interacción de diversos factores, entre los que se existe la compleja topografía originada por la actividad volcánica del Cenozoico, el gradiente altitudinal que es grande, que va de los cero a poco más de 5 600 metros sobre el nivel del mar, existen cuatro de los cinco grandes tipos de climas reconocidos por la clasificación de Köppen y la amplia diversidad paisajes y de tipos de rocas que se encuentran en el territorio (Hernandez et al., 2021).

El suelo, es la parte exterior de la corteza terrestre está construido por una capa de material fragmentario no consolidado; es un sistema complejo que se forma por la interacción continua y simultánea de la materia a partir del cual se origina, del clima, del tipo de vegetación, fauna y de las condiciones particulares del relieve. En el país se encuentran 25 de las 30 unidades de suelo reconocidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y El Centro Internacional de Información y Referencia en Suelos (ISRIC). Los leptosoles, regosoles y calcisoles son los suelos de más grande distribución nacional, abarcando cerca del el 60.7% de la superficie del país, son por lo general suelos someros y con poco desarrollo, lo que complica su aprovechamiento agrícola. Los suelos fértiles y más explotados (feozems y vertisoles) ocupan el 18% de la superficie del país (Semarnat, 2017).

Mapa 3.1 | Principales grupos de suelo en México

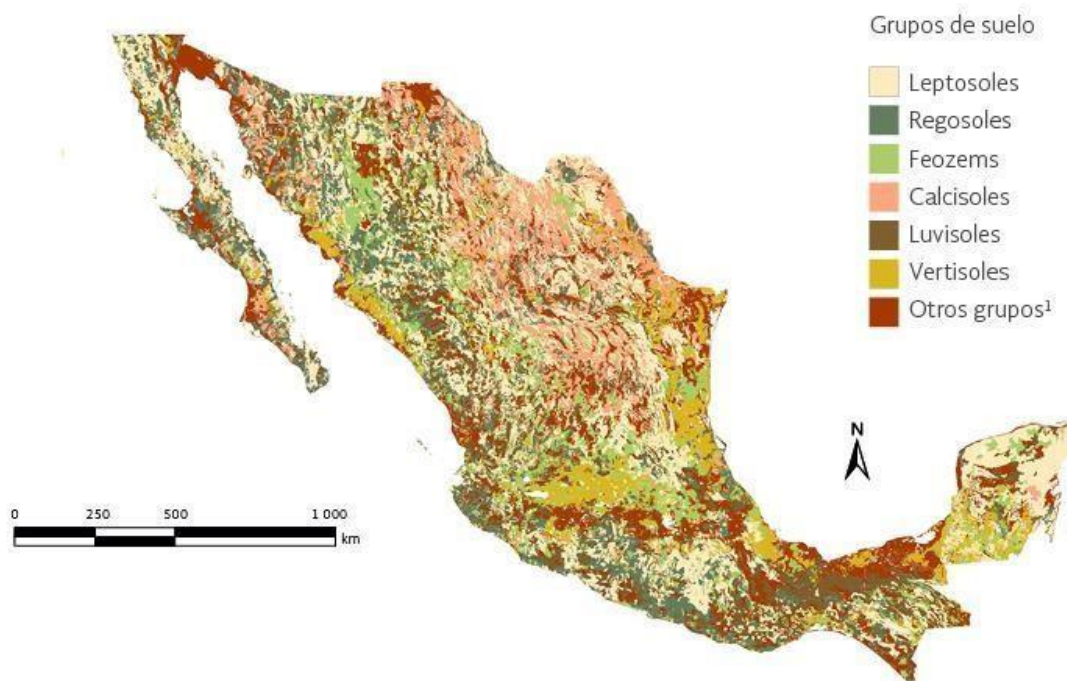


Ilustración 1 Suelos de México, ING 2007.

Fuente: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/imagenes/03_suelo/Mapa_3.1.png

2.2. El suelo: su importancia

Los suelos son la base estructural y funcional de todos los ecosistemas terrestres, incluyendo los socio-ecosistemas en los que se genera energía, alimentos, fibras y madera (ENASAS, 2011).

El suelo brinda el soporte (Ilustración 2), para el desarrollo de los organismos autótrofos (plantas con clorofila) que ayudan al proceso inverso por medio de la fotosíntesis y reducen el CO² atmosférico a C orgánico en sus tejidos, son la principal fuente de aportación de C al suelo (ENASAS, 2011).



Ilustración 2 Horizontes del suelo.

Fuente: <https://1.bp.blogspot.com/-WogVEe9Qdeo/YMZkUkCcqVI/AAAAAAAAATo/MbYIHxwy0s0O66Ka11C5oqoS1-PEg0OoQCLcBGAsYHQ/s824/suelo.webp>

Las plantas obtienen nutrientes y agua de suelo, de ellos dependen la vida de diversos seres vivos. Además, como sustrato de las plantas, es el soporte de la superficie para distintas actividades del hombre. Los desechos de animales y plantas aportan nutrientes en el suelo que de forma natural se incorporan a él.

2.2.1 Características físicas del suelo

Se pueden evaluar por inspección visual o por el tacto. Pueden medirse contrastándolas con algún tipo de escala, de tamaño, consistencia, intensidad, etc. Cada suelo presenta un conjunto peculiar, de propiedades físicas, que dependen de la naturaleza de sus componentes, de las cantidades relativas de cada uno de ellos y de la manera de que se hallan mutuamente acoplados (Farías, 1994).

Las Características físicas del suelo de acuerdo con Farias (1994). “ejercen influencia directa o indirecta en todas las funciones que se desempeña con beneficio de las plantas” y a continuación se explican:

- **Textura.** La textura del suelo es un indicador de la producción relativa de arena (A), limo (L) y arcilla (R) que lo constituyen, y su nombre indica la clase textural a la que pertenece, de acuerdo con el sistema de clasificación y el triángulo de texturas utilizado se usará el triángulo propuesto por el Departamento de la Agricultura de Estados Unidos.

Es muy grande el número de combinaciones posibles de arena, limo y arcilla, solo se contienen 12 clases de texturas en el triángulo de las texturas (Ilustración 3). Los suelos de cada clase tienen aproximadamente la misma superficie específica y otras características que son comunes.

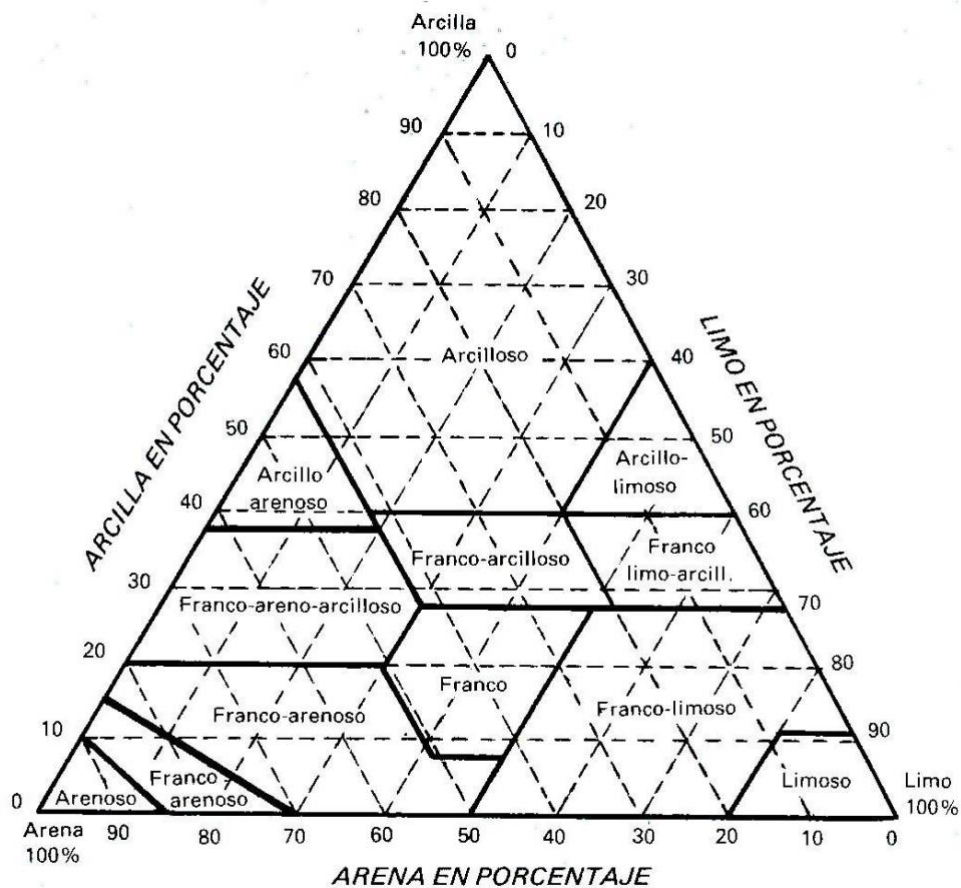


GRAFICO PARA LA DENOMINACION DE LOS SUELOS SEGUN LA TEXTURA

Ilustración 3 Triangulo para determinar texturas, Fuente:

<https://www.monografias.com/trabajos15/suelos-textura/Image2392.jpg>

- **Estructura.** La estructura del suelo es la manera en que las partículas primarias (arena, limo y arcilla) están ensambladas formando agregados (peds), es decir, unidades de mayores con planos débiles entre sí.
- **Consistencia.** Es la resistencia que este opone a la deformación o ruptura; es el grado de cohesión o adhesión de la masa del suelo. La consistencia depende fuertemente el contenido de humedad del suelo y la cementación de las partículas sólidas.

- **Color.** Propiedad física relacionada con la longitud de onda del espectro visible que el suelo refleja al recibir los rayos de luz. Las cartas estándar de color propuestas por Munsell incluyen tres características y un nombre para cada color.

- **Densidad aparente.** La densidad aparente del suelo (D_a) es la relación entre la masa de los sólidos y el volumen total que estos ocupan, es decir, se incluyen el espacio poroso existente entre partículas sólidas.

- **Porosidad.** La porosidad del suelo (E) es el volumen del aire y agua conteniendo en unidad de volumen de suelo. La porosidad del suelo se determina principalmente por el acomodo de las partículas sólidas.”

2.2.2 Características químicas del suelo

La química del suelo comprende aspectos de la química de soluciones y de la química de fases sólidas (mineralogía) (Thomsom & Troeh, 1988). Las características químicas del suelo hacen referencias a las que no podemos determinar con el simple hecho de observarlas, tocarlas o comparar, por ello es necesario realizar análisis en laboratorio con instrumentos y materiales que sirven de apoyo para determinar las características químicas. Se mencionan a continuación.

- **El pH.** La escala del pH sirve para medir la acidez y alcalinidad. La mayoría de tienen un valor de pH que oscila entre 4 y 8. Casi todos los suelos con pH superior a 8 poseen un exceso de sales o un elevado porcentaje de Na^+ en sus sitios de intercambio de catiónico. Los suelos con pH inferior a 4, generalmente, contienen ácido sulfúrico (Thomsom & Troeh, 1988).

- **Conductividad Eléctrica.** mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por lo tanto, la CE mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. Su valor es más alto cuanto más fácil se mueva dicha corriente a través del mismo suelo por una concentración más elevada de sales (INTAGRI, 2017).

- **Materia Orgánica.** Es una acumulación de materia de plantas muertas, parcialmente descompuestas y residuos de animales y plantas re-sintetizados parcialmente. La hojarasca y las raíces secas se descomponen rápidamente y sus residuos forman parte del humus. Algunas porciones permanecen en los suelos durante mucho tiempo. Los residuos de cultivos, maleza, hierba, hojas de árboles, gusanos, bacterias, hongos y actinomicetos también forman parte de la mezcla compleja denominada MOS (Hinrich et al., 1993).

- **Macronutrientes.** Son aquellos nutrientes que las plantas y el suelo necesitan a grandes escalas, son de mayor importancia en la nutrición de las plantas, por ende, es necesario conocer que cantidades contienen nuestros suelos para poder ayudarlos, incorporando abonos ricos en macronutrientes para un buen desarrollo de las plantas. Los macronutrientes principales son Nitrógeno, fósforo, Potasio.

El nitrógeno (N) del suelo: es el primer elemento mayor, responsable del crecimiento de las plantas. Es el verdadero constructor de proteínas, es absorbido por las plantas en forma AMONIACAL y de NITRATOS (Ministerio de Agricultura, 2003).

El Fósforo (P) del Suelo: Es el segundo elemento mayor, no existe otro nutriente que pueda sustituirlo, es poco móvil cuando se aplica en el suelo a diferencia del Nitrógeno. Actúa en la fotosíntesis, mejora la calidad de las frutas, verduras cereales; permite soportar a las plantas inviernos rigurosos y aumenta la eficiencia del uso del agua y la resistencia a las enfermedades de algunas plantas (Ministerio de Agricultura, 2003).

El Potasio (K) del suelo: Es el tercer elemento de vital importancia para el desarrollo de las plantas. La presencia del Potasio ayuda a la planta hacer uso más eficiente del agua, es absorbido en forma iónica (K^+), sus funciones son muy conocidas por estar ligado al metabolismo de la planta. Es importante en la formación del fruto, activa enzimas mejora la calidad del cultivo. Aumenta la resistencia a enfermedades y la tolerancia a las heladas (Ministerio de Agricultura, 2003).

2.2.3. Componentes del suelo

El suelo cuenta con dos tipos de componentes, inorgánicos y orgánicos. Son la base estructural de ellos depende la conformación del suelo en la superficie.

Los componentes inorgánicos de acuerdo con Porta-Cansanellas et al. (1999) En la mayoría de los suelos, al estudiar la fase sólida se observa un predominio de los componentes inorgánicos, que tiene su origen en los minerales que constituía la roca o material a partir del cual se ha formado el suelo.

Los suelos heredan cientos de minerales diferentes de su roca madre. Esos minerales representan una gran variedad, tanto en lo referente, a su composición química como su velocidad de meteorización (Thompson, 1988).

Existen diversas expresiones para referirse a los componentes (Ilustración 4) orgánicos del suelo: materia orgánica, humus, sustancias húmicas entre otras. La expresión componentes orgánicos se utiliza con un sentido comprensivo, para designar una mezcla heterogénea de materiales orgánicos que se presentan de forma natural en el suelo (Porta- Cansanellas et al., 1999).

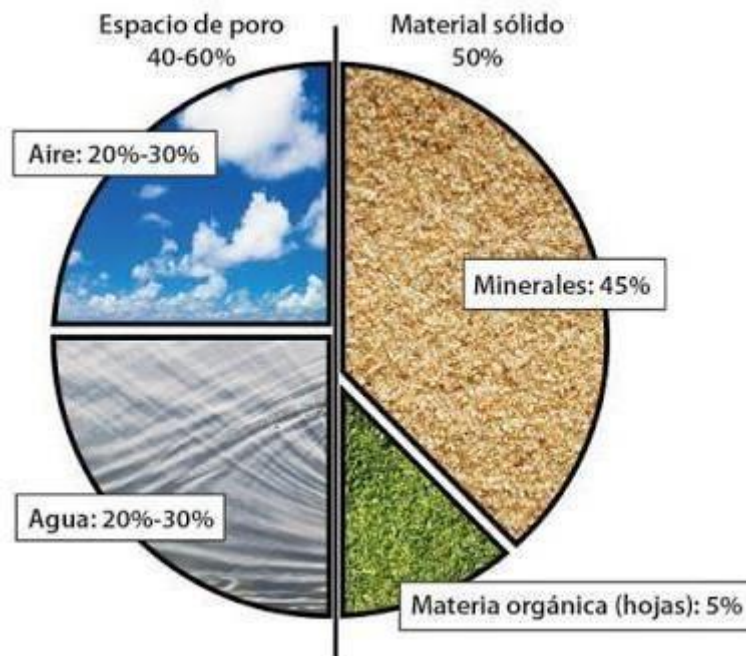


Ilustración 4 Componentes del suelo.

2.3 Macrofauna

La macrofauna del suelo; el grupo macrofauna (Ilustración 5) incluye aquellos animales del suelo que miden más de un centímetro de largo, o que tienen una anchura o diámetro de más de 2 mm. Una diversidad de organismos de suelo se incluye en esta categoría, aunque éste se concentra en los grupos más significativos: lombrices de tierra, termitas, hormigas y escarabajos. Las lombrices de tierra son, probablemente, los invertebrados más importantes en el suelo de regiones templadas; sin embargo, en ambientes tropicales, predominan las termitas y las hormigas. Mucha macrofauna desempeña un importante papel en los ecosistemas del suelo, como ingenieros del suelo, que habitan especialmente en ambientes tropicales, e influyen de manera notable en las propiedades físicas y químicas de los suelos, sobre todo, en la creación de macroporos y en la transformación y redistribución de materia orgánica (Huisin y Bignell, 2012).



Ilustración 5 Macrofauna del suelo, lombriz de tierra.

Fuente: <https://agriculturers.com/wp-content/uploads/2017/12/lombriz-tierra.jpg>

2.4 Fertilización orgánica

La fertilización orgánica es una técnica de manejo que favorece al medio ambiente de forma natural, que proporciona nutrientes al suelo, para que las plantas tengan una nutrición correcta y pueda desarrollarse con efectividad en su ciclo de vida. Esta es una forma de proporcionar materia orgánica y evitar una degradación de suelo.

"Fertilizantes orgánicos, los nutrientes contenidos en ellos son originarios del mismo suelo agrícola; estos abonos son menos solubles, ponen los nutrientes a disposición de las plantas de manera más gradual." Al aumentar la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo, pueden mantener más nutrientes absorbidos, reduciéndose por ende las pérdidas por su lixiviación (Contreras et al., 2002.)

Además de nutrir el suelo, la fertilización orgánica protege a los suelos y cultivos, dándole buen manejo como el reciclado de nutrientes y de materia orgánica.

Obtener altos rendimientos, los fertilizantes son necesarios para proveer a los cultivos con los nutrientes del suelo que están faltando. Con los fertilizantes, los rendimientos de los cultivos pueden a menudo duplicarse o más aún triplicarse. (FAO, 2002)

2.5 Procesos de fertilización

Son pasos por desarrollar para poder proporcionar los nutrientes necesarios que requiera la planta, además tienen una secuencia cronológica para poder desarrollarse.

2.6 Abonos

Los abonos o fertilizantes son productos destinados a la alimentación de las plantas. Por tanto, abonar significa aportar abonos a las plantas o a su sustrato nutritivo (Finck, 1988).

Los abonos deben: favorecer el crecimiento; en la mayoría de los casos, esto equivale a favorecer la multiplicación de la masa vegetal, aunque también significa regular su aumento, en el sentido similar el crecimiento de determinadas partes de la planta, para así alcanzar unas producciones más importantes (Finck, 1988).

2.6.1 Abonos orgánicos

De acuerdo con (Finck, 1988) “Los abonos orgánicos constituyen un gran grupo de materiales diversos, que se utilizan por múltiples objetivos. Una clasificación general los agrupa en:

Abonos orgánicos de granja, de composición muy variable, producidos en propia explotación agrícolas.

- Abonos orgánicos comerciales, cuyo comercio está regulado por ley (en Alemania).”

2.6.2 Compost

El compost es un producto de descomposición de residuos vegetales y animales, con aditivos diversos. Este grupo de materiales más amplio de los abonos

orgánicos; comprende desde materiales sin ninguna calidad, procedentes directamente de basurero, hasta sustratos perfectamente preparados, con un alto poder fertilizante (Finck, 1988).

2.6.3 Vermicompost

El vermicompost es un abono orgánico estabilizado, rico en nutrientes y de baja densidad aparente, el cual puede aplicarse al suelo para mejorar sus características químicas, físicas y biológicas. Mejora los rendimientos y sanidad de los cultivos, sin causar riesgos al medio ambiente. Este producto se obtiene a partir del proceso de vermicompostaje en condiciones aeróbicas, en el cual se reciclan los restos de materia orgánica con la participación de diversos microorganismos y de lombrices que se alimentan de ellos y los transforman –mediante su proceso digestivo– en sus deyecciones (heces), las cuales (ETEA, & IM, 2018).

Para la obtención de vermicompost, la especie de lombriz que comercialmente más se emplea es *Eisenia foetida* conocida comúnmente como la lombriz roja californiana, a pesar de ser originaria de Europa. Recibe la especie el nombre de foetida por el olor de los exudados que produce, los cuales presumiblemente son una adaptación *anti predadores*. Esta especie de lombriz es muy hábil en su alimentación, de forma que cada 24 horas consume alimento correspondiente a su propio peso al día. La lombriz obtiene su alimento a partir de materiales orgánicos vegetales, animales o mixtos, frescos o en diferente estado de descomposición, para producir más biomasa de lombriz (crecimiento y nuevas lombrices) y estiércol (FAO, 2013).

2.6.4 Abonos verdes.

En el abonado verde se utilizan plantas verdes enteras, o solamente residuos (cuellos y raíces, aprox. el 50% de la planta, en cuyo caso se utiliza la parte aérea como forraje (Finck, 1988).

El efecto del abonado verde consiste sobre todo en la aportación de nitrógeno además de humus nutritivo. No obstante, las leguminosas solamente producen una ganancia real de N, si se prescinde de la retención de nutrientes, que todas las plantas efectúan frente al lavado. El abonado en verde puede también contribuir a

crear un medio con mayor cantidad de nutrimentos asimilables para el cultivo en crecimiento, facilitando la movilización del fósforo y los oligoelementos (Finck, 1988).

2.7 Erosión

La erosión (del latín erosio = roderuda) consiste en: una pérdida gradual de material que constituye el suelo, al ir siendo arrastradas las partículas (disgregadas, arrancadas y transportadas), a medida que van quedando en superficie. La erosión es un proceso que tiene lugar a la forma espontánea de la naturaleza, si bien, su intensidad varía de unos escenarios a otros (Porta-Casanellas, 1999).

2.8 Degradación del suelo

La vida en tierra firme depende del suelo. Con contadas excepciones, todas las plantas requieren de este recurso para sobrevivir. El suelo almacena el agua disponible para la vegetación y cobija a los organismos que lo habitan; su pérdida es irreversible. A pesar de estas consideraciones se está haciendo un uso inadecuado del suelo, que lo destruye o lo degrada (Semarnat, 2003).

La degradación de los suelos se refiere básicamente a los procesos desencadenados por las actividades humanas que reducen su capacidad actual y/o futura para sostener ecosistemas naturales o manejados, para mantener o mejorar la calidad del aire y agua, y para preservar la salud humana. Se estima que alrededor de 2 000 millones de hectáreas en el mundo sufren algún tipo de deterioro como consecuencia de las actividades del hombre. Esto equivale al 15% de toda la tierra firme, un área mayor que México y Estados Unidos juntos (Semarnat, 2003).

2.9 Pastizales Naturales

El pastizal natural, como su nombre lo indica, es la tierra productora de forraje natural que sirve para el consumo de los animales. Los pastizales del mundo producen alrededor del 75% de forraje necesario para la alimentación animal (Berlinjn, 2008).

2.9.1 Importancia de los pastizales naturales

Los pastizales en el mundo entero ocupan alrededor de la mitad de la superficie total de la tierra. En ellos están comprendidos aquellos terrenos de todos los continentes que son demasiados secos, abruptos o rocosos para ser utilizados como tierras de cultivos. Comprende también los bosques de arboleda rala y las sábanas, terrenos en los cuales se produce bajo los árboles dispersos abundante vegetación susceptible de utilizarse como pasto. Los pastizales contribuyen el ambiente natural donde vive una parte considerable de los animales que integran los recursos de la fauna mundial (Berlijn, 2008).

2.9.2 Fertilización de pastos forrajeros

En general, los pastos forrajeros responden bien a la fertilización nitrogenada. Esta favorece un rápido crecimiento, un aumento en el contenido de proteínas y una mayor digestibilidad como consecuencia de la reducción en el contenido de fibras. Las especies tropicales, de largo periodo vegetativo, responden mejor a dosis altas de nitrógeno que aquellas de climas templados y fríos (Berlijn et al., 1982).

La fertilización nitrogenada se efectúa en partes. Una primera parte se aplica al establecer el cultivo y antes de la iniciación del crecimiento fisiológico de las plantas. Otros momentos adecuados para efectuar la aplicación de nitrógeno son después de una lluvia y después de cada corte o cada pastoreo (Berlijn et al., 1982).

2.10 Ciclo del nitrógeno.

1. **Fijación.** La fijación biológica del nitrógeno (Ilustración 6) consiste en la incorporación del nitrógeno atmosférico, a las plantas, gracias a algunos microorganismos, principalmente bacterias y cianobacterias que se encuentran presentes en el suelo y en ambientes acuáticos. Esta fijación se da por medio de la conversión de nitrógeno gaseoso (N_2) en amoníaco (NH_3) o nitratos (NO_3^-). Estos organismos usan la enzima nitrogenasa para su descomposición. Sin embargo, como la nitrogenasa sólo funciona en ausencia de oxígeno, las bacterias deben de alguna forma aislar la enzima de su contacto. Algunas estrategias utilizadas por las bacterias para aislarse del oxígeno son: vivir debajo de las capas de moco que

cubren a las raíces de ciertas plantas, o bien, vivir dentro de engrosamientos especiales de las raíces, llamados nódulos, en leguminosas como los porotos (parecidas a las alubias), las arvejas y árboles como el tamarugo (*Rhizobium*).

2. **Nitrificación o mineralización.** Solamente existen dos formas de nitrógeno que son asimilables por las plantas, el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+). Las raíces pueden absorber ambas formas, aunque pocas especies prefieren absorber nitratos que amoniaco. El amonio es convertido a nitrato gracias a los microorganismos por medio de la nitrificación. La modificación de NH_4^+ a NO_3^- depende de la temperatura del suelo. Esta fase es realizada en dos pasos por diferentes bacterias: primero, las bacterias del suelo *Nitrosomonas* y *Nitrococcus* convierten el amonio en nitrito (NO_2^-), luego otra bacteria del suelo, *Nitrobacter*, oxida el nitrito en nitrato. La nitrificación les entrega energía a las bacterias.

3. **Asimilación.** La asimilación ocurre cuando las plantas absorben a través de sus raíces, nitrato (NO_3^-) o amoniaco (NH_3), elementos formados por la fijación de nitrógeno o por la nitrificación. Luego, estas moléculas son incorporadas tanto a las proteínas, como a los ácidos nucleicos de las plantas. Cuando los animales consumen los tejidos de las plantas, también asimilan nitrógeno y lo convierten en compuestos animales.

4. **Amonificación.** Los compuestos proteicos y otros similares, que son los constitutivos en mayor medida de la materia nitrogenada aportada al suelo, son de poco valor para las plantas cuando se añaden de manera directa. Así, cuando los organismos producen desechos que contienen nitrógeno como la orina (urea), los desechos de las aves (ácido úrico), así como de los organismos muertos, éstos son descompuestos por bacterias presentes en el suelo y en el agua, liberando el nitrógeno al medio, bajo la forma de amonio (NH_3). En este nuevo proceso de integración de nitrógeno al ciclo, las bacterias fijadoras llevan a cabo la digestión enzimática, por lo que el amonio se degrada a compuestos aminados, como proteosas, peptonas y al final, en aminoácidos. Es por esta razón que el proceso se llama aminificación o aminización.

5. **Inmovilización.** Es el proceso contrario a la mineralización, por medio del cual las formas inorgánicas (NH_4^+ y NO_3^-) son convertidas a nitrógeno orgánico y, por tanto, no asimilables. 6. **Desnitrificación.** La reducción de los nitratos (NO_3^-) a nitrógeno gaseoso (N_2), y amonio (NH_4^+) a amoniaco (NH_3), se llama desnitrificación, y es llevado a cabo por las bacterias desnitrificadoras que revierten la acción de las fijadoras de nitrógeno, regresando el nitrógeno a la atmósfera en forma gaseosa. Este proceso ocasiona una pérdida de nitrógeno para el ecosistema; ocurre donde existe un exceso de materia (CICEANA, 2007).

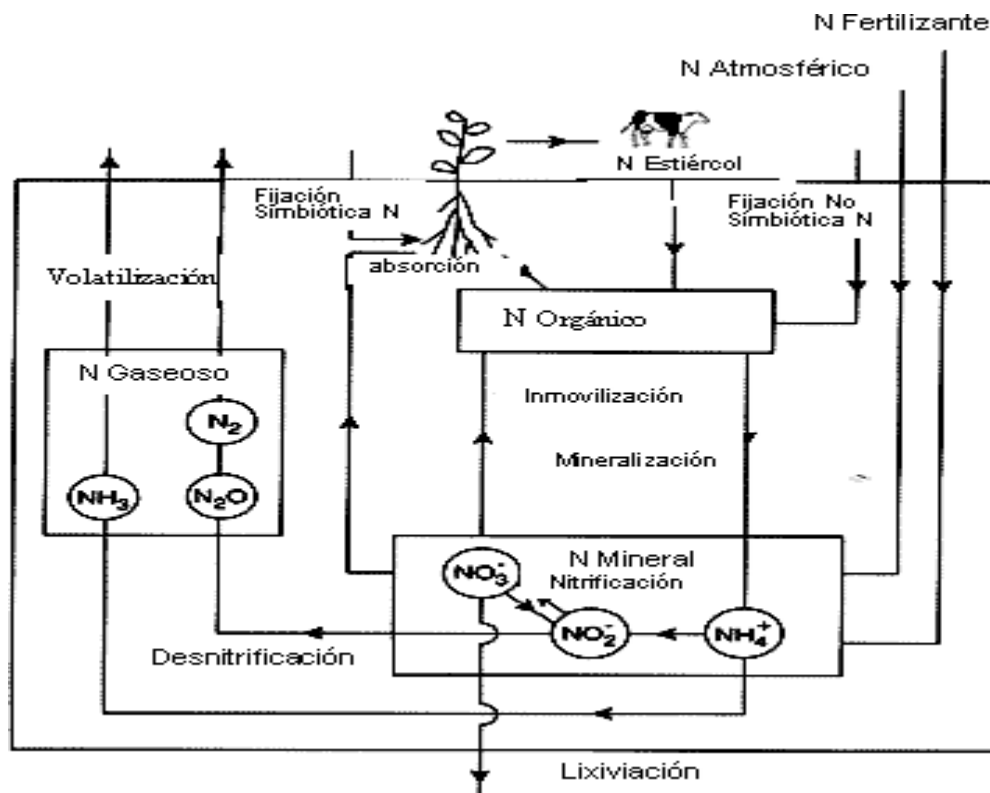


Ilustración 6 Ciclo del nitrógeno.

Fuente: <https://cdn.portalfruticola.com/2017/10/ciclo-nitrogeno.png>

2.11 Fosforo en el suelo.

El fósforo en el suelo para su fijación (Ilustración 7) no tiene ayuda microbiana, este solo se procede solo de la descomposición de la roca madre durante el proceso de la meteorización. La cantidad de fósforo total del suelo, expresada como P_2O_5 , en raras ocasiones sobre pasa el valor del 0.5 %, y puede clasificarse, en general, como inorgánico y orgánico (Navarro- García, 2000).

El núcleo de la célula de la planta contiene fósforo, por lo que la división y crecimiento celular son dependientes de cantidades de él. El fósforo es concentrado en las células que se dividen rápidamente, las que activan el crecimiento de las raíces y tallos. La fuente original del fósforo es la apatita $[Ca_5(PO_4)_3F]$, un fosfato de calcio de baja solubilidad. Los iones solubilizados, $H_2PO_4^-$, reaccionan rápidamente en el suelo para formar fosfatos insolubles, llamado fijación de Fosfatos, con iones de calcio o con hidróxidos de hierro y aluminio. El fósforo usado por las plantas, mas que el aplicado como fertilizante, es derivado principalmente por los fosfatos liberados durante la descomposición de la materia orgánica del suelo; (Donahue et al, 1988).

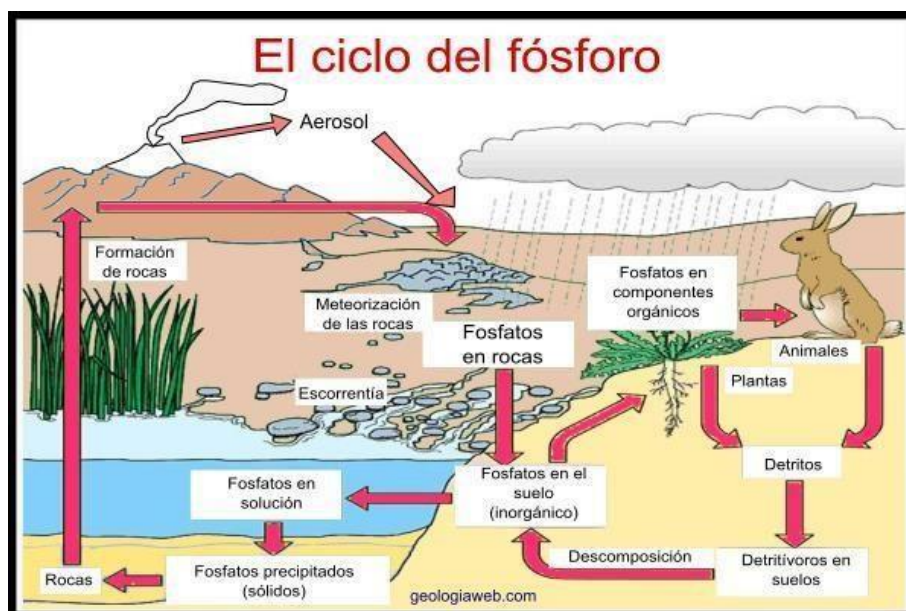


Ilustración 7 Ciclo del fósforo

Fuente: <https://geologiaweb.com/wp-content/uploads/2020/07/ciclo-fosforo.jpg>

2.12 Potasio en el suelo.

Los suelos pueden contener 2% del potasio total, del cual solo una pequeña fracción está en forma realmente disponible, es solo necesario para el crecimiento. El potasio en las plantas está en forma móvil más que como una parte integral de cualquier compuesto fijo. El potasio ayuda a mantener la permeabilidad de la célula, ayuda en la traslocación de carbohidratos, mantiene el hierro más móvil en la planta y aumenta la resistencia de las plantas en ciertas enfermedades (Donahue et al., 1988).

La cantidad de potasio en la solución del suelo es mínima y rápidamente es absorbido por las plantas por estar inmediatamente disponible. Cuando este potasio es absorbido y extraído por las plantas, es renovado y restituido inmediatamente por la cesión de formas menos fácilmente accesibles ubicadas en las zonas de adsorción de los coloides minerales y orgánicos del suelo. El proceso de adsorción-desorción es el que repone y equilibra la concentración de potasio de la solución del suelo. Cuando la concentración potásica de la solución ha disminuido hasta un mínimo (potasio intercambiable mínimo), el mismo es liberado de las Inter láminas de las arcillas (potasio fijado) para reponer el potasio de la solución del suelo. Ante la fuerte extracción de potasio por los cultivos, el potasio no intercambiable juega un papel fundamental en la nutrición potásica cuando la forma intercambiable es insuficiente, pero es importante aclarar que el potasio no intercambiable pasa a la solución con mucha menor velocidad que el intercambiable (INTAGRI, 2017).

II. JUSTIFICACIÓN

La degradación de suelos es una realidad que viven los suelos del mundo, por lo que es de suma importancia buscar estrategias para remediarlo y con ello mejorar el medio ambiente, además no obstante el sector agrícola contribuye a este tema, al utilizar abonos orgánicos para regenerarlo, además ayuda al medio ambiente y todos sus ecosistemas que se habitan en el suelo, con estas estrategias se recupera gran parte vegetativa de los pastizales, además de mejorar las propiedades químicas y físicas del suelo. De igual manera es una alternativa en cultivos lo cual mejoran sus rendimientos y se disminuyen costos de producción. Realizar el trabajo es importante porque contribuyo a conservar pastizales de las praderas que benefician al mismo tiempo a la conservación del suelo en la comunidad del Peñón Temascaltepec México.

III. HIPÓTESIS

El uso de abonos orgánicos (abonos verdes, compost y vermicompost) como estrategia de regeneración de suelos degradados en pastizales naturales mejora las características físicas y químicas del suelo en la comunidad El Peñón Temascaltepec Estado de México.

IV.OBJETIVOS

5.1 Objetivo general.

Evaluar la aplicación del abono verdes, compost y vermicompost para la recuperación de suelos degradados de pastizales naturales en la comunidad El Peñón, en cuanto a características físicas y químicas.

5.2 Objetivos específicos.

- Estimar el contenido de materia orgánica del suelo antes y después de la aplicación de los tratamientos compost, vermicompost y abonos verdes.
- Evaluar propiedades físicas y químicas del suelo al inicio y final del experimento.
- Realizar inventario de la macrofauna presente en el suelo.

V. MATERIALES Y MÉTODOS.

6.1 Localización del sitio experimental

El trabajo se llevó a cabo en un pastizal natural en el Rancho el Peñón localizado en el municipio de Temascaltepec, Estado de México. A una altura de 1,812 metros sobre el nivel del mar (Ilustración 8). Con temperatura anual promedio de 22 °C. Con lluvias en verano y presenta clima cálido seco.

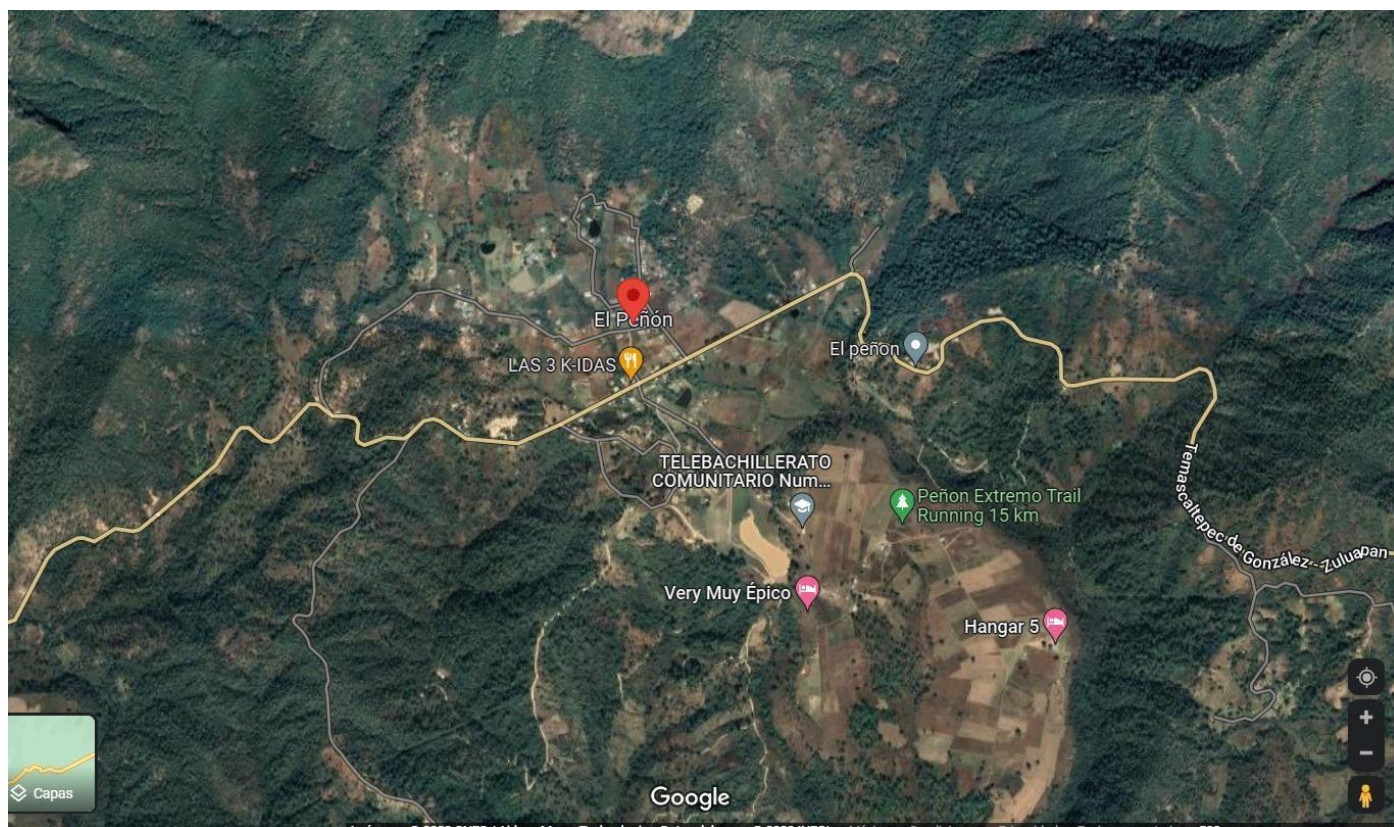


Ilustración 8 Localización del sitio experimental.

6.2 Materiales de campo.

6.2.1 Material Biológico

- Vermicompost 200kg



Ilustración 9 Vermicompost.

- Abonos verdes (residuos de planta de maíz) 100 kg.



Ilustración 10 Compostaje de abono verde.

- Compost de desechos de hortalizas de verdulerías (200 kg)
- 9 micro parcelas de 1 x 2 m², cultivadas con pasto estrella africana (ilustración 11).



Ilustración 11 Parcelas establecidas.

6.2.2 Materiales de campo.

Palas

Picos

Azadón

Overol

Botas

Metro

Registros

Parcelas

6.2.2 Materiales de laboratorio.

Bata

Muestras de suelo.

Bascula.

Charolas

Pipetas

Fotómetro Hanna HI83325

Matraces.

Centrifugadora

Potenciómetro

6.3 Tratamientos.

Los tratamientos se muestran en la Tabla , se utilizaron tres fuentes de abonos orgánicos y las dosis de uso.

Tabla 1. *Tratamientos aplicados en las micro parcelas*

Tratamiento	Descripción	Cantidad
T1	Vermicompost	1.5 toneladas/ha
T2	Abonos verdes	1.5 tonelada/ha
T3	Compost de desechos de hortalizas.	1.5 tonelada/ha

6.4 Toma de muestras del suelo y tratamientos.

Las muestras de suelo se obtuvieron al inicio del experimento de toda el área para considerar como se encontraba el suelo antes de la aplicación de los abonos orgánicos, se realizó un muestreo no sistemático de 10 cm de profundidad que consiste en recolectar submuestras de suelo al azar, posteriormente se mezclaron para formar la muestra compuesta y obtener un 1kg de muestra de suelo. Las muestras de suelo se tomaron con palas y picos debido a la pedregosidad del terreno y se colocaron en una bolsa de plástico con su identificación.

De cada abono orgánico, previo a la aplicación de los mismos se tomó una muestra de 1kg , se colocó en bolsas de plástico, se identificó con información de los abonos orgánicos y se llevó a laboratorio de suelos para secarlas y ser analizadas en cuento a las características físicas y químicas.



Ilustración 12 Suelo antes de la aplicación de los tratamientos (abonos orgánicos).

6.6 Aplicación de los tratamientos

La aplicación de los tratamientos (abonos orgánicos), se realizó en dos partes, la primera fue al inicio del experimento (diciembre, 2022) se aplicaron 0.750 ton/ha, y la segunda aplicación se realizó a los 30 días (enero, 2023) de iniciar

experimento, colocando de igual forma 0.750 ton/ha. se hicieron 9 micro parcelas de 1.5x1.5 m², para tener 3 repeticiones por tratamiento. Las micro parcelas se distribuyeron al azar en cada bloque (tres bloques) y se identificaron en cada tratamiento y repetición.



Ilustración 13. Aplicación de tratamientos.

Después de los 60 días de la aplicación de los abonos orgánicos, en cada micro parcela se volvieron a tomar muestras de suelo con un muestreo no sistemático de 10 cm de profundidad, se colocó cada muestra en bolsas de plástico identificando cada tratamiento por micro parcela. Las muestras se llevaron al laboratorio para su secado y posterior análisis químicos y físicos.



Ilustración 13 Vermicompost y Abono verde.

Las muestras secas se tamizaron y se realizaron los análisis químicos y físicos.



Ilustración 14 Tamización de muestras de suelo.

6.5. Mediciones de variables de estudio de propiedades físicas y químicas de los suelos y abonos orgánicos.

6.5.1 Propiedades químicas del suelo.

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de suelos del centro Universitario Temascaltepec de acuerdo con la norma NMX-FF-109-SCFI-2008. Cada muestra se analizará por duplicado.

6.5.2 pH:

El pH del suelo se midió con un potenciómetro (HANA INSTRUMENTS8521) mediante el uso de electrodo en suspensión acuosa (1:5).

Reactivos:

- Agua destilada
- Soluciones reguladoras

Material y equipo

- Potenciómetro, balanza granataria, charolas de pesado, espátula, muestra de suelo, vasos de precipitado, varilla de vidrio y piceta.

Procedimiento:

- Pesar 10g la muestra de suelo tamizado y vaciarlo al vaso de precipitado.
- Adicionarle 20ml de agua destilada.
- Agitar durante 1 minuto y dejar reposar 5 minutos hasta completar 30 minutos
- Calibrar el potenciómetro con la solución reguladora.
- Mover la solución con la varilla de vidrio e introducir el electrodo.
- Registrar el pH en el momento en el que la lectura se haya estabilizado.

Nota: Para la medición de pH en abonos orgánicos pesar 5 gramos de muestra y seguir el mismo procedimiento.

6.5.3 Materia orgánica y Carbono Orgánico.

Para determinar Materia Orgánica y Carbono Orgánico se utilizó el método de oxidación húmeda desarrollado por Walkley y Black en 1934. Siguiendo la norma ICOTEC NTC 5403:2013.

Material: Matraz Elernmeyer 250 ml, bureta, pipeta (10, 20 y 5 ml), balanza analítica, soporte universal, pinzas para bureta y probeta de 10 ml.

Reactivos: Dicromato de potasio 1 N, H₂SO₄ concentrado, H₃SO₄ concentrado, indicador de difenialanina y sulfato ferroso al 1 M

Procedimiento:

- Pesar 0.5 g de la muestra de suelo tamizada y colocarlo en el matraz Elernmeyer (Se procesa lo mismo en el testigo, pero sin suelo).

Nota: para compostas se toma una muestra 0.3 g de suelo tamizado.

- Adicionar exactamente 5 ml de dicromato de potasio 1 N, girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con el suelo.



Ilustración 15 Extracción de Dicromato de potasio 1N.

- Agregar 10 ml de Ácido sulfúrico lentamente sobre las paredes.
- Agitar 1 min y reposar 30 min.
- Agregar 100 ml de agua destilada.
- Agregar 5 ml de ácido fosfórico concentrado.
- Agregar 5 gotas de difenialanina.
- Titular con sulfato ferroso al 1M.



Ilustración 16 Titulación del sulfato ferroso para determinar Carbono Orgánico.

Formulas:

$$\%C. \text{ Orgánico} = \frac{\text{ml gastados en el blanco} - \text{ml gastados en la titulación}}{\text{Gramos de la muestra}} \times 0.39$$

Gramos de la muestra

$$\%M. \text{ Orgánica} = \% C. \text{ Orgánico} \times 1.724$$

6.5.4 Nitratos.

Los nitratos se determinaron por el método de colorimetría por medio del fotómetro Multiparamétricos HANNA HI83325-01, el cual nos dio los valores de Nitrógeno en forma de nitrato y nitratos en mg/l.

Material y equipo:

Fotómetro, Centrifugadora, tubos de plástico para centrifugadora de 50ml, Matraz de 250 ml, Papel filtro, embudos, muestra de suelo, balanza analítica, charolas de pesado, espátula, agua destilada, cubeta de 10 ml para fotómetro y reactivos (reactivo de nitrato: HI93728-0).

Procedimiento:

- Pesar 0.5 g de la muestra ya seca y tamizada
- Colocar la muestra en un tubo cónico de plástico de centrifugadora de 50ml y de igual manera colocar agua destilada 50ml.



Ilustración 17 Muestra de suelo en tubo cónico de 50 ml agregándole agua destilada.

- Se ponen los tubos de la muestra en la centrifugadora durante 10 minutos a 1600 revoluciones por minuto.
- En matraces de 250 ml se coloca un embudo y papel filtro para proceder a colocar la muestra ya procesada en la centrifugadora, para que se filtre el agua.

Nota: las muestras filtradas deben ser claras o en caso de ser turbias se les coloca carbono activado para la eliminación de impurezas y contaminantes orgánicos.

- Antes de comenzar a realizar las lecturas en el fotómetro de las muestras, se debe calibrar con un blanco con agua destilada; llene la cubeta con 10 ml de agua destilada (hasta la marca), tape y coloque la cubeta en el compartimiento del equipo y cierre la tapa, pulse la tecla Zero, la pantalla mostrará "-0.0-" cuando el medidor esté cero y listo para la medición.
- Seleccione el método de Nitratos en el fotómetro para continuar con el procedimiento.
- Llene la cubeta con 10 ml de muestra sin reaccionar (hasta la marca), tape y coloque la cubeta en el compartimiento del equipo y cierre la tapa.
- Retire la cubeta y agregue un sobre del HI93728-0 reactivo de nitrato ponga la tapa y mezcle vigorosamente por exactamente 10 segundos. Continúe mezclando la cubeta invirtiendo suavemente la misma durante 50 segundos más evitando que se creen burbujas, el polvo no se disolverá por completo. El tiempo y el método de agitación puede afectar sensiblemente el resultado.
- Vuelva a colocar la cubeta en el equipo y cierre la tapa.
- Presione reloj (timer) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva de 4 minutos 30 segundos
- Cuando finalice el reloj (timer), el equipo mostrará la lectura en pantalla, los resultados se expresan en mg/L (ppm) de nitrato nitrógeno (NO₃ —N).

- Presione las flechas (arriba o abajo) para acceder a las funciones del segundo nivel.
- Presione la tecla Chem Form para convertir el resultado en mg/l (ppm) a (NO₃⁻).

6.5.5 Amonio.

El amonio se determinó por el método de colorimetría por medio del fotómetro Multiparamétricos HANNA HI83325-01, el cual nos dio los valores de amonio, nitrógeno en forma de amoniaco y amoniaco en mg/l.

Materiales y equipo:

Fotómetro, Centrifugadora, tubos de plástico para centrifugadora de 50ml, Matraz de 250 ml, Papel filtro, embudos, muestra de suelo, balanza analítica, charolas de pesado, espátula, agua destilada, cubetas de 10 ml para fotómetro y reactivos (reactivo de amonio: HI93733B-0 y HI93733A-0).

Procedimiento:

- Pesar 0.5 g de la muestra ya seca y tamizada
- Colocar la muestra en un tubo cónico de plástico de centrifugadora de 50ml y de igual manera colocar agua destilada 50ml.
- Se ponen los tubos de la muestra en la centrifugadora durante 10 minutos a 1600 revoluciones por minuto.



Ilustración 18 Tubos cónicos en la centrifugadora para comenzar las revoluciones.

- En matraces de 250 ml se coloca un embudo y papel filtro para proceder a colocar la muestra ya procesada en la centrifugadora, para que se filtre el agua.
Nota: las muestras filtradas deben ser claras o en caso de ser turbias se les coloca carbono activado para la eliminación de impurezas y contaminantes orgánicos.
- Antes de comenzar a realizar las lecturas en el fotómetro de las muestras, se debe calibrar con un blanco con agua destilada; llene la cubeta con 10 ml de agua destilada (hasta la marca), tape y coloque la cubeta en el compartimiento del equipo y cierre la tapa, pulse la tecla Zero, la pantalla mostrará "-0.0-" cuando el medidor esté cero y listo para la medición.
- Seleccionar en el fotómetro la opción de Amoniaco.
- De la muestra o dilución preparada tome 1 mililitro con la jeringa y coloque en una celda limpia, con la pipeta de 3 ml o con la jeringa como mejor le acomode agregue hasta la marca de la cubeta de vidrio de 10 ml solución del reactivo HI93733B-0, tape y mezcle y coloque la cubeta en el compartimiento del equipo y cierre la tapa.

- Retire la cubeta y agregue 4 gotas del 1er. reactivo HI93733A-0, ponga la tapa y mezcle la.
- Vuelva a colocar la cubeta en el equipo y cierre la tapa, presione reloj (timer) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva de 3 minutos y 30 segundos, cuando finalice el reloj (timer), el equipo mostrará la lectura en pantalla, los resultados se expresan en mg/L (ppm) de nitrógeno amoniacal (NH₃-N), presione las flechas (arriba o abajo para acceder a las funciones del segundo nivel y presione la tecla Chem Form para convertir el resultado en mg/L (ppm) de amoníaco (NH₃) y amonio (NH₄⁺).

6.5.6 Potasio.

El macronutriente de Potasio se determinó por el método de colorimetría por medio del fotómetro Multiparamétricos HANNA HI83325-01, el cual nos dio los valores de Potasio y oxido de potasio en mg/l.

Materiales y equipo: Fotómetro, Centrifugadora, tubos de plástico para centrifugadora de 50ml, Matraz de 250 ml, Papel filtro, embudos, muestra de suelo, balanza analítica, charolas de pesado, espátula, agua destilada, cubetas de 10 ml para fotómetro y reactivos (reactivo de potasio: HI93750A-0 y HI93750B-0).

Procedimiento:

- Pesar 0.5 g de la muestra ya seca y tamizada.
- Colocar la muestra en un tubo cónico de plástico de centrifugadora de 50ml y de igual manera colocar agua destilada 50ml.
- Se ponen los tubos de la muestra en la centrifugadora durante 10 minutos a 1600 revoluciones por minuto.
- En matraces de 250 ml se coloca un embudo y papel filtro para proceder a colocar la muestra ya procesada en la centrifugadora, para que se filtre el agua.



Ilustración 19 filtración de muestras.

Nota: las muestras filtradas deben ser claras o en caso de ser turbias se les coloca carbono activado para la eliminación de impurezas y contaminantes orgánicos.

- Antes de comenzar a realizar las lecturas en el fotómetro de las muestras, se debe calibrar con un blanco con agua destilada; llene la cubeta con 10 ml de agua destilada (hasta la marca), tape y coloque la cubeta en el compartimiento del equipo y cierre la tapa, pulse la tecla Zero, la pantalla mostrará "-0.0-" cuando el medidor esté cero y listo para la medición.

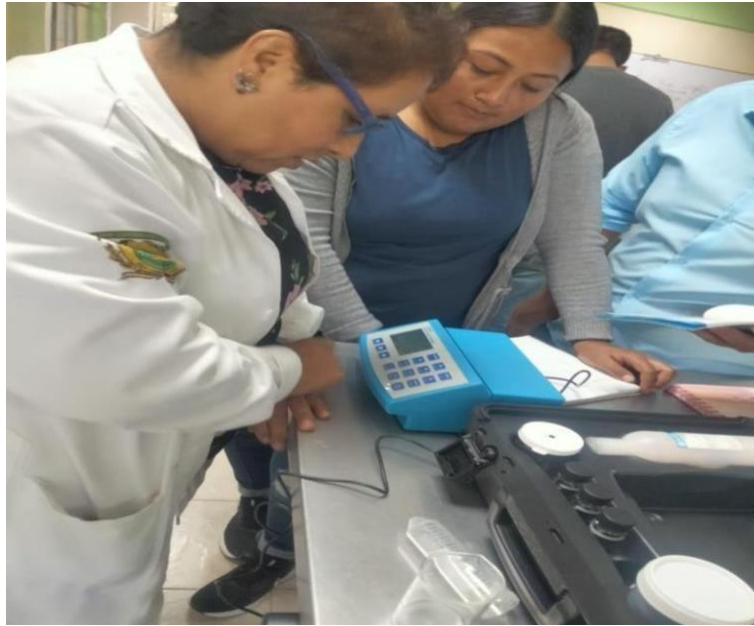


Ilustración 20 calibración del fotómetro

- Seleccione el método de Potasio en el fotómetro para continuar con el procedimiento.
- Llene la cubeta con 10 ml de muestra sin reaccionar (hasta la marca), agregue 6 gotas del reactivo HI93750A-0 gire la cubeta de manera que se mezcle, tape y coloque la cubeta en el compartimiento del equipo y cierre la tapa.
- Pulse la tecla Zero. La pantalla mostrará "-0.0-" cuando el medidor esté cero y listo para la medición.
- Agregue un sobre de HI93750B-0 reactivo de potasio vuelva a colocar la tapa y agítela suavemente durante 1 minuto, vuelva a colocar la cubeta en el equipo y cierre la tapa.
- Presione reloj (timer) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva de 2 minutos, cuando finalice el reloj (timer), el equipo mostrará la lectura en pantalla, los resultados se expresan en mg/l (ppm) de potasio (K).
- Presione las flechas (arriba o abajo) para acceder a las funciones del segundo nivel.
- Presione la tecla Chem Form para convertir el resultado en mg/l (ppm) a óxido de potasio (K₂O)
- Presione flechas (arriba o abajo) para regresar a la pantalla de medición.

6.5.7 Fósforo.

El fósforo se determinó por el método de colorimetría por medio del fotómetro Multiparamétricos HANNA HI83325-01, el cual nos dio los valores de fósforo, óxido fosfórico y fosfato.

Materiales y equipo.

Fotómetro, Centrifugadora, tubos de plástico para centrifugadora de 50ml, Matraz de 250 ml, Papel filtro, embudos, muestra de suelo, balanza analítica, charolas de pesado, espátula, agua destilada, cubetas de 10 ml para fotómetro y reactivos (reactivo de fósforo: HI93717A-0 y HI937171B-0).

Procedimiento:

- Pesar 0.5 g de la muestra ya seca y tamizada
- Colocar la muestra en un tubo cónico de plástico de centrifugadora de 50ml y de igual manera colocar agua destilada 50ml.
- Se ponen los tubos de la muestra en la centrifugadora durante 10 minutos a 1600 revoluciones por minuto.
- En matraces de 250 ml se coloca un embudo y papel filtro para proceder a colocar la muestra ya procesada en la centrifugadora, para que se filtre el agua.

Nota: las muestras filtradas deben ser claras o en caso de ser turbias se les coloca carbono activado para la eliminación de impurezas y contaminantes orgánicos.

- Antes de comenzar a realizar las lecturas en el fotómetro de las muestras, se debe calibrar con un blanco con agua destilada; llene la cubeta con 10 ml de agua destilada (hasta la marca), tape y coloque la cubeta en el compartimiento del equipo y cierre la tapa, pulse la tecla Zero, la pantalla mostrará "-0.0-" cuando el medidor esté cero y listo para la medición.
- Una vez calibrado el fotómetro, continúe llenando la cubeta con 10 ml de la muestra, agregue 10 gotas del reactivo HI93717A-0 y añada un

sobre del reactivo HI937171B-0 a la cubeta, tape y agite gentilmente hasta que el polvo se disuelva, vuelva a colocar la cubeta en el equipo y cierre la tapa.



Ilustración 21. Agitación del reactivo de fósforo para lectura de fotómetro

- Presione reloj (timer) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva de 5 minutos, cuando finalice el reloj (timer), el equipo mostrará la lectura en pantalla, los resultados se expresan en mg/L (ppm) de fosfato (PO_4^{3-}).
- -Presione las flechas (arriba o abajo) para acceder a las funciones del segundo nivel.
- -Presione la tecla Chem Form para convertir el resultado en mg/L (ppm) a fósforo (P) y pentóxido de fósforo (P_2O_5)
- -Presione flechas (arriba o abajo) para regresar a la pantalla de medición.



Ilustración 22 Utilización de fotómetro

6.7 Evaluación de propiedades físicas del suelo.

6.6.1 Textura

Se determino textura como propiedad física de los suelos y abonos orgánicos utilizando el método de Bauyucos.

Materiales y equipo:

Balanza analítica, probeta de 1000 ml con tapón, licuadora, hidrómetro de Bouyucos de -10 a 60, termómetro, charola de pesado, espátula acanalada y muestra de suelo.

Soluciones:

Meta-silicato de sodio al 5%, Oxalato de sodio al 5%, alcohol amílico y agua.

Procedimiento:

- Se pesa 50 g y se adiciona sobre el vaso de agitación a adicionándole 5ml de metasilicato de sodio y 5 ml de oxalato de sodio, se adiciona

agua de la llave hasta la segunda rayita del vaso, se agita durante 10 min en la licuadora.



Ilustración 23 Agitación de muestras en licuadora.

- Se vierte sobre la probeta de 1000 ml bajando la muestra con la piceta cubriendo la probeta hasta los 1000 ml de agua se deja reposar durante 40 segundos.
- Se agita 10 veces de arriba a bajo
- Se toma la primera muestra con el hidrómetro y el termómetro, se deja reposar durante 2 horas y se toma la segunda lectura.



Ilustración 24 Probetas con muestras de suelo para identificar textura.

Calculo:

Por cada centímetro arriba de 20 C se suman 0.36 del valor a la lectura del hidrómetro y por debajo de 20 C se restan 0.36, es la corrección de la lectura.

$$\% \text{ de limos} + \% \text{ arcillas} = \frac{\text{Primera lectura corrida} \times 2}{50} \times 100$$

$$\% \text{ de arena} = 100 - (\% \text{ de limos} + \% \text{ de arcillas})$$

$$\% \text{ de arcilla} = \frac{\text{segunda lectura corrida} \times 2}{50} \times 100$$

$$\% \text{ de limos} = (\% \text{ de limos} + \% \text{ de arcillas}) - (\% \text{ de arcillas})$$

$$\text{La suma de } \% \text{ de arena} + \% \text{ de arcilla} + \% \text{ de limos} = \%100$$

Después de determinar los porcentajes de arcilla, arena y limo, no dirigimos con un triángulo de texturas para obtener el tipo de textura en los suelos.

6.6.2 Densidad aparente.

Se determino la densidad aparente por el método de la probeta.

Materiales y equipo:

Probeta de 10 ml, balanza analítica, muestra de suelo, espátula, y franela.

Procedimiento:

- Pesar la probeta vacía registra el dato (PPV)
- Agregar suelo a la probeta hasta los 10 ml y golpear ligeramente 10 veces.
- Sobre la franela, agregar nuevamente suelo que haga falta hasta los 10 ml.
- Pesar la probeta con el suelo (PPS).

Formula:

Calcular la densidad aparente con la siguiente formula.

$$DAP = \frac{PPS - PPV}{\text{Volumen (10)}}$$

Densidad Real.

Se determino por el método de picnómetro.

Material y Equipo.

Picnómetro, Balanza analítica, piceta, agua destilada, estufa, suelo, espátula y embudo.

Desarrollo:

- Pesar el picnómetro seco (PPS), después se llena de agua sin que se moje por fuera, se pesa (PPA) y se vacía el agua.
- Se pone a secar por 5 minutos en la estufa a 70 C, se saca con unas pinzas.
- Se le adiciona 5 g de suelo sobre el embudo, se llena a $\frac{3}{4}$ de picnómetro y se agita ligeramente durante 5 minutos hasta que desaparezcan las burbujas.



Ilustración 25 Picnómetros con muestras de suelo para determinar densidad real.

- Dejar reposar durante 30 minutos.
- Llenar el picnómetro con agua utilizando la piceta y se toma el peso del picnómetro del suelo y agua (PPSA).

Formula.

$$DR = \frac{PS - PA}{V} \times 100$$

5

6.6.3 Porosidad

Para calcular la porosidad del suelo, se utilizó la siguiente fórmula para obtener el espacio poroso:

$$\% \text{ de porosidad} = 1 - (Dap / Rr) \times 100$$

6.6.4 Color.

El color se evaluó cuantitativamente con la comparación con cartas estándares de colores, se tomó una pequeña muestra de suelo de cada micro parcela, colocándolas en pequeños pedazos de papel, donde por cada muestra de suelo se evaluó con suelo seco y húmedo, sobre las cartas estándares de colores. Con la luz se debe tener en cuenta de cómo influye en la precisión para la medición de los colores del suelo. Para el color en suelo húmedo, no debe estar saturado o mojado porque tiene una película de agua en la superficie de la muestra de suelo, impide una lectura correcta.



Ilustración 26 identificación de color del suelo.

6.6.5 Realización de inventario de Macrofauna.



Ilustración 27 Identificación de macrofauna.

Se tomaron muestras de suelo se pasaron a un tamiz para poder identificar las especies, las más pequeñas se observaron en el suelo, además de encontrar sus túneles y estructuras bien marcadas en el suelo.



Ilustración 28 Suelo Estructurado por macrofauna.

6.8 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloques al azar. Se evaluaron tres tratamientos (Abonos orgánicos) con tres repeticiones cada uno.

Los datos se analizaron a través de ANOVA. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). se utilizó el programa MINITAB, 2009. V16.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

7.1 Características físicas del suelo antes de la aplicación de los tratamientos.

La tabla 2 muestra la textura del suelo que fue franco arenoso, estos suelos son generalmente muy permeables al aire, al agua y a las raíces, las limitaciones que presentan, es su bajo poder de retención de agua y su deficiente capacidad de almacenamiento de nutrientes (Thompson y Troeh, 2002). El color que se presentó fue rojizo que contiene elementos cromógenos como el feldespato, segunda característica 5/ se refiere al brillo o pureza e indica la claridad del color, la tercera característica que tiene el valor de 3, expresa la intensidad de saturación, indica la fuerza del color o su desviación del gris, con una misma intensidad (Narro Farias, 1994). La densidad aparente es ligeramente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena (FAO, 2023). La NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (2002), menciona que los suelos con horizontes volcánicos deben ser menor a 1.0 g/m³. La densidad real corresponde a la densidad media de la fase sólida o densidad de partículas (Porta et al., 1999). El porcentaje de porosidad del suelo es muy alta, existen espacios intergranulares como en el caso de suelos arenosos (Porta et al., 1999).

Tabla 2. Contenido de Porosidad, densidad real y densidad aparente, descripción de textura y color del suelo, previo a la aplicación de los tratamientos en el suelo de pastizales.

Variables	Valor
Textura.	Franco- arenoso.
color.	Café rojizo (YR 5/3).
Densidad aparente g/m³	1.1
Densidad real	56.21
Porosidad %	98.43

7.2 Características químicas del suelo antes de la aplicación del suelo antes de la aplicación de los tratamientos.

La tabla 3, muestra que el contenido de materia orgánica de acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (2002), es un tipo de suelo volcánico lo cual está su porcentaje está en un rango altamente bajo. El carbono orgánico fue de bajo, ya que si el porcentaje de Materia orgánica por ende le carbono también lo es. El pH fue moderadamente ácido que es común para suelos minerales (Navarro y Navarro, 2000).

Tabla 3. *Contenido de carbono orgánico, materia orgánica del suelo y pH previo a la aplicación de los tratamientos en el suelo del pastizal.*

Variable	Valor
Carbono Orgánico %	0.73
Materia Orgánica %	1.34
pH	5.06

La tabla 4 muestra las formas de nitrógeno en el suelo previo a la aplicación de los tratamientos. El amonio se conoció como la única forma mineral del nitrógeno, por la que la conversión del nitrógeno orgánico en forma de amonio se denominó mineralización, esta liberación de nitrógeno de la descomposición de la materia orgánica es la fuente más importante del nitrógeno utilizado en campos no fertilizados Donahue et al, 1988). El amonio disponible en suelo es muy bajo en los cuadros de apreciación de los niveles de fertilidad para la forma de nitrógeno mineral, ya que siendo <4 mg/l está en un rango muy bajo (López -Galán & Miñano- Fernández,1988). El nitrógeno en forma de amoniaco está en un rango bajo conforme al método Nessler.

Tabla 4. Contenido de nitrógeno disponible en forma de amonio, nitrógeno en forma de amoniaco y amoniaco, en el suelo previo a la aplicación de los tratamientos.

Variable	Valor Mg/l
Nitrógeno disponible en amonio.	0.27 (NH ₄ ⁺)
Nitrógeno en forma de amoniaco	0.43 (NH ₃ -N)
Amoniaco	0.48(NH ₃)

NH₄⁺ = amonio, NH₃-N = nitrógeno en forma de amoniaco y NH₃ = amoniaco

La tabla 5 muestra el contenido de nitratos, ya que es una forma de nitrógeno disponible en el suelo. La nitrificación es el proceso por el que los organismos del suelo forman nitratos. La importancia de ese proceso puede ser relativamente escasa en la formación directa de los suelos, pero es vital en la nutrición de las plantas (FitzPatrick, 1984). Los nitratos en forma de nitrógeno son bajos de acuerdo con el rango que se toma en los niveles de fertilidad para la forma de nitrógeno mineral ya que son < 4.5, para nitratos (López Galán & Miñano Fernández, 1988).

Tabla 5. Contenido Nitratos previo a la aplicación de los tratamientos en el suelo del pastizal.

Variable	Valor Mg/l
Nitratos en forma de nitrógeno (NO₃⁻-N)	1.3
Nitratos (NO₃⁻)	16.43

NO₃⁻-N = nitratos en forma de nitrógeno y NO₃⁻ = nitrato

La tabla 6 muestra el contenido de fosforo en el suelo, siendo el segundo nutriente vegetal más crítico, ya que en el núcleo de la célula de la planta contiene fosforo, por lo que la división y crecimiento celular son dependientes de él. Una vez concentrado el fósforo en las células que se dividen rápidamente, son las que activan el crecimiento de las raíces y tallos (Donahue, Roy L. et. al, 1988). Se determinó que el concentrado es relativamente bajo los niveles en los que se encontraron de acuerdo con Miranda Arauz (1988),

Tabla 6. *Contenido de fósforo, óxido fosfórico y fosfato previo a la aplicación de los tratamientos en el suelo del pastizal.*

Variable	Valor Mg/l
Fósforo	0.55 (P)
Oxido de fósforo	0.35 (P ₂ O ₅)
Fosfato	1.6 (PO ₄ ³⁻)

P= Fósforo, P₂O₅ = óxido fosfórico y PO₄³⁻ = Anión fosfato

La tabla 7 muestra el contenido de potasio previo a la aplicación de los tratamientos en el suelo. Donahue et al, (1988). menciona que el potasio ayuda a mantener la permeabilidad de la célula, ayuda a la traslocación de los carbohidratos mantiene el hierro más móvil en la planta y aumenta a la resistencia de las plantas a ciertas enfermedades. Por lo cual se determinó que el potasio en el suelo fue bajo. López Galán & Miñano Fernández (1988) en sus cuadros de interpretación de resultados en niveles de fertilidad para el potasio según el tipo de suelo, los suelos mayormente arenosos teniendo < 55 mg/l son muy bajos.

Tabla 7. *Contenido potasio y óxido potásico previo a la aplicación de los tratamientos en el suelo del pastizal.*

Variable	Valor Mg/l
Potasio	1.4 (k)
Oxido de potasio	1.7 (K ₂ O)

K= potasio y K₂O = óxido potasio

7.3 Características químicas de la composta de hortalizas, Abono verde y vermicompost.

Se muestra en la tabla 8 el contenido de potasio de cada uno de los tratamientos, de acuerdo con la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018, todos los tratamientos están en el rango adecuado como mejorador del suelo y caracterizándose como abono orgánico; el que obtuvo mayor contenido de potasio fue el abono orgánico elaborado con hortalizas.

Tabla 8. Contenido potasio y óxido potásico de los tratamientos antes de la aplicación.

Tratamientos	K %	K ₂ O %
T1: abono verde (Tallos y hojas de maíz cacahuazintle)	1.5	2.3
T2: Vermicompost	2.9	3.2
T3: Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	6.8	6.3

K= potasio y K₂O = óxido potasio

El fósforo que se observa en la tabla 9 de los tratamientos (Abonos orgánicos) mostraron contenidos aceptables conforme a la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018, que van del 1% al 7% que se consideran como mejoradores del suelo; el tratamiento 2 fue el que obtuvo mayor contenido de fosforo, seguido por el tratamiento 3 que también presentó porcentajes aceptables y por último el tratamiento 1. Todos los tratamientos contienen este nutriente que favoreció al suelo. El fosfato es una forma de absorción en que la planta absorbe y asimila el fósforo, de igual manera presento buenos resultados.

Tabla 9. Contenido de fosforo, óxido fosfórico y Anión fosfato de los tratamientos.

Tratamiento	Fosforo % (P)	Óxido fosfórico (mg/l) (P₂O₅)	Fosfato (mg/l) (PO₄³⁻)
T1: Abono Verde (tallos, hojas de maíz cacahuazintle)	1.5	3.4	4.5
T2: Vermicompost	4.8	11.1	14.9
T3: Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	3.6	8.1	10.9

P= Fósforo, P₂O₅ = óxido fosfórico y PO₄³⁻ = Anión fosfato

Los nitratos y el amonio son una forma de absorción del nitrógeno en las plantas, por lo cual pasan por procesos en el ciclo del nitrógeno que permite que las plantas los aprovechen para su desarrollo. En la tabla 10 se muestran los contenidos de nitrógeno en forma de nitrato de los tratamientos. El T3 presentó mayor contenido (P<0.001) de nitratos y amonio.

. La oxidación de cationes de amonio a iones de nitrato por las bacterias se denomina desnitrificación, este proceso es rápido; pequeñas cantidades de iones de amonio mineralizados son nitrificados en 1 o 2 días, al menos que el suelo sea fuertemente ácido, frío o húmedo, que reduce la desnitrificación (Donahue et al, 1988).

Tabla 10. Contenido Nitratos y amonio de los tratamientos (Abonos Orgánicos).

Tratamiento	Nitrógeno en forma de nitrato (NO ₃ ⁻ - N) Mg /L	Nitrato (NO ₃ ⁻) Mg/l	Disponible Nitrógeno (NH ₄ ⁺)	Nitrógeno en forma de amoniaco. (NH ₃ -N)	Amoniaco. (NH ₃)
T1: Abono Verde (tallos y hojas de maíz cacahuazintle)	11.2	49.7	62.1	48.2	58.6
T2: Vermicompost	7.4	32.9	72.2	56.1	68.9
T3: Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	16.6	73.7	69.9	54.3	66.0

NO₃⁻-N = Nitrógeno en forma de nitrato, NO₃⁻ = Nitratos, INH₄⁺ = amonio, NH₃:N = nitrógeno en forma de amoniaco y NH₃ =amoniaco

El T2 presentó mayor contenido de materia orgánica, de acuerdo con la norma oficial mexicana NMX- FF-109-SCFI-2008, el porcentaje es alto. El suelo del T3 presentó menor contenido de Materia orgánica que el T2 (P<0.001), basado en la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018, el porcentaje con el que se muestra la materia orgánica es mayor al 20%, lo cual indica que la MO composta es de tipo 2.

De los tratamientos comparados el que tuvo menor porcentaje fue el T1, pero de igual manera por ser un tipo de composta se evalúa con la misma norma y tiene un óptimo porcentaje de materia orgánica que especifica un buen contenido, además se caracteriza por ser un tipo 1 en la clasificación de compostas (Tabla 11).

Tabla 11. Contenido de Materia Orgánica de los tratamientos.

Tratamiento	Materia orgánica % (M.O)
T1: Abono Verde (tallos y hojas de maíz cacahuazintle) + 50% suelo	21.42
T2: Vermicompost	59.74
T3: Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	32.26

M.O= Materia orgánica.

Se muestra en la tabla 12 el contenido de Carbono orgánico de los tratamientos mostrando el T2 presentó mayor porcentaje y un alto contenido de C.O. Los tratamientos T3 y T1 mostraron menor contenido de Carbono orgánico, basándonos en la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018, sus porcentajes están el rango en el que se evalúan, siendo mayor al 10%.

Tabla 12. Contenido de Carbono Orgánico de los tratamientos.

Tratamiento	Carbono orgánico %
T1: Abono Verde (tallos y hojas de maíz cacahuazintle)	12.67
T2: Vermicompost	34.55
T3: Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	18.72

La tabla 13 muestra los valores de pH de los tratamientos. La Norma Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018 menciona que las compostas deben de tener pH de 6.7 a 8.5, mencionando que los tratamientos T1 y T3 tienen pH favorable, y se caracterizan siendo compostas de tipo 2. El vermicompost de cuadro a la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018 debe de tener un pH de 5.5 a 8.53, por ende, también tiene un pH favorable.

Tabla 13. Contenido de pH de los tratamientos.

Tratamiento	Valor
T1: Abono Verde (tallos y hojas de maíz cacahuazintle)	7.03
T2: Vermicompost	7.34
T3: Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	7.80

7.4 Características físicas del suelo a los 60 días de la aplicación de los abonos orgánicos (tratamientos).

Las propiedades físicas de los suelos tienen relación con su adecuación para los usos a que se les destina (Henry, 1997). El cuadro 14 muestra características físicas del suelo textura, color y porosidad. Menciona Henry (1997) que el tamaño relativo de las partículas del suelo se expresa la textura; la textura es la proporción relativa de arena, limo y arcilla. La textura en los tres tratamientos no mostró cambios, siguió siendo la misma, franco-arenoso; Las partículas de arena son de tamaño relativamente grande y en consecuencia exponen poca superficie en comparación con aquella que expone un peso igual de

partículas de limo o de arcillas (Henry, 1997). El color del suelo lo determina la naturaleza del material fino (FitzPatrick, 1984). El color cambió en todas las parcelas que se aplicaron los tres tratamientos, paso de color Café rojizo a Café amarillento oscuro. De acuerdo FitzPatrick (1984). El color del suelo es determinado por la cantidad y estado del hierro y/o de la materia orgánica. El color rojo de muchos suelos desarrollados en condiciones fuertemente aeróbicas en zonas tropicales y subtropicales por la hematita (Fe_2O_3). El cambio del color del suelo a un amarillento oscuro al aplicar los tratamientos se debe a que la incorporación de materia orgánica coloidal imparte colores pardos a las matrices.

Los poros son la parte del suelo ocupada por agua o por atmósfera de este. La textura y la estructura del suelo influyen mucho en el peso y espacio poroso. A medida que aumenta la densidad del suelo el espacio poroso disminuye y viceversa. Los suelos arenosos hay menos volumen ocupado por espacios porosos; en un suelo arenoso, el espacio poroso puede ser bajo, pero una gran parte de este está formada con poros grandes, en los cuales se mueve con facilidad el agua y el aire (FitzPatrick, 1984). El cuadro 15 muestra el porcentaje de porosidad, el cual no presentó cambios en el suelo, ya que con la densidad aparente mostrada en él. cuadro 16, el cambio de densidad fue muy poco, lo cual quiere decir que no hubo cambio en el porcentaje de porosidad.

Tabla 14. Características físicas del suelo después de la aplicación de los tratamientos (Abonos orgánicos).

Parcela	Textura	Color	Porosidad %
T1: Aplicación de Abono Verde (tallos y hojas de maíz cacahuazintle).	Franco-arenoso	Café amarillento oscuro.	98.20

T2: Aplicación de Vermicompost	Franco- arenoso	Café amarillento oscuro.	98.16
T3: Aplicación de Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	Franco- arenoso	Café amarillento oscuro.	98.00
T4: suelo sin abonos orgánicos (Testigo).	Franco- arenoso	Café rojizo	98.43

Densidad aparente es la relación que existe entre el peso seco (105° C) de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo (Rucks et al., 2004). La densidad aparente de la mayoría de los horizontes es de 1.3, los extremos pueden variar de 0.55 en algunos suelos desarrollados de rocas volcánicas a 2.0 para algunos horizontes inferiores muy compactados (FitzPatrick, 1984). En la tabla 15 se muestran la densidad aparente que se determinó en las praderas en las que aplicaron los abonos orgánicos, mostrando que la aplicación del T1 en el suelo disminuyó notoriamente, y en los suelos donde se aplicaron los tratamientos T2 y T3 se presentó una ligera disminución. Densidad real es el promedio ponderado de las densidades de las partículas sólidas del suelo (Rucks et al., 2004). La tabla 15 muestra los porcentajes de la densidad real, lo cual el suelo que se le aplicó el tratamiento 3 se observó mayor disminución, seguido por el suelo del tratamiento 1.

Tabla 15. *Propiedades físicas del suelo, Densidad aparente y Densidad real después de 60 días de aplicación de los abonos orgánicos (tratamientos).*

Parcela	Densidad aparente %	Densidad real%
T1: Aplicación de Abono Verde (tallos y hojas de maíz cacahuazintle) + Suelo.	0.96	53.86
T2: Aplicación de Vermicompost	1.04	55.9
T3: Aplicación de Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	1.04	52.46
T4: suelo sin abonos orgánicos (Testigo).	1.1	56.21

7.5 Características químicas del suelo después de la aplicación de los tratamientos.

El contenido de carbono orgánico en el suelo después de 60 días de aplicado los tratamientos presentó diferencias significativas ($P=0.001$) el Tratamiento 4 (testigo) presentó menor contenido de carbono orgánico que el tratamiento 1, 2 y 3. Se muestra en la tabla 17 los resultados de los tratamientos aplicados. Numéricamente el carbono orgánico el T1 fue el que presento mayor porcentaje entre los demás tratamientos, en el cuadro 2 se muestra el contenido inicial del suelo de carbono orgánico y al final de los 60 días se observa que el contenido de CO aumentó hasta un 67.68% en el suelo donde se aplicaron los tratamientos de abonos orgánicos. como estaba el porcentaje en el suelo previo a la aplicación de los tratamientos, mientras que los tratamientos 1 y 2 fueron similares sus resultados de ambos tratamientos.

La materia orgánica en el suelo después de los 60 días de aplicación de los tratamientos presento diferencias significativas ($P= 0.000$), en el suelo donde se aplicaron los tratamientos, mostrando los resultados en la tabla 17. El suelo con mayor contenido de materia orgánica fue el suelo donde se aplicó el T1 (suelo + hojas y tallos de maíz cacahuazintle). El tratamiento 4 (testigo) fue el suelo que no se le aplicó abono orgánico y presentó menor contenido de materia orgánica.

El pH del suelo es un factor que determina el grado de acidez o de alcalinidad, que mide la concentración de hidrogeniones en una disolución (Herrera et al., 2022). El pH del suelo después de la aplicación de los tratamientos aumento mostrando diferencias significativas ($P= 0.008$) entre tratamientos y el testigo. El pH del suelo con los tratamientos orgánicos presentó en promedio 6.94 de pH, lo cual indica que mejoró la disponibilidad de nutrientes del suelo para las plantas del pastizal. Mejorando hasta en un 1.9 del pH del suelo testigo (sin abonos orgánicos).

Tabla 16. Contenido de carbono orgánico, materia orgánica del suelo y pH después de la aplicación de los tratamientos en el suelo.

Tratamientos	Dosis	Carbono orgánico %	Materia orgánica %	pH
T1: Suelo + Aplicación de Abono Verde (tallos y hojas de maíz cacahuazintle)	1.5 ton/ha	3.54 a	8.1 a	7.23 a
T2: Suelo + Aplicación de Vermicompost	1.5 ton/ha	2.76 a	5.08 b	6.95 b

T3: Suelo + Aplicación de Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	1.5 ton/ha	2.53 a	4.37 c	6.66 b
T4: suelo sin abonos orgánicos (Testigo).		0.73 b	1.34 d	5.06 c

En el suelo básicamente el potasio se encuentra en forma de minerales que se intemperizan y liberan iones de potasio. Los iones son absorbidos en el intercambio de cationes y están fácilmente disponibles para su absorción por las plantas (Henry ,1997). El contenido de potasio se observa en la tabla 17, después de la aplicación de los tratamientos se presentaron diferencias significativas ($p= 0.0001$) entre los tratamientos. El Óxido de potasio de igual manera los tratamientos presentaron diferencias significativas ($p= 0.0001$). El suelo del T4 (testigo) presentó los niveles más bajos de óxido de potasio.

Tabla 17. Contenido de Potasio y Oxido de potasio en el suelo después de la aplicación de los tratamientos.

Tratamientos.	Dosis	K mg/l	K ₂ O mg/l
T1: Aplicación de Abono Verde (tallos y hojas de maíz cacahuazintle).	1.5 ton/ha	12.63 c	12.63 b
T2: Aplicación de Vermicompost	1.5 ton/ha	13.63 b	8.11 c
T3: Aplicación de Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	1.5 ton/ha	16.71 a	20.48 a
T4: suelo sin abonos orgánicos (Testigo).		1.4 d	1.7 d

K= potasio y K₂O = óxido potasio

El fósforo es el segundo nutrimento mineral en importancia en la agricultura; la razón es porque el fósforo es un elemento muy reactivo en el suelo y rápidamente pasa a formas más complejas que son de difícil absorción para las plantas (INTAGRI, 2017). Por ello el contenido de fosforo es bajo en el suelo porque es un elemento que tarda la absorción del nutriente al suelo y la planta. El fósforo desempeña un papel indispensable como combustible universal para todas las actividades bioquímicas de las células vivientes. Los enlaces de alta energía del trifosfato de adenosina (ATP) al convertirse en bifosfato de adenosina liberan energía para trabajo (Henry, 1997). En la tabla 18 se muestra el contenido de fosforo en el suelo posterior a la aplicación de los abonos orgánicos, se observaron diferencias significativas ($p=0.002$) donde el suelo de los tratamientos 1, 2 y 3 estadísticamente fueron iguales. El óxido fosfórico presentó diferencias significativas ($p=0.006$) entre tratamientos, teniendo mayor contenido el suelo del tratamiento 1 y el menor contenido fue el suelo del tratamiento 4 (Testigo). El fosfato es la forma en que la planta absorbe el fosforo, el suelo mostro diferencias significativas ($p=0.001$) entre los tratamientos.

Tabla 18. Contenido de fósforo, óxido fosfórico y fosfato después de 60 días de la aplicación de los tratamientos en el suelo.

Parcela.	Dosis	(P) (mg/l)	(P₂O₅) (mg/l)	(PO₄³⁻) (mg/l)
P1: Aplicación de Abono Verde (tallos, hojas de maíz cacahuazintle)	1.5 ton/ha	0.83 a	5.65 a	2.47 b

P2: Aplicación de Vermicompost	1.5 ton/ha	1.01 a	2.01 a	3.23 a
P3: Aplicación de Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	1.5 ton/ha	0.93 a	1.46 a	1.96 bd
T4: suelo sin abonos orgánicos (Testigo).		0.55 b	0.35 b	1.6 cd

P= Fósforo, P₂O₅ = óxido fosfórico y PO₄³⁻ = Anión fosfato

Los nitratos se absorben de manera activa, es decir, con gasto de energía. Enzimas especiales catalizan el pasaje de los iones de NO₃⁻ a través de las membranas celulares, sobre todo a nivel de pelos radiculares. Los iones se absorben en menor proporción cuando las temperaturas son bajas (INTAGRI, 2016). Los nitratos en forma de nitrógeno en el suelo después de la aplicación de los tratamientos mostraron diferencias significativas (p= 0.0001), los suelos donde se aplicó el tratamiento 1 y 2 no mostraron diferencias significativas entre ellos (p= 0.2499); el nitrato del suelo donde se le aplicaron los tratamientos 3 y 4 fue diferente (P=0.0001), el tratamiento 4 (testigo) presentó menor contenido de nitratos comparado con los suelos donde se aplicaron abonos orgánicos donde fue mayor.

Tabla 19. Contenido de nitratos en el suelo después de los 60 días de aplicación de los tratamientos.

Parcela	Dosis	(NO ₃ ⁻ - N)	(NO ₃ ⁻)
P1: Aplicación de Abono Verde (tallos y hojas de maíz cacahuazintle)	1.5 ton/ha	6.73 b	30.23 a
P2: Aplicación de Vermicompost	1.5 ton/ha	5.8 b	26.28 b
P3: Aplicación de Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	1.5 ton/ha	8.51 a	22.1 c
T4: suelo sin abonos orgánicos (Testigo).		1.3 c	16.43 d

NO₃⁻-N = nitratos en forma de nitrógeno y NO₃⁻ = anión nitrato

Los iones mineralizados de amonio tienen un corto periodo de vida. algunos son temporalmente absorbidos a la superficie de arcilla cargadas negativamente o a las partículas orgánicas, otros son directamente por las plantas. Eventualmente, la mayoría de los iones de amonio son oxidados por bacterias selectivas (Nitrosomas y Nitrobacterias principalmente) a la forma de nitrato, a esto se le denomina nitrificación (Donahue et al., 1988). En la tabla 20 muestra el contenido de amonio en el suelo después de 60 días de aplicación de los abonos orgánicos, se mostraron diferencias significativas (P= 0.002) entre el suelo que se le aplicaron los tratamientos y el testigo (tratamiento 4); los suelos de los tratamientos 1 y 4 son los que menor contenido de amonio obtuvieron, no mostraron diferencias significativas (p=0.0524). El nitrógeno en forma de amoniaco que se muestra en el cuadro 21 los suelos que se aplicaron los tratamientos presentaron diferencias significativas (P= 0.007); el suelo del tratamiento 1 y 4 fueron los que tuvieron contenido bajo de nitrógeno en forma de amoniaco, lo cual entre ellos no mostraron diferencias

significativas ($P= 0.5709$) a diferencias de los suelos de los demás tratamientos con los cuales si se obtuvieron diferencias significativas.

El amoniaco en el suelo después de la aplicación de los tratamientos mostró diferencias significativas ($P= 0.005$), el que obtuvo menor contenido de amoniaco fue el suelo del tratamiento 1 y 4.

Tabla 20. Contenido de amonio en el suelo después de la aplicación de los tratamientos.

Parcela	Dosis	Disponible Nitrógeno (NH_4^+) amonio	Nitrógeno en forma de amoniaco. ($\text{NH}_3\text{-N}$)	Amoniaco. (NH_3)
T1: Aplicación de Abono Verde (tallos y hojas de maíz cacahuazintle)	1.5 ton/ha	0.77 ac	0.57 ac	0.92 a
T2: Aplicación de Vermicompost	1.5 ton/ha	1.26 a	0.93 a	1.2 a
T3: Aplicación de Compost (75% desechos de hortalizas + 25% de heces.)	1.5 ton/ha	1.09 a	0.90 a	1.04 a
T4: suelo sin abonos orgánicos (Testigo).		0.27 bc	0.43 bc	0.48 b

NH_4^+ = amonio, $\text{NH}_3\text{-N}$ = nitrógeno en forma de amoniaco y NH_3 = amoniaco

Los abonos orgánicos como estrategia de recuperación en suelos degradados de pastizales naturales es una alternativa que se implementó en el suelo dañado, los

resultados obtenidos se observan en la tabla 21, las características físicas de cada tratamiento aplicado tuvieron un efecto lento, esto es por el corto tiempo de evaluación de 60 días, se vieron reflejados en los resultados como en la densidad aparente fue poco notorio el cambio, de igual forma en la densidad real y el porcentaje de textura, la única característica que se vio reflejado el cambio fue el color, que paso de café rojizo a café amarillo oscuro ya que al incorporar materia orgánica obtuvo este cambio. Las características químicas mostraron diferencias significativas entre tratamientos; el tratamiento 1 abono verde se muestra su alto contenido de nitrógeno en sus formas determinadas que fueron en amonio y nitratos, por ende, se utilizó como fuente de nitrógeno que se le incorporo al suelo, no obstante, los demás tratamientos 2 y 3 también mostraron aumento en este elemento. Así García et al. (2000) mencionan en su investigación, la aplicación del abono verde ha demostrado una eficiente sustitución de fertilizantes nitrogenados, aplicándolos en cultivo de papa utilizando variedades de frijol, que causaron efectos positivos en la fertilización nitrogenada con un buen rendimiento en el cultivo de papa, su evaluación duro 60 días los porcentajes de Nitrógeno de cada variedad de frijol fueron de 3.3 % al 3.5%. En este trabajo también el fosforo mostró incremento de 0.40% a 0.44% y el potasio de 3.0% a 3.6%, esto quiere decir que el abono verde elaborado con hojas y tallos verdes de maíz, es una alternativa de abono orgánico que se debe tomar en cuenta para la recuperación de los suelos degradados de pastizales nativos o de otros suelos. López et al., (2001) mencionan que los desperdicios vegetales, son productos biodegradables, para elaborar compost usándola como alternativa para sustituir la fertilización inorgánica, al aplicar composta para la producción de maíz, obteniendo resultados favorables en los macronutrientes; en nitrógeno después de la aplicación 1.5%, en fósforo 0.11% y en Potasio 3.5%

El contenido de materia y carbono orgánicos después de la aplicación de los tratamientos aumentó gradualmente paso de 1.34 % de M.O, con el tratamiento de abono verde fue de 8.1% que fue el que mostró mayor incremento. Ramos et al., (2019) evaluaron las propiedades químicas en el suelo después de la aplicación del vermicompost en el suelo cultivado de cacahuete y tuvieron resultados favorables donde el nitrógeno fue de 0.05%, el fósforo 47.52 mg/ kg y Potasio 12.18 mg/kg.. De igual forma menciona que los macroinvertebrados presentes en el suelo se relacionan con su fertilidad, son el primer contacto para desintegración de residuos orgánico; su parcela experimental mostro al principio gran pobreza de macrofauna, solo se obtuvieron lombrices, en este trabajo al inicio del experimento se identificaron solo lombrices y hormigas. De acuerdo con Ramos et al. (2019) la macrofauna promueve la excavación de túneles, reacción de galerías, contribuyen a la estructura del suelo, así como la retención de agua y transportación de nutrientes, En este trabajo se demostró que la lombricomposta mejoró las características biológicas del suelo para gestionar el rendimiento de nutrientes mejorando la fertilidad del suelo.

La aplicación de los abonos orgánicos aumento los nutrientes del suelo en diferentes proporciones, beneficiando al ecosistema suelo y a los pastizales con lo cual se disminuye la erosión y mejora la calidad de los suelos.

Tabla 21. *Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de la aplicación de los abonos orgánicos y después de la aplicación.*

Variables	Suelo inicial.	Suelo después de la aplicación de T1 Abono Verde	Suelo después de la aplicación de T2 Vermicompost	Suelo después de la aplicación de T3 compost (hortalizas 75% de hortalizas + 25% de heces)
Textura	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso
Color	Café rojizo	Café Amarillo oscuro	Café Amarillo oscuro	Café Amarillo oscuro
Densidad aparente.	1.1	0.96	1.04	1.04
Densidad Real.	56.21	53.87	55.9	55.46
Porosidad. %	98.43	98.20	98.16	98.0
C.O %	0.73	3.54	2.76	2.53
M.O %	1.34	8.1	5.08	4.37
pH	5.06	7.23	6.95	6.66
Amonio mg/l	0.27	0.77	1.26	1.09

Nitratos mg/l	16.43	30.23	26.28	22.1
Fosforo mg/l	0.55	0.83	1.01	0.93
Potasio m/l	1.4	12.63	13.63	16.71

7.6 Inventario de Macrofauna del suelo.

La vida en el suelo tiene una enorme diversidad, que abarca de organismos microscópicos y unicelulares hasta animales grandes. Al igual que en los organismos que viven sobre el suelo, existen ahí cadenas alimenticias y competencia sobre la supervivencia (Henry, 1997). Al inicio del experimento cuando se establecieron las micro praderas se observó y realizó el inventario de la macrofauna, para ello se tomaron muestra del suelo al azar para poder identificar las especies que habitaban en ese ecosistema, solo se logró identificar hormigas pequeñas, algunas lombrices de tierra y gallinas ciegas (*Phyllophaga* spp.). Al final del experimento, se observó que la macrofauna incrementó, se identificaron además de las primeras especies otras como; grillos, larvas, escarabajos, arañas, lombriz de tierra, Gallina ciega (*Phyllophaga* spp.), Cochinillas (*Dactylopius coccus*), Termitas y entre otras especies no identificadas.



El cuadro 21 muestra que especies se encontraban en el suelo antes de la aplicación de los abonos orgánicos, al inicio se encontraron muy pocas especies, la aplicación de los abonos orgánicos en los suelos de los pastizales, ayudó a la nutrición del suelo y también beneficio

a los ecosistemas, se muestra en el cuadro 21 el incremento de macrofauna de igual forma se toma en cuenta las condiciones climatológicas ya que las especies que habitan son de acuerdo a estas condiciones, además de encontrar la forma de vida de algunas especies, se demuestra que la fertilización orgánica de cualquier tipo es benéfica para el aumento de macrofauna.

La macrofauna al igual que los microorganismos se distribuyen casi por completo por la disponibilidad de alimentos y, por tanto, se concentran en los 2 a 5 cm. Por lo general. Solo unos cuantos, como las lombrices y los termites, penetran hasta 10 a 20 cm; la meso fauna necesita el suelo bien aireado, ya que requieren oxígeno atmosférico y por lo cual no pueden vivir en suelos encharcados o lodosos (FitzPatrick, 1984).



Ilustración 31 Túneles y estructura del suelo, hechos por la macrofauna que habita.

Tabla 22. *Inventario de la macrofauna encontrada en el suelo inicial del experimento y la macrofauna después de la aplicación de los abonos orgánicos.*

Macrofauna inicial.	Macrofauna después de la aplicación de los abonos orgánicos.
<ul style="list-style-type: none"> - Hormigas - Lombriz - Gallina ciega. - 	<ul style="list-style-type: none"> - Larvas - Lombrices - Gallina ciega (Phyllophaga spp.) - Grillos - Escarabajos - Arañas - Cochinillas (Dactylopius coccus). - Termitas - Otras especies.

VII. CONCLUSIONES.

El uso de los abonos orgánicos fue una estrategia de regeneración de los suelos degradados de pastizales naturales, mejoró las propiedades químicas del suelo, todos los tratamientos mostraron un incremento de nutrientes, esto ayudó al suelo para mejorar sus condiciones. Las propiedades físicas fueron las que menos cambiaron, por el poco tiempo en el que se obtuvieron los resultados (60 días).

Los tratamientos (abonos orgánicos) mostraron diferencias importantes en la eficiencia en términos de la recuperación de suelos degradados. Se obtuvieron claras diferencias en la composición nutricional del suelo y consecuentemente en la identificación de más especies de la macrofauna. La fertilización del suelo de los pastizales fue importante, ya que los requerimientos de nutrientes de los pastizales se basa principalmente en nitrógeno asimilable en la planta, no obstante dejando sin importancia los demás nutrientes, todos los tratamientos aplicados al suelo mostraron aumento de nutrientes en el suelo, pero el tratamiento 1 (Abono verde) mostro mayor incremento de nutrientes en el suelo, así como de C.O, M.O, pH, entre otras, por tal motivo se vio reflejado la gran cantidad de microorganismos que se encuentran en el suelo por las condiciones climatológicas.

VIII. RECOMENDACIONES

La utilización de abonos orgánicos para colaborar a disminuir la degradación del suelo en pastizales nativos, es una alternativa que recomiendo dar seguimiento con la incorporación de materia orgánica y carbono orgánico al suelo, ya que se demostró el incremento de nutrientes y mejora de propiedades físicas y químicas del suelo, se propone al menos incorporar un tipo de abono orgánico (compost, vermicompost y abono verde.), el cual esté al alcance del productor y pueda aprovechar sus recursos naturales, esto se debe de hacer al menos dos o tres veces al año, recomiendo realizar la aplicación de abonos orgánicos en a finales del invierno y comienzo de la primavera, ya que esto ayuda a una mejor incorporación y retención de nutrientes en el suelo, con ayuda de las condiciones climáticas que favorecen esto. Los abonos orgánicos son regeneradores del suelo, esto beneficia a los pastizales que se encuentran en él, esto ayudara a la conservación de macrofauna que habita en el suelo. La dosis recomendada para la aplicación de los abonos orgánicos es de 1.5 ton/ha.

Para los pastizales recomiendo utilizar abonos orgánicos que contenga un gran contenido de nitrógeno, ya que los pastizales son gramíneas y ocupan más de este nutriente para su desarrollo, se recomienda utilizar los abonos verdes ya que son fijadores de nitrógeno, además el abono verde hecho con residuos de maíz en etapa vegetativa muestra un gran contenido de este macronutriente.

El trabajo se redactaron las técnicas de laboratorio para el análisis del suelo y de los abonos orgánicos con el fin de que se un manual que se pueda consultar para quien lo dese.

IX. REFERENCIAS

Ácome Vallejo. 2011. Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en un inceptisol on propiedades indicas en la microcuenca centella dagua – valle

Banegas, N. (Enero de 2014). Catedra de Edafología: Facultad de Agronomía y Zootecnia. Obtenido de Calidad y salud del suelo: <https://www.edafologia.org/>

CICEANA. (2007). Ciclo del nitrógeno. Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América. Ciudad de Mexico. Obtenido de: http://www.divulgacion.ccg.unam.mx/webfm_send/109

Donahue, Roy L., Raymond W., Miller y Schickluna, John C. (1988). Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. México, D. F.: Prentice-Hall Hispanoamericana.

D. Berlinjn, I. J. (2008). Manual para educacion Agropecuaria: Pastizales Naturales. Produccion vegetal. México: Trillas.

D.Berlijn, I. J., & et.al. (1982). Manuales para la educaion agropecuaria. México: Trillas.

E.Bignell, D., Constantino, R., Csuzdi, C., Karyanto, A., Konaté, S., Louzada, J., . . . Zanetti, R. (25 de junio de 2012). Manual de Biología de suelos tropicales. Obtenido de Cap 3 Macrofauna: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/667/cap3.pdf>

ENASAS, 2011. Estrategia Nacional de Suelo para la Agricultura Sostenible.

ETEA, & IM. (11 de Julio de 2018). Departamento de Desarrollo Ambiental de la Intendencia de Montevideo. Obtenido de MANUAL DE VERMICOMPOSTAJE: CÓMO RECICLAR NUESTROS RESIDUOS

ÓRGANICOS:

<https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>

FAO. (2023). Propiedades Físicas. Portal de Suelos de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/#:~:text=Una%20densidad%20aparente%20alta%20indica,el%20crecimiento%20de%20las%20plantas.>

FAO. (27 de Noviembre de 2013). MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR:Experiencias en América Latina. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/3/i3388s/l3388S.pdf>

Farías, E. N. (1994). FÍSICA DE LOS SUELOS: Con un enfoque agrícola. México: TRILLAS.

FitzPatrick, E. A. (1984). Suelos: su formación, clasificación y distribución. México: C.E.C.S.A..

Finck, A. (1988). Fertiizantes y fertilizacion. Fundamentos y metodos para lafertilizacion de los cultivos. España: REVERTÉ, S.A.

Foth Henry D. (1997). Fundamentos de la ciencia del suelo ([3a ed. en español de la 7ª reimpresión]). Compañía Editorial Continental.

García, M., Treto, E. y Álvarez, M. (2000). LOS ABONOS VERDES: UNA ALTERNATIVA PARA LA ECONOMÍA DEL NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE LA PAPA. I. ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES ESPECIES. Cultivos Tropicales , 21 (1), 5-11.

Hernandez Rodriguez, O. A., & Et.al. (02 de Octubre de 2021). RU- ECONOMIA UNAM. Obtenido de Situación actual del recurso suelo en México y la incorporación de abonos organicos como estrategia para su conservacion:

<http://ru.iiec.unam.mx/5454/1/070-Hern%C3%A1ndez-%C3%81vila-Garc%C3%ADa.pdf>

Herrera Altuve, J.A., Ramírez Santoyo, L.P., Guzmán Mendoza, R. y Gordon Palenius. (2022). Evaluación de la fertilidad del suelo y de la nutrición de los cultivos. España: RUTH.

HINRICH L. BOHN, et al. (1993). Química del suelo. México: LIMUSA.

INTAGRI. (24 de MAYO de 2017). La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos. Serie Suelos. Artículos Técnicos Intagri, 5. Obtenido de INTAGRI.

INTAGRI. 2017. Fijación de Potasio en el Suelo. Serie Suelos Núm. 31. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p

INTAGRI. 2017. Uso Eficiente del Fósforo en la Agricultura. Serie Nutrición Vegetal Núm. 105. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.

INTAGRI. 2016. Formas químicas de absorción del nitrógeno. Serie nutrición vegetal. Artículos técnicos de INTAGRI. México. 2p.

L.M Thompson & F.R. Troeh. (2002). Los suelos y su fertilidad. España: REVERTE.

La via campesina. (15 de Enero de 2003). La via campesina. Obtenido de Movimiento Campesino Internacional: <https://viacampesina.org/es/que-es-la-soberania-alimentaria/>

LópezMtz., JD, DíazEstrada, A., MartínezRubin, E., & ValdezCepeda, RD (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra Latinoamericana , 19 (4), 293-299.

López Galán, M. E., Miñano Fernández, F. (1988). Métodos rápidos de análisis de suelos. España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Dirección General de Investigación y Capacitación Agrarias.

M.S, F. M., Huising, E., & E. Bignell , D. (29 de Junio de 2012). Manual de biología de suelos tropicales. Obtenido de Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo: http://189.240.101.244:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/217/667_2012_Manual_biologia_suelos_tropicales.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Marta Messa. (2016). SPA_suolo.pdf. Obtenido de El suelo : https://www.slowfood.com/wp-content/uploads/2020/12/SPA_suolo.pdfMinisterio de Agricultura. (ENERO de 2003). Proyecto de subsectorial de irrigacion (PSI). Obtenido de biblioteca_boletines_el_suelo.pdf: https://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/biblioteca_boletines_el_suelo.pdf

Navarro gracia, Gines y Navarro Blaya Simón. (2000). Química Agrícola: El suelo y sus elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Mundi-Presa, Madrid, Barcelona y México.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Publicada en el Diario Oficial de la Federación 2002-12-31.

Norma Oficial Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018, Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación 26/09/18.

Ramos Oseguera, CA, Castro Ramírez, AE, León Martínez, NS, Álvarez Solís, JD, & Huerta Lwanga, E. (2019). Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuate (*Arachis hipogaea* L.). *Terra Latinoamericana* , 37 (1), 45-55. <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.331>

Rucks L., García. F., Kaplán A., Ponce de León J. y Hill M. (2004) Propiedades Físicas del Suelo. FACULTAD DE AGRONOMÍA UNIVERSIDAD DE LA

REPÚBLICA. MONTEVIDEO-URUGUAY. Obtenido de:
<https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>

PORTA CASANELIAS, J. (1999). EDAFOLOGÍA: Para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, Barcelona, Mexico: Mundi.Prensa.

Semarnat. (septiembre de 2003). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de Compendio de estadísticas ambientales :
https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/index.htm

Semarnat. (2025 de mayo de 2017). SEMARNAT. Obtenido de Suelos:
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap3_Suelos.pdf