



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

LICENCIATURA EN INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

**CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS CON DIFERENTES USOS: AGRÍCOLA,
PASTIZAL Y SILVOPASTORIL, EN EL EJIDO EL PEÑÓN MUNICIPIO DE
TEMASCALTEPEC, MÉXICO**

TESIS

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

QUE PRESENTA:

PABLO JAVIER PUNTOS ANASTASIO

ASESORA DE TESIS:

DRA. FRANCISCA AVILÉS NOVA

CO- ASESOR:

M EN CARN. TANIA GUADALUPE OSORIO MONTOR

TEMASCALTEPEC DE GONZALES, MEXICO, SEPTIEMBRE, 2024.

INDICE

RESUMEN	13
I. INTRODUCCIÓN	1
II.- REVISION DE LITERATURA	2
2.1 El suelo	2
2.1.1 Componentes del suelo	3
2.1.2 Propiedades del suelo	4
2.2 Características físicas del suelo.....	5
2.3 Calidad del suelo	9
2.4 Suelo fértil	10
2.4.1. Parámetros por considerar para un suelo fértil	10
2.5 Situación actual de los suelos agrícolas	11
2.6 Los cambios en el uso del suelo	13
2.7 La materia orgánica en el suelo	14
2.7.1 Importancia de la materia orgánica.....	15
2.8 Los microorganismos del suelo.....	16
2.8.1 Macrofauna.....	17
2.9 Determinación total de materia orgánica.....	19
2.10 Procesos químicos de la materia orgánica sobre el suelo	20

2.11 Carbono del suelo	22
2.12 Carbono orgánico del suelo	24
2.12.1 Ciclo del carbono	24
2.13 Secuestro de carbono	25
2.13.1 Factores que intervienen en la captura de carbono en el suelo.....	26
2.15 Descomposición del carbono	28
2.15.1 Humificación	28
2.16 Tendencia de la captura de carbono en suelo	29
2.16.1 Conservación de carbono orgánico en el suelo	30
2.16.2 Estabilización del carbono en el suelo	31
2.17 Dióxido de carbono	31
2.18 Cambio climático.....	32
2.19 Flujos de carbono en suelo, difusión de dióxido de carbono.....	33
2.20 Usos del suelo en el ejido El Peñón.....	33
2.21 El carbono en los pastizales	34
2.22 Captura de carbono en los bosques	34
2.23 El carbono orgánico en suelos agrícolas de México	37
2.24 Carbono orgánico en sistemas silvopastoriles	37
2.25 Servicios ecosistémicos de los bosques	38
III.- JUSTIFICACION.....	39

IV.- HIPOTESIS	41
V.- OBJETIVOS	42
5.1 Objetivo general.....	42
5.2 Objetivos específicos	42
VI.- MATERIALES Y METODOS	43
6.1 Localización del sitio experimental.....	43
6.2 Materiales para toma de muestras de suelo	44
6.2.1 Material de campo para tomar muestras de suelo.....	44
6.3 Tomas de muestras	45
6.4 Proceso para toma de muestras	45
6.5 Análisis de carbono en el suelo	48
6.6.-Diseño experimental y análisis de datos.....	53
6.7 Diseño experimental.	53
VII.- RESULTADOS Y DISCUSION	54
7.1 Contenido de carbono orgánico en suelos con diferente uso en la unidad de producción El Peñón.....	54
7.2 Contenido de carbono orgánico en suelos con diferente uso de la unidad de producción Los Timbres.....	57
7.3 Contenido promedio del porcentaje de carbono orgánico presente en suelo de 0-10 cm en las unidades de producción de Los Timbres y El Peñón en el periodo de muestreo	60

7.3.1 Contenido promedio de carbono orgánico en los diferentes usos del suelo de 0 – 10 cm.....	60
7.3.2 Contenido de carbono en el suelo a profundidad de 0-10 cm en las unidades de producción en cada mes de muestreo.....	61
7.4 Contenido de carbono orgánico en el suelo a profundidad de 10-20 cm en las unidades de producción de Los Timbres y El Peñón del municipio de Temascaltepec Estado de México, en cada mes de muestreo.	62
7.4.1 Contenido promedio de carbono orgánico en los diferentes usos del suelo a profundidad de 10 – 20 cm.....	63
7.4.2 Contenido de carbono en las unidades de producción a profundidad de 10 - 20 cm de cada mes de muestreo.....	64
7.5 Contenido de carbono orgánico a profundidad de 0-10 y 10-20 cm en las unidades de producción Los Timbres y El Peñón	65
7.6 Contenido de materia orgánica de 0 – 10 en la unidad de producción Los Timbres	66
7.6.1 Contenido de materia orgánica de 10 – 20 en la unidad de producción Los Timbres.....	66
7.7 Contenido de materia orgánica de 0 – 10 cm en la unidad de producción El Peñón	67
7.7.1 Contenido de materia orgánica de 10 – 20 cm en la unidad de producción El Peñón	67
8.0 Promedio de fijación de carbono en suelo en la unidad de producción Los Timbres	71
8.1 Promedio de fijación de carbono en suelo en la unidad de producción El Peñón ...	71

VIII.-CONCLUSION.....	73
IX.- LITERATURA CONSULTADA.....	74

Índice de tablas

Tabla 1 Características generales del suelo en base al color (Castellanos,2000)	6
Tabla 2. Porcentaje de carbono orgánico del suelo (%) en la unidad de producción Los Timbres	55
Tabla 3. Porcentaje de carbono orgánico del suelo en la unidad de producción El Peñón	58
Tabla 4. Promedio del porcentaje de carbono por unidad de producción 0 - 10 cm	60
Tabla 5. Promedio de carbono en diferentes usos del suelo (%)	61
Tabla 6. Promedio de carbono en suelo de 0 a 10 cm febrero – agosto de cada unidad de producción.....	62
Tabla 7. Contenido de carbono orgánico del suelo a profundidad de 10 - 20 en las unidades de producción de El Peñón y Los Timbres del municipio de Temascaltepec, estado de México	62
Tabla 8. Promedio de carbono orgánico en diferentes usos del suelo (%) en las unidades de producción El Peñón y Los Timbres del municipio de Temascaltepec, Estado de México.....	63
Tabla 9. Promedio de carbono en suelo de 10 a 20 cm, durante el periodo febrero – agosto de cada unidad de producción.....	64
Tabla 10. Contenido de carbono orgánico en el suelo a profundidad de 0-10 cm y 10-20 cm en las unidades de producción de Los Timbres y El Peñón en los diferentes usos del suelo.....	65

Tabla 11. Contenido de materia orgánica en suelo de 0 - 10 cm	66
Tabla 12. Contenido de materia orgánica en suelo de 10 – 20 cm	67
Tabla 13. Contenido de materia orgánica en suelo de 0 – 10 cm	67
Tabla 14. Contenido de materia orgánica en suelo de 10 – 20 cm	68
Tabla 15. Captura de carbono en diferentes usos del suelo a profundidad de 0 a 10 cm de la superficie	68
Tabla 16. Captura de carbono a profundidad de 10 a 20 cm en diferentes usos del suelo	69
Tabla 17. Captura de carbono a profundidad de 0 a 10 cm en diferentes usos del suelo en Los Timbres	70
Tabla 18. Captura de carbono (mg/ha) a profundidad de 10 a 20 cm en diferentes usos del suelo durante el periodo de muestreo en la unidad productiva El Peñón	70
Tabla 19. Promedio de la fijación de carbono (mg/ha) en diferentes usos del suelo de 0 a 10 y de 10 a 20 cm	71
Tabla 20. Promedio de la fijación de carbono (mg/ha) en diferentes usos del suelo de 0 a 10 y de 10 a 20 cm	71

Índice de gráficos

Grafica 1 Nivel de degradación de los suelos en México (SEMARNAT,2002).....	13
Grafica 2. Porcentaje de carbono en suelo de pastizal de 0-10 y de 10- 20 cm durante los meses de muestreo	56
Grafica 3. Porcentaje de carbono en suelo de uso silvopastoril de 0-10 y de 10- 20 cm durante los meses de muestreo	56

Grafica 4. Porcentaje de carbono en suelo de pastizal de 0-10 y de 10- 20 cm durante los meses de muestreo	57
Grafica 5. Porcentaje de carbono en suelo de pastizal de 0-10 y de 10- 20 cm durante los meses de muestreo.	58
Grafica 7. Porcentaje de carbono en suelo de uso agrícola de 0-10 y de 10- 20 cm durante los meses de muestreo	59
Grafica 6. Porcentaje de carbono en suelo silvopastoril a profundidad de 0-10 y de 10- 20 cm durante los meses de muestreo	59

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Horizontes del suelo	2
Ilustración 2 Tamaño de partículas del suelo	4
Ilustración 3 Triangulo de texturas	8
Ilustración 4 Esquema simplificado de la transformación de la M.O en el suelo (Porta,1994)	15
Ilustración 5 Fuente: Fao,2021 Macrofauna del suelo (Lombriz de tierra)	19
Ilustración 6 Clasificación de los suelos de acuerdo con el % de M.O.....	20
Ilustración 7 Ciclo del carbono	25
Ilustración 8 Proceso de transformación de la materia orgánica	29
Ilustración 9 Aumento de dióxido de carbono conforme el paso de los años.....	32
Ilustración 10 Ciclo del carbono Fuente: SADER.....	35
Ilustración 11 Diagrama de flujo y almacén de carbono en sistema forestal.....	36

Ilustración 12 Unidad de producción El Peñón.....	43
Ilustración 13 Unidad de producción Los Timbres	43
Ilustración 14 Ácido fosfórico.	44
Ilustración 15 Sulfato ferroso.....	44
Ilustración 16 Zona de muestreo en la unidad de producción El Peñón.....	46
Ilustración 17 Perfil del suelo	47
Ilustración 18 Secado de muestras de suelo.....	48
Ilustración 19 Tamizado del suelo.....	50
Ilustración 20 Bascula analítica	50
Ilustración 21 Muestras con dicromato de potasio y ácido sulfúrico.....	51
Ilustración 22 Titulación de muestras	51
Ilustración 23 Muestras tituladas con sulfato ferroso.....	52

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue medir el contenido de carbono orgánico (Co) en el suelo con diferentes usos: suelo agrícola, suelo de pastizal y suelo de sistema silvopastoril, a dos profundidades de muestreo: 0 -10 cm y de 10 – 20 cm. El trabajo se realizó en el Ejido del Peñón y en la comunidad de los Timbres, del municipio de Temascaltepec Estado de México. El carbono se determinó con el método de oxidación húmeda el cual fue desarrollado por Walkley y Black. Se realizaron 6 muestreos mensuales a partir de febrero a agosto del 2023. Se utilizó un diseño de parcelas divididas completamente al azar, la parcela mayor fue las dos unidades de producción y la parcela menor los tres usos del suelo. Las subparcelas fueron seis muestreos de evaluación. Los datos se analizaron mediante un ANOVA utilizando el modelo general lineal con el programa MINITAB. En las dos unidades de producción el mayor contenido de Co se presentó en el uso del suelo pastizal ($P < 0.001$) y el contenido de Co presente en el uso del suelo del bosque fue similar al uso del suelo agrícola ($P > 0.05$). En los tres usos del suelo la mayor concentración de carbono orgánico se registró a una profundidad de 0 -10 cm en las dos unidades de producción. En la unidad productiva Los Timbres, el contenido de Co en el suelo durante los meses de muestreo fue diferente ($P < 0.05$) siendo mayor el Co en el mes de agosto en el uso de suelo del pastizal. En la unidad productiva de El Peñón, el contenido de Co en los tres usos del suelo durante los meses de medición no presentó variación ($P > 0.05$) y el contenido de Co fue menor al de la unidad productiva de Los Timbres. En los tres usos del suelo en las dos unidades productivas se observó variación en la presencia del carbono orgánico, siendo el uso del suelo pastizal el de mayor contenido en las dos unidades, pero sobresaliendo la unidad de Los Timbres en el mes de agosto.

I. INTRODUCCIÓN

El carbono orgánico del suelo (COS) es una parte fundamental para la salud y fertilidad del suelo, así como también para todos los servicios ecosistémicos como es la producción de alimentos y tener un desarrollo sustentable. Los suelos que contienen una gran cantidad de carbono (C) son aquellos que pueden tener una mayor productividad y mejorar la calidad del agua la cual es fundamental para la producción agrícola mundial con un porcentaje del 90%, por otro lado, el papel que representa el carbono orgánico es de suma importancia en cuestiones de cambio climático ya que esto es tanto como una amenaza y al mismo tiempo una oportunidad, en donde la principal causa de amenaza es la degradación del suelo ocasionando la liberación de hasta 78 Giga toneladas (Gt) de carbono a la atmosfera donde la deforestación se encuentra con un 25% de pérdida de carbono en el suelo (FAO, 2023).

Una parte fundamental dentro del ciclo del carbono es el COS, el cual representa el 69,8 % de C que se encuentra en la biosfera teniendo que el principal reservorio de carbono es el suelo y esto dependerá del uso y manejo que se lleve a cabo, así mismo se ha encontrado que desde que se inició la incorporación de nuevos suelos en la agricultura ha ocasionado considerables pérdidas de carbono que van desde un 30% a un 50%, por otro lado existen algunas prácticas que se pueden realizar para contrarrestar la problemática antes mencionada (Martínez *et al.*, 2008). El objetivo del trabajo fue medir el contenido de carbono orgánico en diferentes usos de suelos: agrícolas, pastizal y silvopastoril, en el ejido el Peñón, municipio de Temascaltepec, México.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el contenido de carbono orgánico en diferentes usos del suelo: pastizal, uso agrícola y silvopastoril en dos unidades de producción, realizando un muestreo cada mes en un periodo de seis meses, realizando los análisis químicos en el laboratorio de suelos del centro universitario UAEM Temascaltepec.

II.- REVISION DE LITERATURA

2.1 El suelo

Es una capa delgada compuesta por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Esta capa se ha formado muy lentamente a través de los siglos con la desintegración de las rocas superficiales por diversos factores como son los cambios de temperatura, acción del agua y del viento (FAO ,1996).

En el suelo se encuentran diversas capas u horizontes (Ilustracion.1), los cuales contienen una estructura diferente, en donde el horizonte o capa a mayor profundidad es conocida como lechos rocosos y es el que confiere las características minerales al suelo. El horizonte superficial es en donde se encuentra la vegetación el cual es rico en nutrientes y materia orgánica la cual al descomponerse se convierte en humus, así mismo entre estos dos horizontes se encuentra el horizonte que se encuentra conformado por una mezcla de rocas de tamaño medio en donde carece la presencia de materia orgánica (Consejería de transición ecológica y energía,2023).

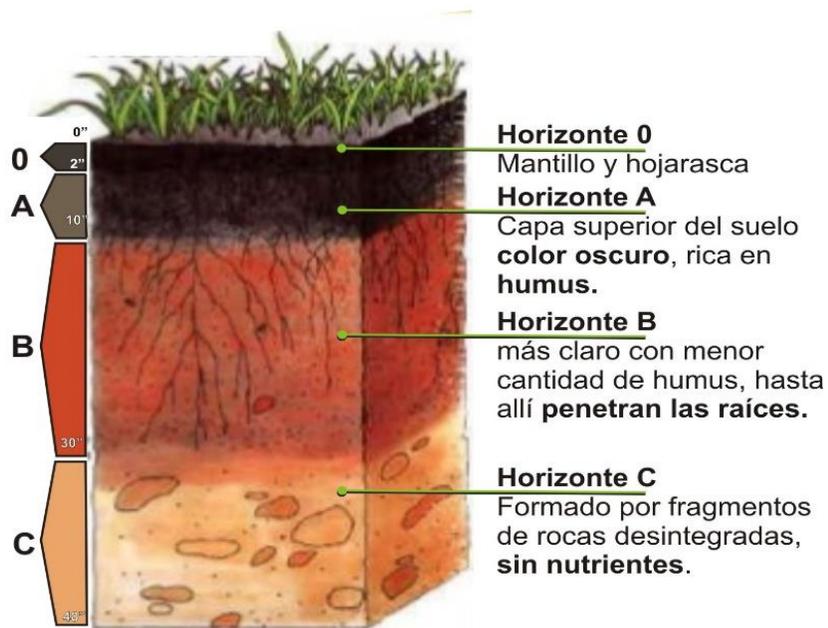


Ilustración 1. Horizontes del suelo

Fuente: Educación ambiental (Gobierno de la ciudad de alta gracia,2017)

El suelo es importante ya que es el sustrato sobre el cual se desarrolla la vida tanto vegetal como animal, además protege al medio ambiente de contaminantes. El suelo se puede clasificar de acuerdo con su uso y se clasifican como agrícola, forestal, industrial o habitacional y este se encuentra compuesto de cuatro componentes los cuales son: compuestos inorgánicos, nutrientes solubles, materia orgánica de organismos muertos, aguas y gases (INEGI,2023).

El suelo es la parte exterior de la corteza terrestre el cual es constituido por material no consolidado ya que es un sistema complejo el cual es formado por la interacción continua de la materia de la cual se origina el clima, la vegetación, fauna y relieve. En México existen aproximadamente 25 unidades que son reconocidas por la Fao (Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación), así como también por la UNESCO (Organización de las naciones unidas para la educación, ciencia y cultura). Los suelos que poseen una mayor distribución son los leptosoles, calcisoles y regosoles abarcando un 60% de la superficie del país; lo suelos fértiles y más utilizados son los vertisoles y feozems los cuales ocupan el 18% de superficie (Semarnat,2017).

2.1.1 Componentes del suelo

El suelo se encuentra compuesto por miles de partículas minerales, materia orgánica, agua y aire en diferentes proporciones. Las partículas minerales que dependen del tamaño poseen diversos nombres (Ilustración 2), en donde las más grandes son grava, las intermedias son arena y limo y las que poseen un menor tamaño se llaman arcillas .

Los suelos poseen diversos minerales que son obtenidos de la roca madre los cuales representan una enorme variedad referente a su composición química, así como también a la velocidad de meteorización (Thompson,1988).

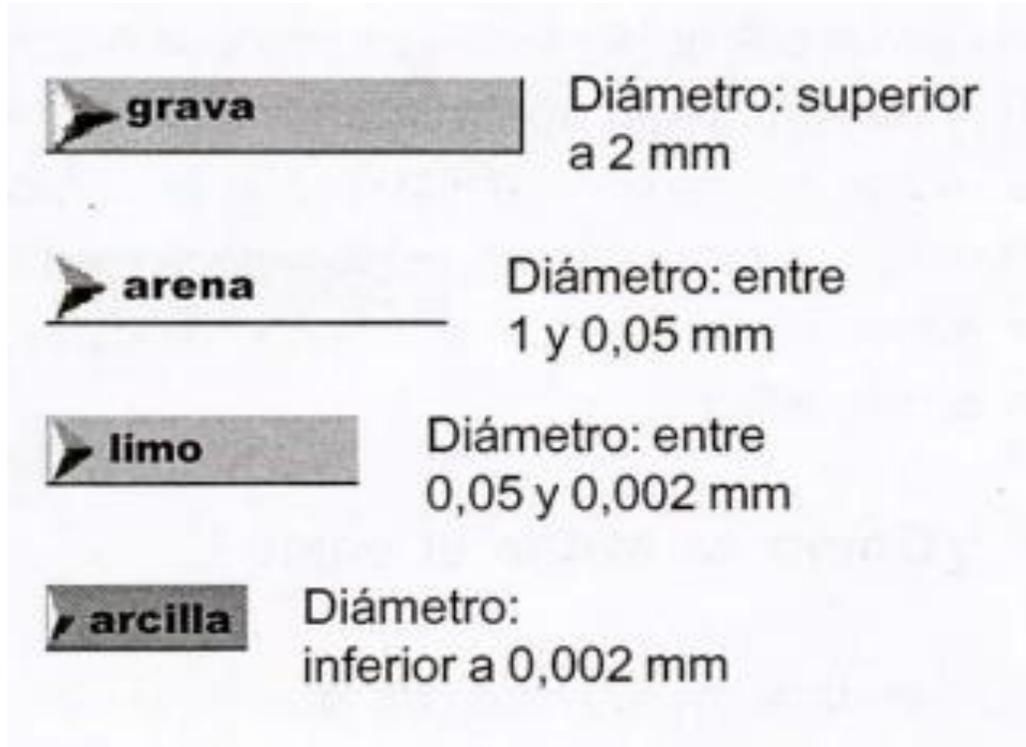


Ilustración 2. Tamaño de partículas del suelo

El suelo se forma a partir de la roca original o madre que hay en una determinada zona que por efecto del clima la roca se fragmenta y se desintegra en partículas más pequeñas, en donde más tarde aparecen los organismos vivos los cuales aportan materia orgánica generadora de vida en el suelo (Konijnenburg,2006).

2.1.2 Propiedades del suelo

Las propiedades del suelo son aquellas proporciones que lo componen y de esto depende el tipo de suelo que se tenga ya que existen muchos tipos de suelo. Las propiedades se clasifican en físicas, químicas y biológicas; las propiedades o características físicas son aquellas como la textura que se define como las cantidades de partículas que tenga de arena, limo y arcillas. Las principal características o propiedades químicas del suelo son: el potencial de hidrogeno o también conocido como PH y la capacidad de intercambio catiónico; en donde el PH nos indica la cantidad de iones de hidrogeno H^+ que se encuentran en el suelo ya que esto indicara si el suelo es

ácido o alcalino midiéndose en una escala, la cual se encuentra enumerada de 1 al 14 encontrándose un PH neutro en el valor 7. La capacidad de intercambio catiónico indica la capacidad que tiene el suelo para poseer una carga eléctrica y entre más carga eléctrica pueda tener la retención de nutrientes es mayor. Y por último las propiedades biológicas son referidas a todas aquellas en las cuales se encuentran relacionados los organismos vivos ya sean macros o microscópicos tales como son hongos, bacterias, algas y muchos más (Acosta,2023).

2.2 Características físicas del suelo

Las características del suelo pueden ser evaluadas visualmente o por tacto, así mismo también pueden medirse contrastándolas con escalas, ya sean de tamaño, intensidad o algún otro tipo dependiendo de lo que se quiera medir. Se sabe que cada suelo posee ciertas propiedades físicas las cuales dependen de la naturaleza y la cantidad de sus componentes y de la forma en la que se encuentran acoplados (Farias,1994).

- Color del suelo:

El color del suelo es una de las características que permite diferenciar a los tipos de suelo, el color no tiene algún efecto sobre las plantas, pero indirectamente si afecta a lo que es la temperatura y humedad, por lo tanto, si existe una gran cantidad de energía calorífica en el suelo se tendrá una mayor temperatura y evaporación. Estudios han comprobado que aquellos suelos de tonalidad oscura bajo condiciones ambientales similares y sin cubierta vegetal tienden a secarse más rápido, en cambio los suelos que son más oscuros tienden a ser más húmedos, además absorben una mayor cantidad de luz que ayudan a un aumento de temperatura del suelo y al desarrollo más acelerado de las plantas; el color del suelo puede indicar de manera más general el estado actual del mismo (Tabla 1).

Tabla 1. Características generales del suelo en base al color (Castellanos, 2000)

Color	Características
Oscuro	<p>Denota alto contenido de materia orgánica (MO). Sin embargo, suelos con bajo contenido de MO y exceso de sodio también puede tornarse oscuros por la disolución de la MO a pH alcalino. Otra razón es la presencia de MnO₂ o carbón elemental después de la quema de residuos.</p>
Rojo o amarillo	<p>Propio de suelos viejos, puede ser producido por la presencia de Fe₂O₃ (rojos) o por FeO-OH (amarillos, cafés). Estos colores provienen de la oxidación e hidratación de los compuestos minerales de Fe, cuando el drenaje permite la aireación y las condiciones de humedad y temperatura son favorables.</p>
Azul o verde olivo	<p>Se originan por la presencia de Fe en forma reducida e indican largos períodos en condiciones inundadas cada año e inadecuada aireación.</p>

Gris

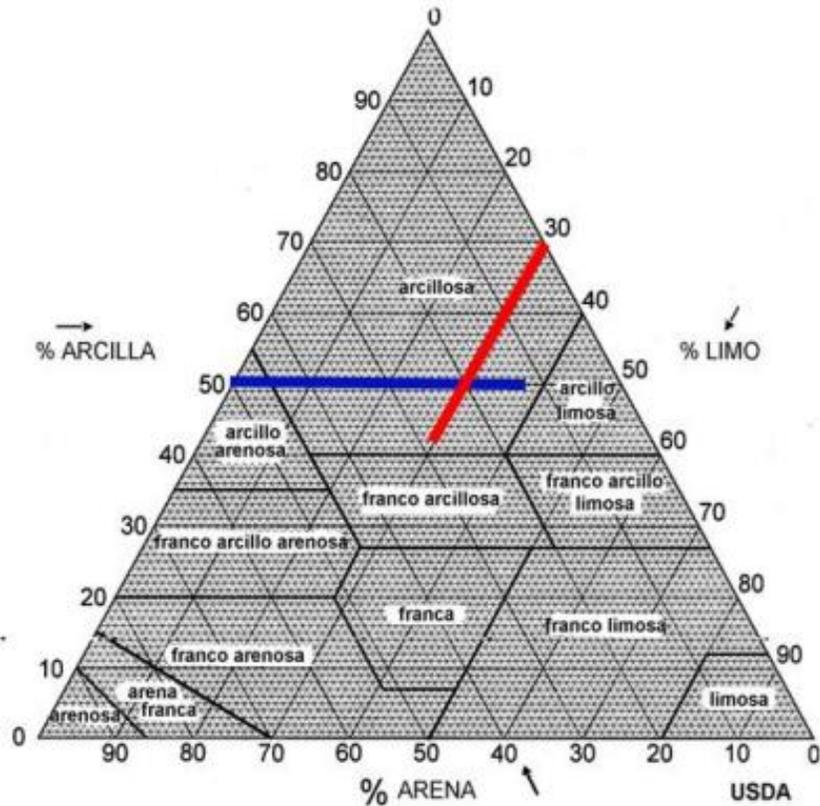
Indican períodos prolongados bajo inundación e inadecuada aireación. Este color o blanquecino puede deberse por la falta de intemperización de roca madre de ese color o por depósitos de carbonato de calcio, así como la afloración de sales y/o remoción de Fe.

- Textura del suelo:

La textura del suelo indica la cantidad de partículas más fundamentales del suelo tales como son: arcilla, limo y arena los cuales se pueden agrupar en fina, media, y gruesa; el diámetro de la arcilla es menor que 0.002 mm, las de limo esta entre 0.002 y 0.05mm y las de arena son de 0.05 y 2.0mm.

El diagrama textural es un triángulo equilátero (Ilustración 3), en el que a cada lado de éste se encuentra cada una de las fracciones cuyo valor cero corresponde al 100 de la anterior y su 100 con el cero de la siguiente, siempre según el movimiento de las agujas del reloj. Cada muestra de suelo viene definida por un punto del interior del triángulo, en donde este punto se obtiene al hacer intersectar dos valores de porcentaje de la fracción de partículas como por ejemplo Arcilla y Limo; en donde la intersección de dichos puntos, se obtiene al trazar una recta desde una fracción textural a la otra fracción en función de los porcentajes en donde al final con solo dos líneas queda definido el punto representativo, ya que el tercer componente es función de las primeras al tener que ser 100 la suma de todas ellas (Universidad politécnica de valencia,2024).

Ejemplo: Arcilla (50 %) y Limo (30%)



Textura: **ARCILLOSA**

Ilustración 3. Triángulo de texturas

- Humedad del suelo:

La humedad del suelo puede variar de acuerdo con el tipo de suelo, cantidad de arcilla y porcentaje de materia orgánica que se encuentre en el suelo ya que entre más alta sea la cantidad de materia orgánica y de arcilla mayor será la cantidad de agua retenida, es por eso por lo que en suelos arenosos es más probable que se saturen en comparación de suelos arcillosos.

- Porosidad del suelo:

La porosidad del suelo se refiere a la cantidad de espacio que existe entre los poros del suelo los cuales se dividen en macro y microporos; el porcentaje de porosidad es mayor en suelos con una textura fina con una mayor proporción de microporos lo que favorece a una mayor retención de humedad en relación con el suelo arenoso, por otro lado al aumentar la densidad aparente la porosidad disminuye e influye directamente en la aireación del suelo llegando a disminuir el desarrollo de raíces; los poros con un diámetro de 0.2 – 0.3 mm limitan el crecimiento de raíces (Intagri,2017).

2.3 Calidad del suelo

La calidad del suelo es referida como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema, así como sostener la productividad biológica, mantener la calidad de agua, así como del aire para apoyar la vida humana (Doran & Zeiss,2000). así mismo también puede considerarse como indicador de perturbaciones naturales y ambientales o inducidas por el hombre, contribuye a establecer la sustentabilidad del suelo y de los distintos sistemas de producción.

El funcionamiento máximo del suelo depende considerablemente de diversos factores tanto climáticos y del manejo que se le proporcione al suelo (Martinez,2006).

En los ecosistemas agrícolas, la calidad del suelo depende principalmente de la cantidad, calidad y la dinámica de las reservas de carbono orgánico del suelo los cuales son afectadas por la temperatura, humedad, textura del suelo, así como su estructura (Lal,2001).

2.4 Suelo fértil

La calidad en la que se encuentre el suelo es fundamental para realizar prácticas agrícolas ya que un suelo fértil y sano es capaz de proveer todos los nutrientes necesarios para poder crecer y desarrollarse. Las características físicas del suelo y estructura le permiten al agua y oxígeno poder llegar a las raíces de las plantas y ser aprovechados, los suelos también son descritos como suelos sanos y de calidad los cuales al tener propiedades tanto físicas como biológicas para mantener a flote la productividad y al mismo tiempo promover la sanidad de plantas y animales (Pennsylvania state University,2023).

La fertilidad del suelo hace referencia a la capacidad del suelo para tener condiciones químicas, físicas y biológicas favorables para proporcionar a las plantas todos los nutrientes esenciales para su crecimiento, por otro lado es importante entender que los nutrientes minerales no son alimento para las plantas ya que las plantas pueden producir su propio alimento por medio de la fotosíntesis si no que más bien los nutrientes minerales son un suplemento que proporciona más energía para poder desarrollarse (EOS data analytics.,2024).

2.4.1. Parámetros por considerar para un suelo fértil

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC):

La capacidad de intercambio catiónico es la cantidad de lugares con carga negativa en las partículas del suelo los cuales poseen nutrientes para las plantas y esto se puede expresar en unidades de meq/100g o cmolc/kg ($1\text{meq}/100\text{g} = 1\text{cmolc}/\text{kg}$), por lo tanto, todo aquel suelo que contenga una mayor capacidad de intercambio catiónico es considerado ser fértil ya que pueden contener más nutrientes por un periodo más largo de tiempo y al mismo tiempo requieren de menos aplicaciones de fertilizantes.

- Materia orgánica (MO):

La materia orgánica representa los componentes orgánicos del suelo y en su mayor parte son residuos vegetales y animales, la función de la materia orgánica es contribuir a la estructura, fertilidad y capacidad de retención de agua. Los suelos que contienen un porcentaje de 4-5% de materia orgánica son más fértiles que aquellos que contienen un menor porcentaje.

- Potencial de hidrogeno (PH):

El potencial de hidrogeno es uno de los parámetros más importantes ya que este puede decir mucho sobre la disponibilidad de los nutrientes que se encuentran en el suelo, así como también los efectos que se pueden tener sobre otros elementos como es el caso del aluminio. Todo suelo que tiene un Ph por arriba de 7.0 se considera un suelo alcalino, por lo tanto, en estos suelos es común encontrar deficiencias de micronutrientes, por otro lado, los suelos que tienen un pH de 5.8 y 6.5 tienen una mayor disponibilidad de nutrientes.

- Conductividad eléctrica (CE):

La conductividad eléctrica es una medida de la salinidad del suelo la cual se mide en la solución del suelo con unidades de expresión que generalmente son ds/m, mmho/cm o microsimens/cm. Los diferentes cultivos tienen diferente tolerancia a la salinidad en donde por encima de un cierto umbral el rendimiento del cultivo se verá disminuido proporcionalmente al aumento del nivel de la conductividad eléctrica (Gestiriego,2016).

2.5 Situación actual de los suelos agrícolas

El deterioro en los suelos agrícolas, así como la pérdida de fertilidad limitan considerablemente la auto sustentabilidad en donde los principales afectados son los pequeños agricultores, lo cual conlleva a una inseguridad alimentaria aumentando la pobreza alimentaria tanto de agricultores como de la sociedad en general ya que nuestro país ocupa uno de los primeros lugares en degradación del suelo a nivel mundial. La erosión es un proceso complejo que afecta física, química y biológicamente a los suelos,

por lo tanto, es una amenaza para la alimentación ya que afecta al suelo el cual es un recurso limitado, utilizado para la producción agrícola, a nivel mundial se estima que aproximadamente el 40% del suelo agrícola presenta problemas de degradación lo cual puede elevarse hasta un 75% en algunas zonas u regiones (Grafica.1) (Cotler *et al.*,2020).

En términos generales solo se reconocen hasta el momento dos tipos de deterioro: uno de ellos es el causante del desplazamiento de suelo (erosión) afectando la calidad del suelo. Mas del 50% sufre erosión ocasionada por el agua (erosión hídrica) considerada esta la principal causa de degradación en México (SEMARNAT,2002).

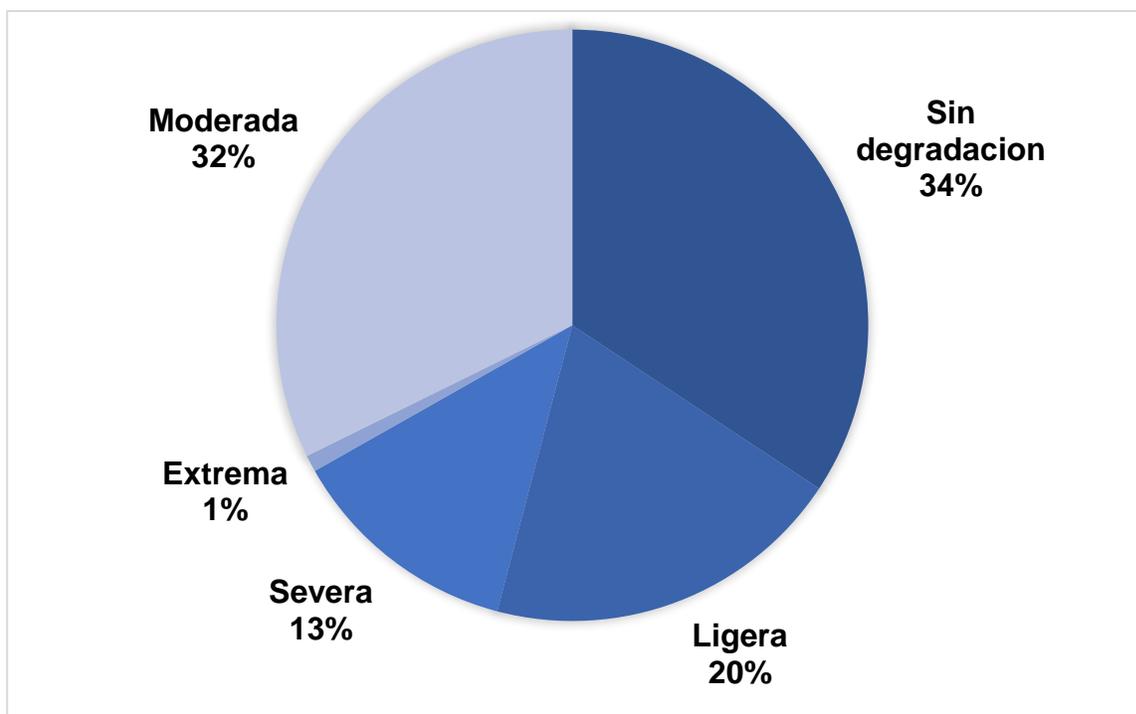
Erosión hídrica: Este tipo de erosión es definida como el removimiento del suelo en forma laminar ocasionada por las corrientes de agua ocasionando deformación del terreno por la gran pérdida de masas de suelo teniendo como resultado la creación de cavernas y cárcavas.

Erosión eólica: El causante de este tipo de erosión es el viento ocasionando el desplazamiento del suelo de forma laminar

Degradación química: En este tipo de degradación se encuentran involucrados todos aquellos procesos que ocasionan la disminución o perdida de la productividad biológica que se encuentran en el suelo, lo cual tiene una fuerte relación con la agricultura.

Degradación física: La degradación física es referida al cambio de estructura del suelo cuya manifestación más sobresaliente es la considerable pérdida de capacidad de absorción y almacenamiento de agua (SEMARNAT,2008).

Grafica 1. Nivel de degradación de los suelos en México (SEMARNAT,2002)



2.6 Los cambios en el uso del suelo

La tierra es un recurso necesariamente fundamental para los seres humanos ya que gracias a ella obtenemos la mayor parte del agua que consumimos y por lo tanto el suelo es un recurso finito en donde aproximadamente más de dos tercios de la superficie total son océanos y de las tierras emergidas un 30% no es posible habitar ya sea porque el suelo es estéril o porque se encuentra cubierta por hielo. Tenemos un 46% de suelo que generalmente se dedica a la agricultura y a la ganadería, por otro lado, existe un 1% que se encuentra ocupado por las ciudades y algunas otras infraestructuras; teniendo en cuenta todos estos aspectos existen dos causas de los cambios de uso del suelo en donde la principal es la expansión de las actividades agroganaderas y el desarrollo industrial y urbano afectando este a través de la contaminación y a la impermeabilización alterando el ciclo del agua y la recarga de líquido de los acuíferos. Por otro lado, si

hablamos de la expansión agrícola tenemos que esto produce dos grandes impactos los cuales son la pérdida de biodiversidad y destrucción de los ecosistemas nativos, así como la introducción de nuevas especies que son invasoras y la contaminación del agua (BBVA,2023).

2.7 La materia orgánica en el suelo

La materia orgánica se encuentra constituida de residuos de plantas y animales los cuales son compuestos tales como carbohidratos, lignina y proteína las cuales son transformadas mediante procesos biológicos. Los encargados de descomponer estas sustancias son los microorganismos los cuales convierten la materia orgánica en dióxido de carbono y las partes que son más resistentes son convertidas a humus, en donde al mismo tiempo que se procesa la materia orgánica los microorganismos pueden fijar nitrógeno al suelo (Ilustración.4) (Pascual *et al.*,2023).

La materia orgánica del suelo está compuesta principalmente de elementos como lo son el carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, fosforo y azufre, aunque también en algunos casos puede contener macro y micronutrientes los cuales son esenciales para las plantas. Así mismo la materia orgánica consiste en una amplia gama de sustancias orgánicas que pueden incluir organismos vivos, biomasa del suelo, restos de organismos y compuestos orgánicos producidos (SADER,2023).

Dentro del ciclo de la materia orgánica (Ilustración 4) se encuentran diversos procesos tales como son la descomposición, humificación y mineralización los cuales favorecen a la migración del carbono en el suelo y transformación de dióxido de carbono y metano los cuales están compuestos de minerales básicos, en donde la mayor concentración se encuentra dentro de los principales centímetros del suelo u horizonte superficial lo cual generalmente disminuyen conforme va aumentando la profundidad lo cual va variando entre un 90% para suelos turbosos a suelos desérticos (Coral,2022).

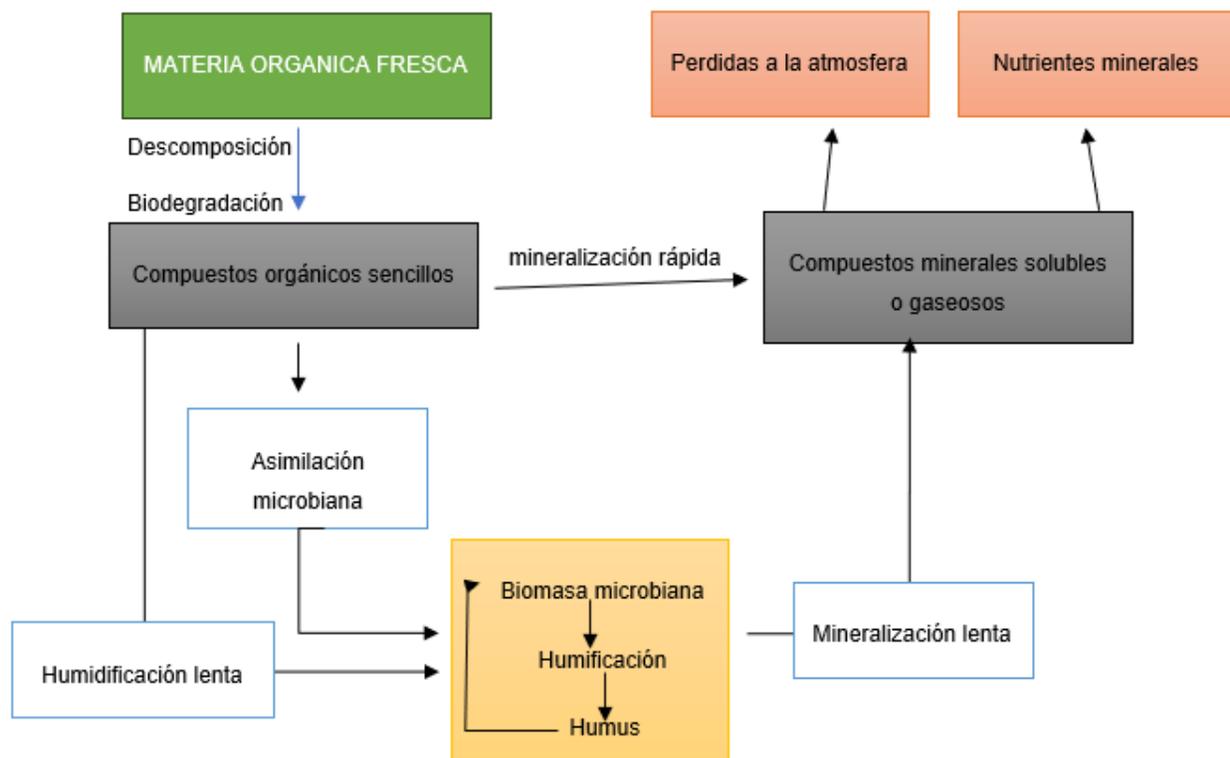


Ilustración 4. Esquema simplificado de la transformación de la M.O en el suelo (Porta,1994)

Fuente: Edafología para la agricultura y el medio ambiente (Porta,1994)

2.7.1 Importancia de la materia orgánica

La materia orgánica es un componente fundamental, el cual determina la calidad y productividad del suelo. La fertilidad, disponibilidad del agua, susceptibilidad a la erosión, compactación e incluso la resistencia de las plantas hacia los insectos y enfermedades dependen en gran medida a la materia orgánica del suelo ya que es un enlace de las propiedades biológicas, químicas y físicas en el suelo, como por ejemplo el ciclo de los nutrientes, la supresión a enfermedades y la remediación de la contaminación. (Docampo,2014).

La materia orgánica es considerada como un elemento clave en el suelo ya que regula diversas funciones como son el almacenamiento de carbono, disponibilidad de nutrientes, porosidad, estructura, capacidad para retención de agua, conductividad hídrica entre otros. La relación que existe entre la materia y el carbono orgánicos es conocida desde hace muchos años atrás cuando se analiza la fertilidad de los suelos, donde ahora lo más reciente es el papel que representa el carbono orgánico con relación al cambio climático y su control de CO₂ atmosférico, ya que ahora se sabe que el carbono orgánico presente en el suelo representa casi tres veces el carbono de la biomasa de las plantas donde después los suelos son sumideros y reservorios de carbono. Un dato importante es que el suelo es considerado el segundo reservorio de carbono terrestre con un total de 2500 billones de toneladas en los primeros dos metros de profundidad (Ibañez,2021).

La materia orgánica posee ciertas influencias sobre la estructura del suelo evitando la erosión y ayudando a la retención del agua, el deterioro de la estructura que acompaña a un cultivo intensivo es menos erosivo que un suelo provisto de materia orgánica, por lo tanto, cuando la materia orgánica se pierde por completo los suelos tienden a compactarse y endurecerse lo cual tiende a formar terrones (Stevenson,1994).

2.8 Los microorganismos del suelo

El suelo es el ideal con todas las condiciones favorables para la proliferación de microorganismos formando micro colonias. Los microorganismos que se encuentran aislados del suelo comprenden virus, bacterias, hongos, algas y protozoarios, por lo tanto, en donde existe una mayor acumulación de materia orgánica habrá una mayor concentración de microorganismos heterótrofos. Las bacterias gram negativas y los actinomicetes no tiene la capacidad de poder utilizar aquellos compuestos húmicos, pero tienen un crecimiento rápido sobre algunos sustratos tales como son las excretas, mantos vegetales y aquellos restos de animales muertos.

Los suelos presentan diversos tipos de microhábitats en donde en una localización en particular puede haber situaciones micro ambientales lo cual podría favorecer a las poblaciones alóctonas. Las cianobacterias forman un tipo de costras en la superficie sobre los suelos desnudos contribuyendo a la estabilización de este; *Azotobacter* es un heterótrofo que puede convertir el nitrógeno atmosférico en formas fijadas de nitrógeno, así mismo existen otras especies anaerobias de *Clostridium* que pueden fijar nitrógeno al suelo tales como son: *Rizobium* y *Bradyrhizodium* que fijan nitrógeno atmosférico por medio de nódulos que se encuentran en las raíces en ciertas plantas. Las especies de *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* y *Xanthomonas* suelen llegar al suelo junto con material vegetal infectado (Izquierdo *et al.*, s/f).

La actividad biológica que ocurre en el suelo es la resultante de las funciones fisiológicas de los organismos y por lo tanto proporciona a las plantas superiores un medio ambiente adecuado para su desarrollo. Los suelos contienen una amplia variedad de formas biológicas de diversos tamaños tales como son los virus, hongos, bacterias, algas, colémbolos, ácaros, lombrices, nematodos, hormigas y por supuesto también se consideran las raíces de las plantas superiores en donde la importancia relativa de cada uno de ellos dependerá de las condiciones en las que se encuentre el suelo. Las bacterias son organismos procariontes unicelulares de forma esférica en su mayoría las cuales son de gran importancia ya que algunas de ellas realizan funciones como es la oxidación de del amoniaco a nitratos, dentro de los microorganismos del suelo también se encuentran los actinomicetos los cuales son organismos procariotas los cuales son muy adaptables y utilizan diversos compuestos carbonados y nitrogenados, como polisacáridos, lípidos, hidrocarburos saturados, fenoles, proteína y quitina. Los hongos pueden representar hasta el 70% de la población microbiana y son el segundo grupo de microorganismos presentes en el suelo (Julca Otiniano *et al.*, 2006).

2.8.1 Macrofauna

La macrofauna incluye a todas aquellas especies de animales que son invertebrados que son de talla pequeña pero que a su vez son visibles sin equipo especializado, estos

animales habitan en la superficie del suelo a una profundidad de 10 cm; así mismo es posible identificar entre grupos de especies por lo que al conjunto de estas especies se les conoce como macrofauna edáfica, estos organismos tienen dimensiones de 2 y 20 mm pero algunos de estos pueden llegar a alcanzar hasta 200mm como es el caso de algunas lombrices (Ilustración 5) e insectos. En el ambiente terrestre a nivel mundial se calcula que aproximadamente 1.5 millones de especies podrían formar parte de la comunidad del suelo en diferentes ecosistemas tales como pueden ser bosques, cultivos o praderas, hasta ahora el inventario de la macrofauna edáfica indica que el grupo de especies más comunes encontradas en el suelo son los artrópodos hexápodos los cuales incluyen a los grillos, polillas y termitas. Hablando en términos generales la posición en el sustrato y su grupo funcional será dependiendo de las características y por lo tanto de esto dependerá de los cambios del suelo o del sedimento marino, al habitar la columna del suelo las especies edáficas y bénticas ayudan a la transferencia de materia orgánica y energía de un sustrato a otro, de arriba abajo y viceversa así mismo cada especie es única en el hábitat en que se encuentre, es ampliamente reconocido que existe una enorme redundancia entre organismos de la macrofauna. Por ejemplo, existe un grupo de organismos denominados “ingenieros de los ecosistemas”, el cual está formado en la macrofauna edáfica entre otros por gusanos oligoquetos (lombrices) y en la macrofauna béntica entre otros por gusanos poliquetos, estos realizan cambios físicos en el suelo a través de un proceso conocido como bioturbación, el cual consiste en la reelaboración del suelo, modificando la disponibilidad de recursos a otros organismos, llegando a influir en la vegetación terrestre y en la acuática sumergida (Ríos *et al.*,2022).



Ilustración 5. Fuente: Fao,2021 Macrofauna del suelo (Lombriz de tierra)

2.9 Determinación total de materia orgánica

Para la determinación total de materia orgánica del suelo se basa en la determinación de carbono realizando diferentes procedimientos, ya sea por combustión seca con desprendimiento de dióxido de carbono y húmeda con reducción de dicromato, así como la determinación de dicromato no reducido por cromatografía. Los valores de carbono son expresados en porcentaje del total de uso del suelo, así como también de la materia orgánica la cual se obtiene multiplicando el porcentaje del carbono por el factor Vammelen: 1.724, el uso de este factor ha generalizado considerando que la materia orgánica presente en el suelo contiene aproximadamente un 58% de carbón (Fassbender,1987).

La clasificación de los suelos de acuerdo con el contenido de materia orgánica ha sido propuesta de la siguiente forma (Ilustración 6)

Interpretación	Porcentaje de M.O	Porcentaje de C
Muy bajos	< 2.0	< 1.2
Bajos	2 a 5	1.2 a 2.9
Medios	5 a 8	2.9 a 4.6
Altos	8 a 15	4.6 a 8.7
Muy altos	> 15	> 7.8

Ilustración 6. Clasificación de los suelos de acuerdo con el % de M.O

2.10 Procesos químicos de la materia orgánica sobre el suelo

Entre los procesos químicos de mayor importancia en los que interviene la materia orgánica se mencionan los siguientes:

- Efecto sobre la temperatura del suelo:

Posee una conductividad menor en comparación con la materia mineral, en cambio las diferencias en la capacidad calorífica son bajas ya que dependen del contenido de humedad, por lo tanto, al poseer una conductividad térmica baja la materia orgánica mantiene la temperatura constante reduciendo la oscilación térmica y al tener un color más oscuro que el suelo mineral existe una disminución de la radiación reflejada lo que ocasiona que aumente su temperatura

- Mejora en la disponibilidad de micronutrientes:

Dentro de los principales se encuentra el hierro, manganeso, zinc y cobre, así mismo también ayuda en la reducción de algunos efectos tóxicos de los cationes libres. Muchos de los metales que se precipitaran en los suelos con condiciones normales se encuentran mantenidos en la solución del suelo en forma quelatada, también es muy probable que los micronutrientes sean transportados hacia las raíces en forma de quelatos complejos solubles.

- Mejora en la nutrición en fosforo

La formación de los complejos arcillo húmicos o de la quelatación contribuyen a la solubilización de fosfatos inorgánicos, parece que las sustancias húmicas aumentan la liberación de potasio el cual se encuentra fijado en la arcilla.

- Posee grandes grupos funcionales

Existen diversos grupos funcionales en donde dentro de esos grupos está el grupo de los carboxílicos los cuales contribuyen a la absorción de moléculas de agua en forma de puentes de hidrogeno o como enlaces coordinados; por otro lado, los grupos funcionales de la materia orgánica tienen la capacidad de realizar intercambio catiónico lo cual contribuye en el aumento en los suelos que poseen un bajo contenido en arcilla.

- Acidificación del medio

La acidificación favorece a la absorción de nutrientes por las plantas, por otro lado, la materia orgánica actúa como fuente de energía para los microorganismos del suelo; favorece la presencia de lombrices las cuales contribuyen a la mejora de la estructura del suelo.

- Actividad supresora frente a hongos:

Actúan para combatir hongos patógenos en donde la supresión puede ser biótica o abiótica lo cual puede ser por diversos factores tales como la disponibilidad de oxígeno, Ph inadecuado para el desarrollo de microorganismos o la ausencia o presencia de elementos como el nitrógeno.

- Actividad enzimática:

Existen enzimas absorbidas al humus o a las partículas de arcilla las cuales no se encuentran ligadas a las fracciones vivas, una de las enzimas más comunes es la ureasa. Hablando en forma general las enzimas ayudan a la hidrolización de moléculas haciéndolas disponibles para las plantas algunos elementos que son resultado de la hidrólisis (feller,1997; Balesdent,1996).

La materia orgánica del suelo posee una composición muy completa y a su vez heterogénea y por lo general esta mezclada o asociada a los minerales del suelo; así mismo se han desarrollado diversas técnicas de separación lo cual ayuda a identificar los constituyentes de la materia orgánica (Balesdent,1996).

2.11 Carbono del suelo

El carbono es un elemento de suma importancia de los compuestos orgánicos, el cual se encuentra tanto en los océanos, suelo, subsuelo y la atmosfera los cuales en general son considerados como reservorios de carbono lo cual se relaciona con el sustento de los sistemas agrícolas afectando a las propiedades generales del suelo (Martínez *et al.*,2008).

El carbono del suelo abarca desde el carbono orgánico, el carbono inorgánico y el carbono vegetal. El bicarbonato es un ejemplo de carbono inorgánico el cual se encuentra presente en suelos calcáreos, pero es insignificante en suelos neutros y ácidos. El principal tipo de carbono en el suelo se encuentra en diversas etapas de humificación en donde los plazos de recambio pueden ser de cientos hasta miles de años (The world bank,2023).

De acuerdo con el instituto nacional de ecología la vegetación y el suelo que no se le aplica algún manejo forestal retiene de 20 – 100 veces más carbono que los sistemas agrícolas (INE,1995).

El carbono orgánico del suelo (COS) es una pequeña parte del ciclo global del carbono, el cual implica el ciclo del carbono a través del suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera, se estima que la reserva de COS almacena 1 500 PgC en el primer metro de suelo, lo cual supone más carbono que el contenido en la atmósfera (aproximadamente 800 PgC) y la vegetación terrestre (500 PgC) combinados. Siendo el CO₂ (dióxido de carbono) y CH₄ (metano) los principales gases atmosféricos basados en carbono, organismos autótrofos (principalmente plantas), y microbios foto- y quimio autótrofos sintetizan el CO₂ atmosférico en material orgánico (FAO,2017).

El carbono orgánico es la forma más valiosa y abundante en el suelo, así como también es el menos estable ya que este se puede oxidar muy fácilmente convirtiéndose en dióxido de carbono por las bacterias en presencia de oxígeno y así mismo también se puede aumentar gracias al crecimiento de las plantas, incorporación de composta o estiércol, todo procesado por microorganismos (Donovan,2013).

Las unidades de medida que son utilizadas para la medición de carbono son expresadas en términos del peso del carbono por unidad de área de megagramo de carbono contenida por hectárea (Mg C ha); los valores de los flujos siempre se incluyen la variable de tiempo de Megagramos de carbono por hectárea por año, así mismo es de suma importancia comprender la relación de las diferentes unidades que son usadas tales como:

1 Megagramo (Mg)= 1,000 Kilogramos (Kg)= 1 Tonelada (t)

1 Petagramo (Pg)= 1,000,000,000 Mg= 1 Gigatonelada (Gt)

1 Hectárea (Ha)= 10,000 m²

Al realizar un cambio de uso en el suelo los contenidos de carbono no superan los 20 Megagramos (Mg) de carbono al menos que existan condiciones de humedales (IPCC.1997).

2.12 Carbono orgánico del suelo

El carbono orgánico es aquel que se encuentra en el suelo después de la descomposición de material que fue producto de organismos vivos, los suelos contienen más carbono que la vegetación y la atmosfera; El carbono que se encuentra en el suelo puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica y de esto depende de las características tanto físicas como químicas y biológicas del suelo las cuales forman agregados que interactúan con los minerales encontrados en la arcilla mejorando la estructura del suelo y liberando nutrientes para ser aprovechados por las plantas (Izquierdo *et al.*, 2021).

2.12.1 Ciclo del carbono

El ciclo del carbono (Ilustración 7) inicia desde que el dióxido de carbono de la atmosfera se fija con ayuda del proceso que realizan las plantas y algunos microorganismos el cual es llamado fotosíntesis, en donde dentro de este proceso el dióxido de carbono y el agua crean una reacción para la creación de carbohidratos y al mismo tiempo se libera oxígeno el cual es liberado a la atmosfera. Parte de los carbohidratos son consumidos para poder aportar energía a las plantas y otra parte son consumidos por los animales que también liberan dióxido de carbono durante sus procesos metabólicos, por otra parte, las plantas y residuos orgánicos muertos son descompuesto por los microorganismos ocasionando que el carbono de sus tejidos se oxide formando dióxido de carbono el cual es retomado a la atmosfera (Burbano,2018).

Durante el ciclo del carbono existe un balance del carbono el cual es fijado en la biomasa con respecto al que es regresado hacia la atmosfera lo cual se conoce como producción primaria neta; así mismo durante el transcurso del tiempo una parte del carbono fijado por producción primaria es incorporado al suelo gracias a la acción de microorganismos los cuales se encargan a la descomposición de la materia orgánica (IPCC,2005).

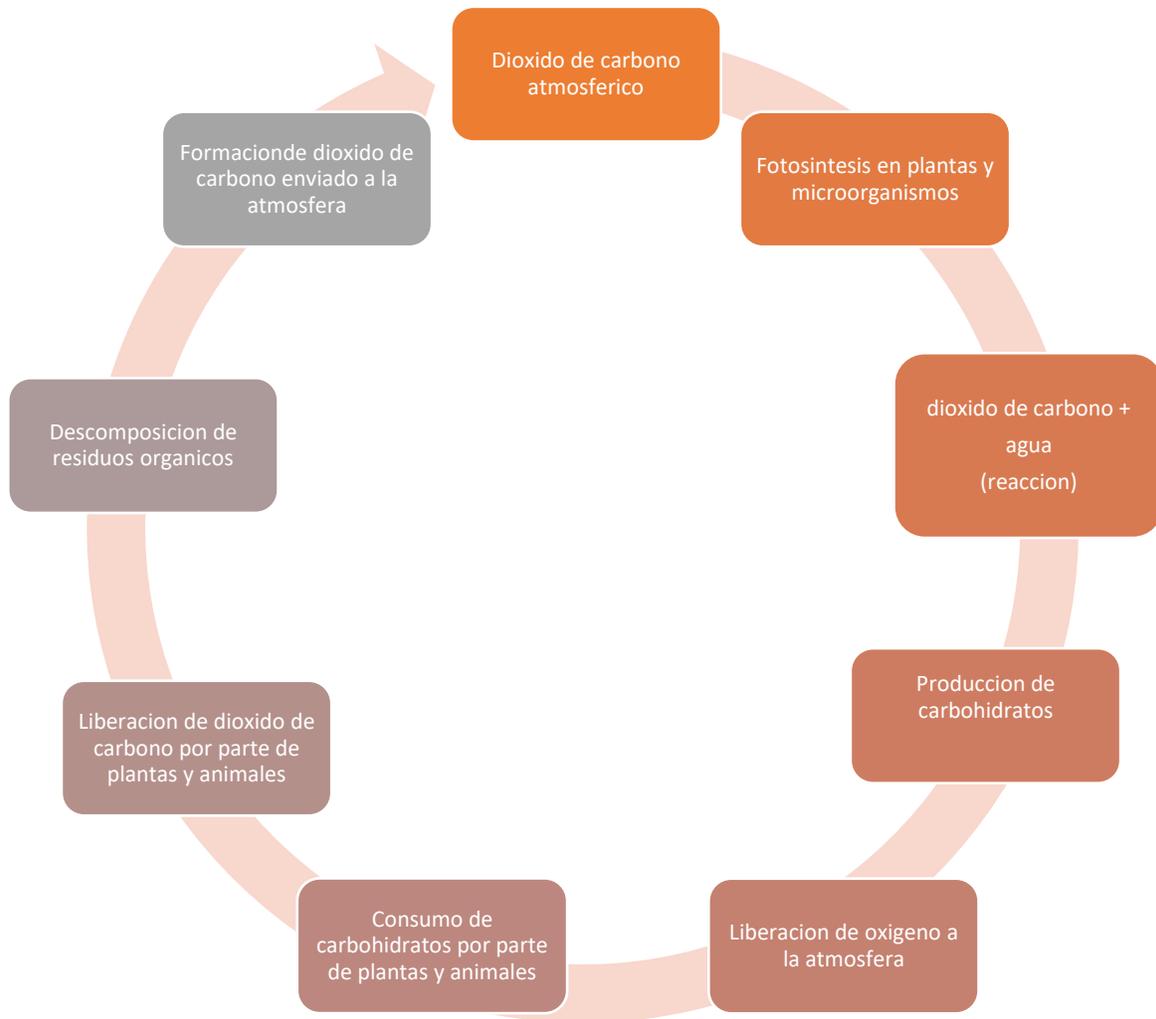


Ilustración 7. Ciclo del carbono

2.13 Secuestro de carbono

El sumidero de dióxido de carbono es el proceso que implica la remoción de los gases de efecto invernadero de la atmósfera, históricamente hablando el cultivo de tierras se ha denominado como almacenes de gases de efecto invernadero en donde se estima que estos aún son responsables de alrededor de un tercio de las emisiones; sin embargo al realizar prácticas agrícolas menores se ayuda a mitigar el cambio climático reduciendo las emisiones por la agricultura y algunas otras fuentes por medio del almacenamiento del carbono en la biomasa terrestre y de las plantas. La conversión a un largo plazo de las praderas y áreas forestales que son utilizadas para terrenos de

cultivo ha resultado en pérdidas sumamente históricas de carbón en el suelo globalmente, no obstante hay un potencial fundamental para poder incrementar el contenido de carbono en el suelo por medio de la rehabilitación de aquellos suelos que se encuentran degradados así como también por medio de la amplia adopción de prácticas de conservación del suelo; así mismo el desarrollo de la agricultura en los últimos siglos y en los últimos decenios ha implicado el agotamiento de las reservas de carbono, ya que los suelos agrícolas han llegado a ser globalmente una de las reservas de carbono con un posible potencial de expansión del secuestro de carbono proporcionando de manera prospectiva mitigar la concentración de dióxido de carbono, se ha estimado que los suelos son capaces de secuestrar alrededor de 20pg en 25 años, lo cual es más del 10% de las emisiones antropogénicas (Fao.,2024).

2.13.1 Factores que intervienen en la captura de carbono en el suelo

Algunos factores que se consideran que intervienen en la captura de carbono en el suelo a considerar es la latitud ya que se ha determinado que los almacenes de carbono con 220 Mg de carbono por hectárea se mantuvieron constantes a una altitud de 1500- 2000 metros, aunque a partir de los 2400- 2500 metros de altitud se observó que la capa orgánica disminuyó considerablemente a 158 Mg de carbono por hectárea (Álvarez *et al.*,2013); así mismo Carvajal (2008) menciona que a una capa de profundidad de 20 a 30 cm el contenido de carbono orgánico del suelo no presenta correlación con la latitud.

El contenido del carbono orgánico del suelo presenta una relación positiva y así mismo con una alta significancia con la capacidad de intercambio catiónico seguidamente por la latitud y en menor medida por el calcio, aluminio y limo (Ochoa *et al.*,2000).

La influencia de la época de lluvias y de secas parece afectar el contenido de carbono orgánico del suelo (Beteta,2012). La vegetación comprende un rol importante ya que cuando hay una disminución de *Acacia* en un rango del 25 al 50% hay una reducción del 41% de carbono el cual se encuentra almacenado a un aproximado de 40 cm de profundidad (Muñoz,2006).

En un estudio realizado en un bosque de manglar no se encontraron correlaciones entre los contenidos de carbono con la humedad del suelo, conductividad eléctrica, ph, densidad aparente y ni mucho menos con el contenido de nitrógeno, en cambio solo se encontró correlación con el contenido de materia orgánica. También se reporta que los mayores contenidos de materia orgánica se encontraron dentro de los primeros 30 cm de profundidad en donde fue afectada por la cantidad de años del bosque y estación del año siendo esta la más alta en la época de estiaje (Sánchez *et al.*,2011).

2.14 Dinámica del carbono orgánico en suelo

Para poder determinar la cantidad de carbono que se encuentra secuestrado en los ecosistemas terrestres se debe tomar en cuenta el carbono estable incorporado al suelo, ya que la acumulación de carbono en suelo es más lenta que la acumulación de biomasa; la estabilidad del carbono que se encuentra en el suelo es mucho mayor por lo tanto la capacidad del suelo para almacenar carbono es mayor y esto es importante debido al material vegetal acumulado en descomposición llamado humus (Carvajal,2011).

El carbono que se encuentra fijado es distribuido entre la biomasa vegetal que se encuentra tanto viva como muerta y el suelo; en donde se localiza el carbono orgánico el cual es procedente del proceso de humificación, por lo tanto, al tener esta esta fracción de gran importancia en el balance final de absorción de dióxido de carbono (F.E.M.P,2011).

Uno de los elementos más importantes durante el proceso de secuestro de carbono es la materia orgánica ya que la actividad biológica que genera es de gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas del suelo en donde la estabilidad de la estructura del suelo aumenta al tener materia orgánica aumentando la infiltración y la capacidad de agua en el suelo mejorando la disponibilidad de los nutrientes (Fao,2002).

2.15 Descomposición del carbono

La descomposición del carbono se realiza mediante un proceso de desintegración que a su vez tiene dos subprocesos simultáneos en donde en primera parte se realiza el proceso de fragmentación de las partículas que son de mayor tamaño con el fin de hacerlas de un tamaño menor con el fin de que los componentes estructurales ya no sean reconocibles; así mismo los microorganismos actúan como un vínculo para la unión de los procesos de la producción primaria y secundaria propiciando la reincorporación de los compuestos orgánicos para la producción de biomasa microbiana la cual puede servir como alimento para los organismos detritívoros (Ordoñez,1999).

2.15.1 Humificación

El proceso de humificación no solo se relaciona con la transformación de moléculas de alto y bajo peso molecular que provienen de plantas y animales si no también engloba lo que son las reacciones químicas de oxidación, condensación y la polimerización, así como de aquellos procesos biológicos de la síntesis microbiana dando como resultados compuestos con un alto y bajo peso molecular los cuales no se forman en células vivas, pero si son constituyentes del suelo. La adición de materia orgánica es fundamental ya que esta fase da inicio justamente después de la proliferación microbiana y sigue a medida que baja la población microbiana y la baja en la población microbiana se debe a la ausencia de carbono ya que la oxidación de este les provee energía; el producto que se obtiene está constituido por compuestos húmicos (Ilustración 8). El humus sufre procesos de mineralización, pero con una degradación más lenta por la estabilidad de las sustancias de las que está compuesto (Jordan,2005).

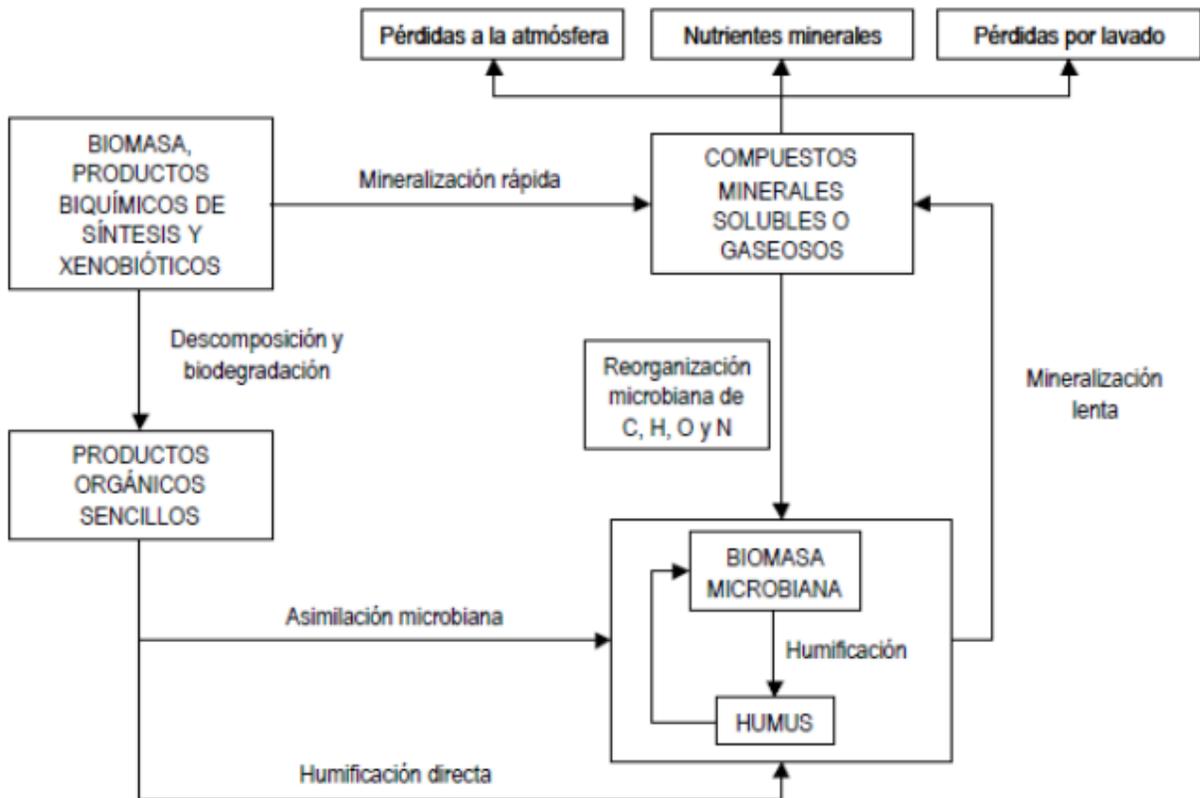


Ilustración 8. Proceso de transformación de la materia orgánica

2.16 Tendencia de la captura de carbono en suelo

En el protocolo Kyoto la captura de carbono en suelo se considera en los artículos 1.3 que se refiere al uso de la tierra y en el artículo 1.4 que se refiere al cambio de uso de la tierra y forestación. El impacto ambiental y la captura de carbono en suelo tiene efectos económicos y sociales gracias al aumento de productividad de los suelos y ambientalmente se espera que ayude a prevenir la degradación del suelo. Se ha considerado al suelo como un sumidero de carbono ya que tiene la capacidad de almacenar dicho elemento de forma orgánica en una cantidad de 1700Pg lo cual es mayor que la que se presenta en la vegetación el cual tiene un valor de 650Pg y la atmosfera con 750Pg. Por lo tanto para lograr que el carbono se acumule en el suelo es importante llevar a cabo diversas medidas de manejo, uno de los retos más importantes del protocolo Kyoto es que los suelos agrícolas sean sumideros de carbono y que esto

sea cuantificable, la dinámica del carbono consta de los aportes de material vegetal muerto, en donde su pérdida por mineralización y acumulación por humificación son esenciales para la producción de carbono(Hernández *et al.*,2023).

2.16.1 Conservación de carbono orgánico en el suelo

En el suelo se encuentra una gran cantidad de carbono orgánico lo cual es tres veces mayor del que se encuentra o se almacena en la vegetación, lo cual representa un 69.8% del total que se encuentra existente en la biosfera. Anualmente en su proceso natural de respiración se libera de 75 a 80 Gt (Giga toneladas) de dióxido de carbono por que el suelo es como fuente o reservorio de carbono de carbono atmosférico dependiendo del manejo que se presente. Existen evidencias de que cuando un sistema agrícola se convierte a bosque o a pastizal es posible que se obtenga una ganancia de 0.338 o 0.332 de carbono en el suelo respectivamente; si el cambio se realiza del agrícola al forestal bajo sistemas de manejo la ganancia de carbono asciende hasta 7 Mg / año en regiones templadas entre 0.2 y 0.6 mg de carbono/ año y en sistemas forestales tropicales y subtropicales es de 1 y 7.4 Mg de carbono/ año. Actualmente existen diversas practicas se han desarrollado a fin de poder favorecer la captura de carbono edáfico en donde la labranza de conservación consiste en el menor movimiento del suelo y solo en la línea de siembra requiere manejar los residuos de cosecha para así evitar la erosión y aumenta la fertilidad, así mismo esta práctica que incluye la labranza cero y labranza reducida tiene la gran capacidad de secuestrar el carbono en el suelo; independientemente del tipo de labranza que se lleve a cabo en el suelo el ingreso de carbono es inferior a la emisión de dióxido de carbono lo cual responde a la pérdida de materia orgánica. Por otro lado, la rotación de cultivos, así como la introducción de varias especies en labranza de conservación aumenta los beneficios productivos y ambientales (Zamora., *et al* 2020).

2.16.2 Estabilización del carbono en el suelo

Betancourt *et al.*,1999 indica que para formar agregados y así proteger el carbono orgánico en el suelo es necesario requerir floculación de material coloidal tal como es la arcilla y la protección puede ser física con ayuda de las raíces. O también se puede realizar mediante el encapsulado de fragmento de la materia orgánica mediante las partículas de arcilla, así como también con los macro o micro agregados; si hablamos de una forma química esta se puede realizar mediante uniones de la materia orgánica con los constituyentes del suelo como son las arcillas (Fao,2002).

El impacto que ocasiona la materia orgánica sobre el suelo está sumamente relacionado con el número de agregados y su estabilidad lo cual es descrito por el contenido de carbono orgánico (Uriostegui,2006) por lo tanto el carbono orgánico del suelo tiene una función importante en donde actúa como el núcleo central para la formación de agregados (Chan *et al.*, 2003).

2.17 Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto invernadero que se produce por las actividades realizadas por el ser humano representando el 81,6% de emisiones de gases efecto invernadero en 2017, así mismo también se encuentra presente de manera natural ya que es parte del ciclo del carbono (Epa,2023).

Desde los inicios de la era industrial las actividades realizadas por el humano aumentaron el dióxido de carbono en la atmosfera en un 50%, lo que eso significa es que en la actualidad el contenido de dióxido de carbono es de 150% de su valor en 1750.La (ilustración 9) muestra el cambio del dióxido de carbono global con el paso de los años en donde se muestra que en 2002 había un promedio de 365 partes por millón y en la actualidad se tienen 400 partes por millón (NASA,2024).

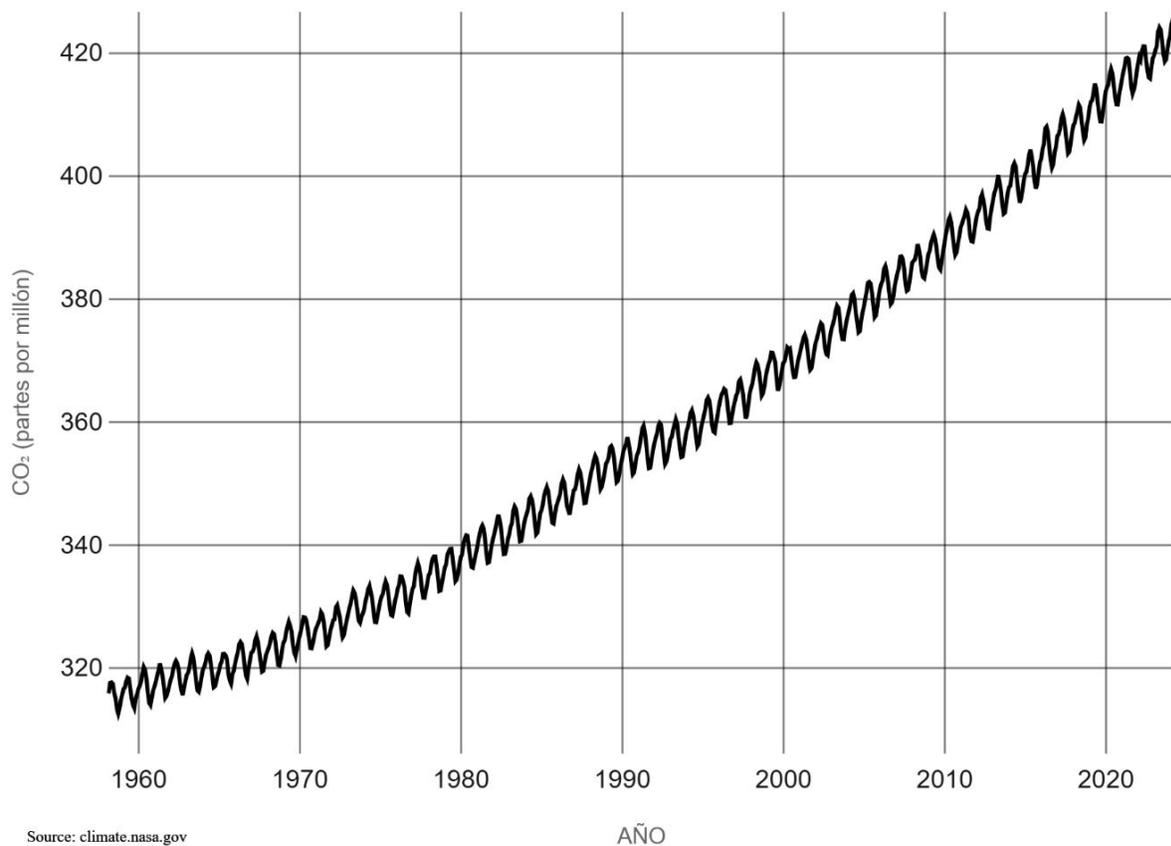


Ilustración 9. Aumento de dióxido de carbono conforme el paso de los años

2.18 Cambio climático

El cambio climático es definido como el posible aumento de temperatura del planeta el cual se produce a consecuencia del aumento de los gases de efecto invernadero como lo son el dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, metano y clorofluorocarbono (Ipcc,1995).

El uso de los combustibles fósiles y el uso de cambio de uso del suelo son considerados las principales fuentes emisoras de dióxido de carbono hacia la atmosfera las cuales se relacionan con el cambio climático (Mintzer,1992).

Actualmente el exceso de dióxido de carbono modifica el ciclo de carbono lo cual influye sobre las condiciones climáticas ya que por una parte se produce la captación de dióxido de carbono sobre la atmosfera mediante la fotosíntesis que realizan las plantas, las talas de árboles y las quemadas concentrando el dióxido de carbono en la atmosfera (Carvajal,2011).

2.19 Flujos de carbono en suelo, difusión de dióxido de carbono

En las condiciones naturales el carbono es incorporado al suelo a través del contenido orgánico el cual es principalmente de origen vegetal, en los suelos cultivados el mayor contenido de carbono se obtiene de los residuos de las cosechas, así mismo el carbono se pierde de forma gaseosa ya sea en forma de dióxido de carbono o metano directamente hacia la atmosfera. Por otro lado, el aire del suelo tiene una mayor proporción de dióxido de carbono en comparación con el aire atmosférico, así mismo los gases entran o salen del suelo mediante un flujo de masa o por difusión en donde el flujo de masa es producido por las variaciones que existen de temperatura y presión entre las diferentes capas del suelo, así como también la presión de la atmosfera (Healy *et al.*,1996).

2.20 Usos del suelo en el ejido El Peñón.

En el ejido el peñón el principal uso del suelo es el establecimiento de praderas para el pastoreo del ganado, así mismo algunas áreas son destinadas para la siembra de maíz durante la temporada de lluvias con el fin de obtener rastrojo para alimentar el ganado en la época de estiaje que es cuando existe una menor disponibilidad de forraje en las praderas. También existen pequeñas porciones de suelo que son parte de bosques en donde se encuentran arboles tales como encino y pino principalmente y en algunos casos espino herrero.

2.21 El carbono en los pastizales

Los sistemas agrarios desempeñan un papel importante para el almacenamiento de carbono en el suelo, el mayor sistema son el establecimiento de pastizales lo cual provoco que grandes extensiones de bosques fueran deforestados provocando la reducción de carbono en los suelos aumentando el dióxido de carbono en la atmosfera; para algunos investigadores los pastizales tienen una buena capacidad para almacenar carbono orgánico en el suelo teniendo en cuenta que los pastizales producen una gran cantidad de biomasa radicular, así como también las excretas de los animales y el manejo que se le proporciona al suelo, es por eso que para evaluar la cantidad de carbono almacenado se necesita biomasa vegetal, propiedades físicas, químicas y microorganismos edáficos. Aunque estudios realizados en Ecuador han dado como resultado que el establecimiento de pastizales en los bosques nativos en zonas tropicales ha tenido resultados negativos como son la compactación, acidificación del suelo, bajas en la población de microorganismos y disminución de la materia orgánica, teniendo una disminución del carbono orgánico en los primeros 30cm de suelo (Barrezueta *et al.*, 2020).

2.22 Captura de carbono en los bosques

México es considerado como uno de los 10 países que cuentan con una mayor superficie de bosques y en el territorio se han registrado todo tipo de vegetación conocida, en México existen más de 60 tipos de vegetación en donde los mayores conglomerados son los bosques de coníferas, encinos, mesófilo de montaña, selva perennifolia, selva caducifolia, selva espinosa, vegetación hidrófila, matorral xerófilo, pastizal y algunos más tipos de vegetación que son considerados especiales tales como: matorral espinoso tamaulipeco, el chaparral y el mezquital (SEMARNAT, 2021)..

Los ecosistemas forestales son utilizados para la obtención de madera en un aproximado de 3,400 millones de metros cúbicos anualmente a nivel mundial y al mismo tiempo estos ecosistemas son el almacén de carbono terrestre dividido en diversos

componentes teniendo un 44% en suelo , 42% en biomasa aérea y subterránea, el 8% en madera muerta y por último se tiene un 5% en el mantillo teniendo en cuenta que dichos valores dependen de factores como son las especies que se encuentran y la intensidad con la cual son aprovechadas (Galicia *et al.*, 2015).

Los bosques tropicales son capaces de capturar un gran volumen considerable de carbono por medio de la fotosíntesis y lo almacena en la vegetación y en el suelo (Ilustración 10), así mismo estos actúan como reservorio de carbono a largo plazo almacenando carbono por décadas o incluso siglos, el carbono es capturado mediante el crecimiento de los bosques, reforestación y restauración de estos. El manejo forestal garantiza que las reservas de carbono se mantengan durante mucho tiempo evitando la degradación (Organización internacional de las maderas tropicales,2024).

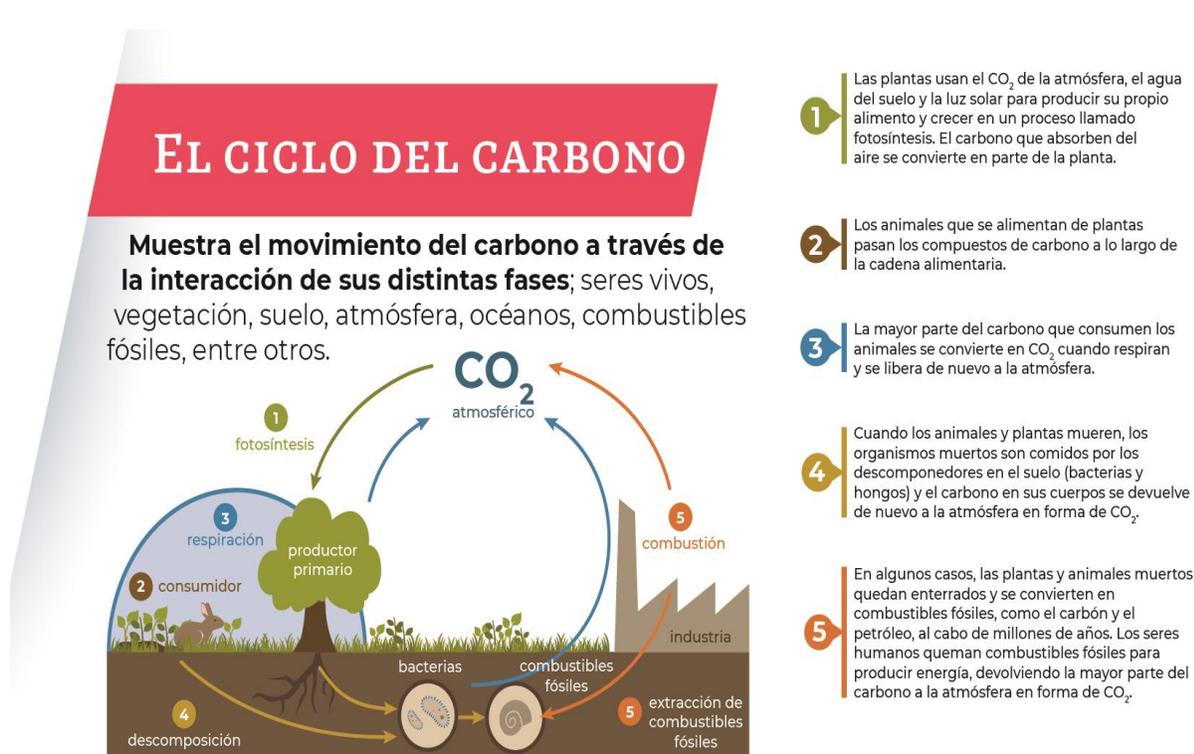


Ilustración 10. Ciclo del carbono

La captura de carbono en los árboles solamente ocurre durante el desarrollo de estos y se detiene cuando los árboles llegan a su punto de saturación en donde la captura de carbono es casi nula, este punto de saturación se presenta cuando los árboles se han desarrollado por completo y por lo tanto solamente capturan dióxido de carbono en

pequeñas cantidades para realizar la respiración; por lo tanto un árbol maduro no tiene la misma capacidad para la captura de este gas en comparación con un árbol joven el cual captura este gas en mayor cantidad ya que este participa para la formación de hojas, tallo, raíz y tronco (Masera,2001).

En la (Ilustración 11) se aprecia el papel fundamental que tienen los bosques en el almacenamiento y el flujo de carbono en donde las ramas, hojas, tallo y desechos poseen carbono mientras que la reincorporación al ciclo se realiza mediante la descomposición.

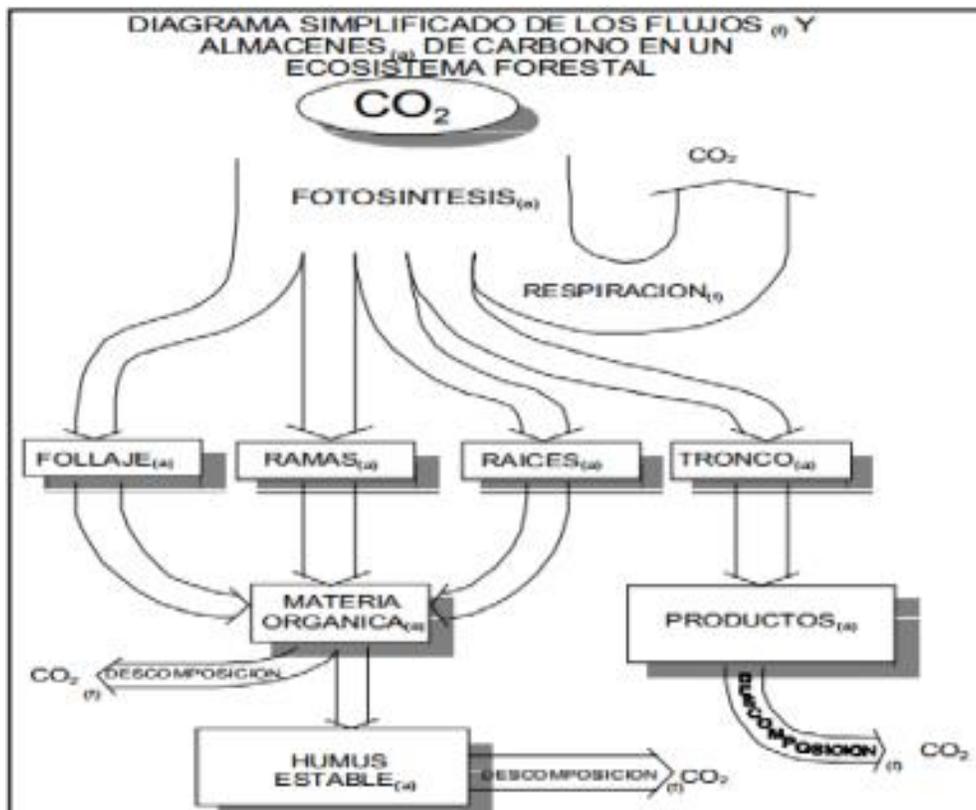


Ilustración 11. Diagrama de flujo y almacén de carbono en sistema forestal

2.23 El carbono orgánico en suelos agrícolas de México

La literatura indica que los suelos proveen servicios que son indispensables para la seguridad alimentaria, el mantenimiento de la biodiversidad y la regulación hidrológica, por otro lado, los suelos una gran fuente de carbono orgánico en los ecosistemas terrestres duplicando el contenido de carbono que se encuentra en la atmosfera.

En México el manejo de los suelos agrícolas es responsable de un 6.21% de las emisiones de efecto invernadero, la quinta comunicación ante la convención de las naciones unidas indica que las causas de esto son por la labranza y el uso de fertilizantes en los suelos agrícolas. En los suelos agrícolas que son trabajados con labranza cero poseen un mayor contenido de carbono orgánico ya que al ser labranza cero utilizan la siembra directa, así mismo en la región céntrica de México el incremento de carbono orgánico del suelo puede llegar alcanzar más del 40% después de al menos 6 años o con una tasa de incremento de aproximadamente $0.2\text{Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Cotler *et al.*,2016).

2.24 Carbono orgánico en sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles son considerados herramientas sostenibles los cuales son capaces de favorecer o contrarrestar efectos negativos mediante el implemento de especies de gramíneas y leguminosas en un mismo espacio las cuales son destinadas a la alimentación animal, por otro lado estos sistemas son capaces de aportar al suelo enormes cantidades de materia orgánica a través de la acumulación de hojarasca, raíces entre otros y así poder generar condiciones fisicoquímicas y bilógicas del suelo adecuadas para promover el desarrollo de los cultivos; por otro lado los sistemas silvopastoriles son capaces de capturar y almacenar carbono atmosférico en la mitigación del cambio climático. Una parte importante y fundamental del carbono que se encuentra presente en la atmosfera puede ser almacenado de forma natural por las plantas en la biosfera aérea mediante el proceso que realizan llamado fotosíntesis y otra parte en el suelo mediante la acumulación de la materia orgánica (Contreras *et al.*,2023).

Los principales reservorios de los sistemas silvopastoriles son el suelo, biomasa aérea y toda materia muerta, principalmente el suelo es el principal reservorio de carbono en ellos ecosistemas terrestres y su cambio de uso es asociado a la degradación del suelo ocasionando la reducción de carbono y aumentando las emisiones hacia la atmosfera de dióxido de carbono perdiendo su función como sumidero de carbono (Contreras *et al.*,2020).

2.25 Servicios ecosistémicos de los bosques

Los servicios ecosistémicos también son llamados bienes ambientales en donde estos son producto de la naturaleza y estos son aprovechados por los seres humanos, algunos de esos bienes suelen ser madera, frutos, forrajes o sustancias medicinales los cuales pueden ser comercializados. Algunos otros servicios que brindan los bosques son la captación hídrica, por otro lado, los bosques brindan servicios de regulación el cual consiste en la regulación de gases de efecto invernadero ya que por su gran tamaño y superficie que ocupan constituyen el 60% de almacenes de carbono aéreos y con un 30% de almacenes de carbono en suelo (Balvanera ,2012).

Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques se pueden clasificar en tres grupos:

Servicio de soporte: Los procesos que se realizan de forma natural es fundamental para que se puedan crear los otros dos grupos ya que el impacto es muy directo ya que se refiere a la formación del suelo, fotosíntesis, producción primaria, ciclo de nutrientes como son azufre, fosforo y nitrógeno, así como también el ciclo del agua.

Servicios de provisión o abastecimiento: Son todos aquellos productos que se obtienen de la naturaleza, en donde entran los alimentos, agua dulce y de uso agrícola, materias primas, materiales de construcción, materiales geoticos, combustibles renovables etc.

Servicios de regulación: Hace referencia a todo aquel proceso biológico que mejoran nuestra vida, mejorando la calidad del aire, regulación del clima y el ciclo del agua, control de erosión, fertilidad del suelo, reciclado de desechos y purificación del agua (Comisión nacional forestal,2020).

III.- JUSTIFICACION

El carbono orgánico del suelo es un componente importante del ciclo del carbono el cual ocupa un aproximado del 68% del carbono orgánico que se encuentra en la biosfera y el suelo actúa como un reservorio para la captura de carbono y de esto depende el uso que se le dé y el manejo, así mismo se estima que desde que se incorporan nuevos suelos en la agricultura así como el establecimiento de cultivos se están produciendo pérdidas del carbono orgánico teniendo una pérdida del 30 al 50%. existen practicas las cuales favorecen la captura de carbono en suelo, una de ellas es la labranza de conservación la cual consiste en cero labranza el cual es un sistema para el manejo de aquellos suelos que tienen una gran capacidad para el secuestro de carbono. El suelo es importante dentro del ciclo del carbono el cual actúa como una fuente de carbono y a su vez también actúa como un reservorio, el manejo agrícola usado convencionalmente en suelos promueve la liberación del carbono a la atmosfera mientras que el uso conservacionista favorece a la acumulación de carbono en el suelo el cual favorece a la distribución del espacio poroso del suelo afectando a la propiedades físicas y químicas y por lo tanto el carbono orgánico en suelos ha resultado ser el determinante de su productividad (Martínez *et al.*, 2023).

El carbono orgánico presente en el suelo es primordial para la actividad biológica del suelo ya que proporciona diversos recursos energéticos a los organismos vivos principalmente heterótrofos en forma de carbono lábil (hidrato de carbono de bajo peso molecular). La función principal de estos organismos vivos es realizar la descomposición de materiales orgánicos participando en muchos de los ciclos de diversos elementos que serán utilizados por las plantas, además estos organismos vivos ayudan a la formación y estructuración del suelo. Hablando en condiciones naturales el carbono es incorporado al suelo a través del contenido de diverso material orgánico de origen vegetal, por otro lado, el c del suelo se puede perder en forma gaseosa ya sea en forma de metano o dióxido de carbono por difusión directa hacia la atmosfera.

Algunos de los factores que ocasionan la pérdida de carbono son, la deforestación ocasionando la pérdida de hasta un 50% del carbono que se encuentra contenido dentro

del suelo, por otro lado, en los suelos agrícolas las pérdidas de carbono se deben a la erosión del suelo teniendo una pérdida de suelo de hasta 50 ton/ año lo cual nos lleva a una pérdida de carbono de 150 a 1,500 ton/ año a nivel global (Hernández *et al.*,2008)

IV.- HIPOTESIS

El suelo del sistema silvopastoril en el Ejido El Peñón y Los Timbres del municipio de Temascaltepec tienen mayor contenido de carbono orgánico y cambia a través de los periodos de medición.

V.- OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Medir el contenido de Carbono orgánico en suelo con diferentes usos: agrícolas, pastizal y sistema silvopastoril, en el Ejido el Peñón y en Los Timbres del municipio de Temascaltepec, México.

5.2 Objetivos específicos

- Medir el carbono y la materia orgánica de suelos agrícolas cultivados con maíz a profundidad de 0 a 10 cm y a 10 a 20 cm, en seis periodos de medición.
- Medir el carbono y la materia orgánica del suelo de pastizales a profundidad de 0 a 10 cm y a 10 a 20 cm, en seis periodos de medición.
- Medir el carbono y la materia orgánica de un sistema silvopastoril (bosques de Pinos + encinos + pastos) a profundidad de 0 a 10 cm y a 10 a 20 cm en seis periodos de medición.

VI.- MATERIALES Y METODOS

6.1 Localización del sitio experimental

El trabajo se desarrolló en dos unidades productivas ganaderas, la primera se encuentra ubicada en el Ejido “EL PEÑÓN” y la segunda se encuentra en “Los Timbres”, comunidades ubicadas en el municipio de Temascaltepec, México. La unidad de producción ubicada en el peñón se encuentra ubicada a 1,862 m.s.n.m, con las coordenadas geográfica 19° 03’ 07” N, 100° 07’ 10” W; por otro lado, la unidad de producción ubicada en “LOS TIMBRES” se encuentra a 1,769 m.s.n.m, con las coordenadas 19° 02’ 16” N, 100° 05’ 29” W (Google earth, 2020). (Ilustracion12 y 13).

Ilustración 10 y 11 Localización de unidades de producción

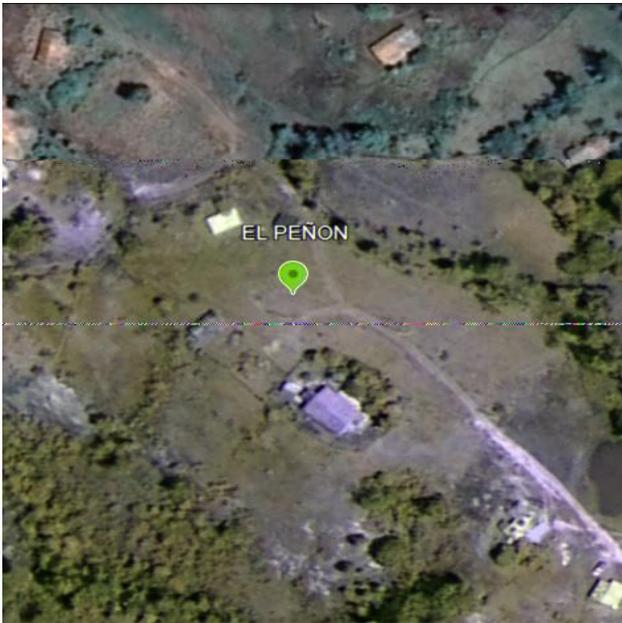


Ilustración 13. Unidad de producción El Peñón

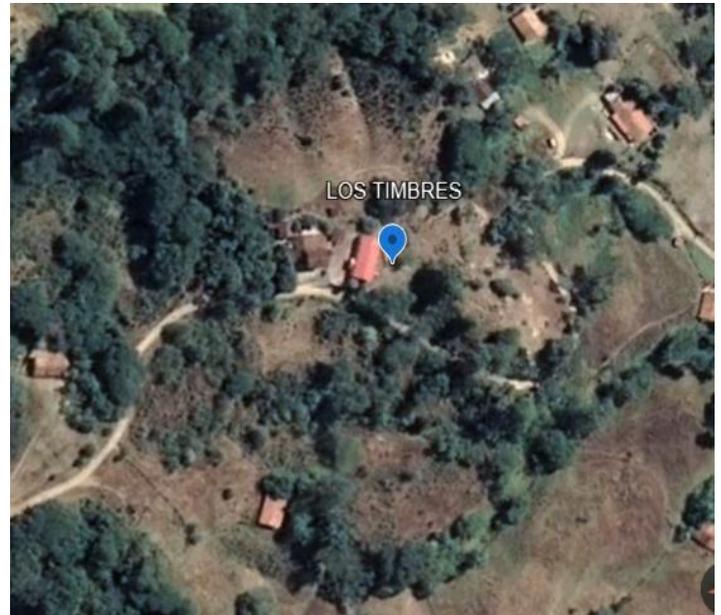


Ilustración 12. Unidad de producción Los Timbres

6.2 Materiales para toma de muestras de suelo

6.2.1 Material de campo para tomar muestras de suelo.

- Bolsas de plástico.
- Marcador permanente de color negro.
- Regla.
- Pico.
- Pala pequeña

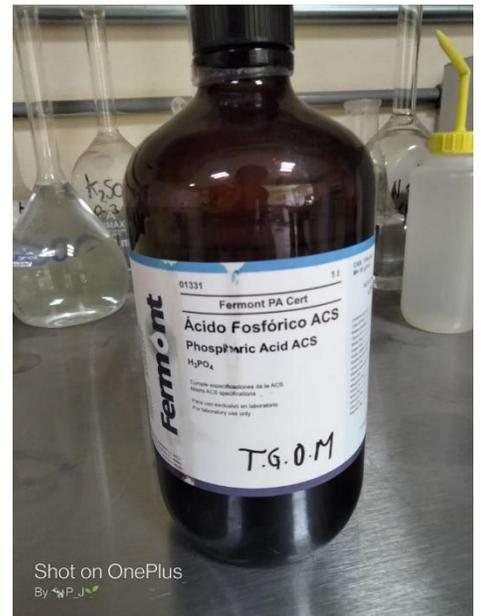


Ilustración 14. Ácido fosfórico.



Ilustración 15. Sulfato ferroso

6.3 Tomas de muestras

Antes de iniciar el muestreo se identificó el área en donde se recolectaron las muestras de suelo, en cada uso del suelo se realizó 1 muestreo por un periodo de 6 meses iniciando en los meses de febrero, marzo, mayo, junio, julio y agosto hasta el mes de septiembre del en los cuales se tomaron dos muestras por uso del suelo, a diferentes profundidades siendo estas de 0-10 y de 10-20 cm utilizando una regla, pico pequeño y una pala la cual se utilizó para la recolección de las muestras almacenándose en bolsas de plástico nuevas siendo etiquetadas con la información necesaria las cuales se llevaron al laboratorio para ser secadas a temperatura ambiente y posteriormente se procesaron para la realización de los análisis correspondientes.

6.4 Proceso para toma de muestras

El primer paso para realizar el muestreo fue determinar el área o zona, la cual se impío los restos de materia orgánica tales como son hojas, troncos o restos de pasto.

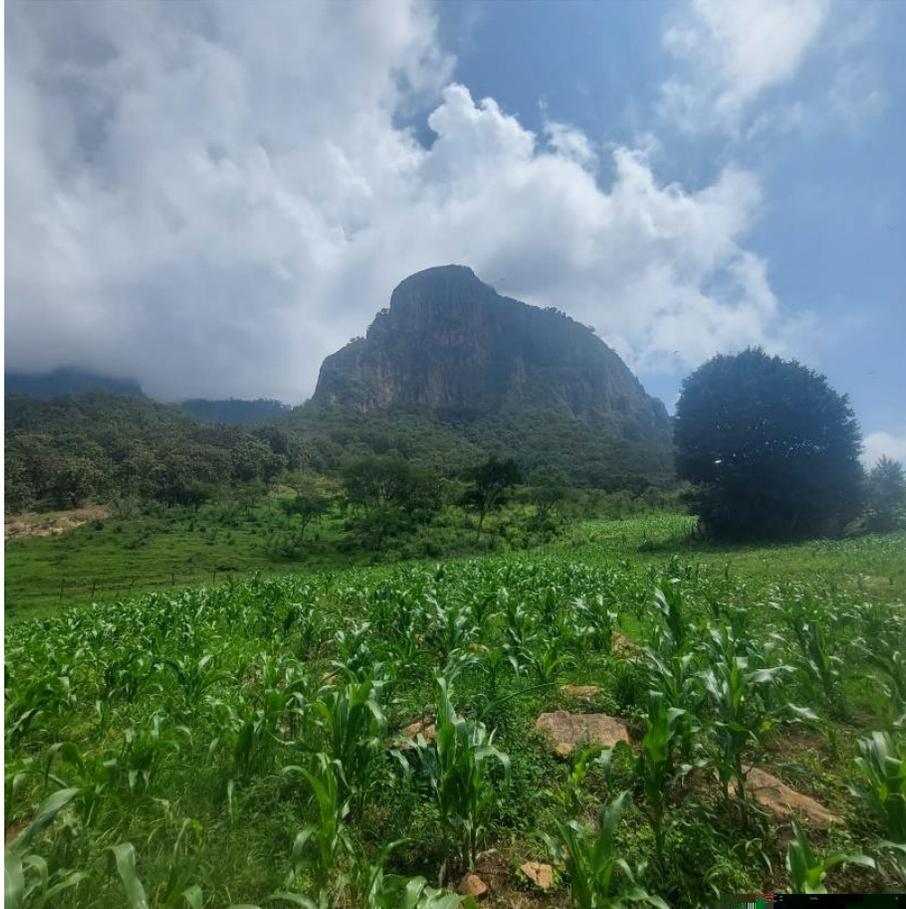


Ilustración 16. Zona de muestreo en la unidad de producción El Peñón

Posteriormente con la ayuda del pico se procedió a escarbar con cuidado para poder extraer la muestra del suelo y con ayuda de la regla se realizó la medición para verificar la profundidad deseada ya que la primera muestra se tomó de 0 – 10 cm y la segunda de 10-20 cm.

Con ayuda de la pala se extrajo la cantidad de suelo deseada para ser colocada dentro de la bolsa de nylon correspondiente, la cual se etiquetó con la información correspondiente como son: fecha de muestra, sistema de producción en la que se recolectó, nombre del productor y la profundidad a la cual se muestreo.



Ilustración 17 Perfil del suelo

Al finalizar las muestras recolectadas se llevaron al laboratorio de suelos del Centro Universitario para iniciar el proceso necesario para el análisis y obtención de resultados de estas.



Ilustración 18 Secado de muestras de suelo

6.5 Análisis de carbono en el suelo

El método utilizado para la determinación de carbono fue el de oxidación húmeda el cual fue desarrollado por Walkley y Black en 1934. Siguiendo la norma **NOM-021-RECNAT-2000**.

Material de laboratorio

- Matraz Erlenmeyer de 500ml.
- Bureta.
- Pipetas de 10 y 5 ml.
- Soporte universal.
- Probeta de 100 ml.
- Balanza analítica

Reactivos de laboratorio para análisis de suelo.

- Ácido sulfúrico.
- Ácido fosfórico
- Sulfato ferroso.
- Dicromato de potasio.
- Indicador de difenilamina.
- Agua destilada.

Material: Matraz Erlenmeyer 250 ml, pipeta de 5 ml para dicromato de potasio, bureta de para sulfato ferroso, pipeta de 5ml para ácido fosfórico, Pipeta volumétrica de 10 ml y Probeta de vidrio de 25 ml.

Reactivos: Dicromato de potasio, sulfato ferroso, ácido sulfúrico, ácido fosfórico, indicador de difenilamina.

Procedimiento:

Las muestras que se encuentran listas se tamizaron con tamices del número 70 y así mismo se retiraron los restos orgánicos de la muestra, tales como son hojas y raíces.



Ilustración 19 Tamizado del suelo

Se peso una cantidad de muestra de 0.5 gramos utilizando una balanza analítica digital y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 ml.



Ilustración 20 Bascula analítica

Se agregaron 5 ml de dicromato de potasio, seguidamente se adiciono 10 ml de ácido sulfúrico lentamente sobre las paredes, todo el procedimiento se realizó bajo campana extractora de gases.



Ilustración 21 Muestras con dicromato de potasio y ácido sulfúrico

Se dejó reposar bajo la campana de extracción por 30 minutos, cuando la mezcla se enfrió se le adiciono 100 ml de agua destilada.

Con ayuda de una pipeta se adicionó 5ml de ácido fosfórico, se agito la solución y se agregaron 5 gotas de difenilamina.

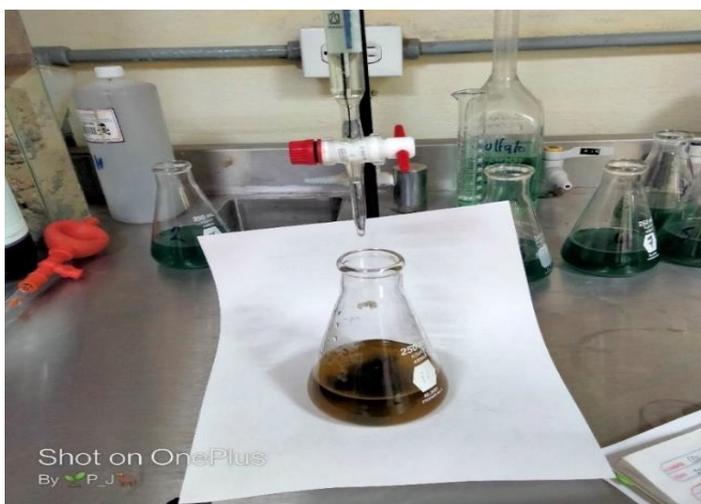


Ilustración 22 Titulación de muestras

Con la ayuda de una probeta se colocó sulfato ferroso a la bureta, se procedió a titular y se midió el volumen gastado hasta observar el viraje de color marrón a verde esmeralda (Para el testigo se realizó el mismo procedimiento, pero sin muestra de suelo) (Izquierdo *et al.*, 2020).



Ilustración 23 Muestras tituladas con sulfato ferroso

Formulas:

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

Gramos de la muestra

6.6.-Diseño experimental y análisis de datos

En cada uso del suelo las variables de materia orgánica y carbono se analizarán con medidas de tendencia central (promedio y desviación estándar).

6.7 Diseño experimental.

Diseño de parcelas divididas completamente al azar, donde la parcela mayor fueron dos unidades de producción una en los Timbres y la otra en el Peñón. La parcela menor fueron los tres usos del suelo; suelo agrícola, suelo de pastizales y suelo silvopastoril. Las subparcelas fueron los periodos de evaluación (6 periodos) mensuales, los datos se analizaron mediante un anova utilizando el modelo general lineal con el programa minitab.

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

μ : media general

τ_i : efecto del i-ésimo tratamiento $i=3$

E_{ij} : error experimental en la unidad j del tratamiento i

VII.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Contenido de carbono orgánico en suelos con diferente uso en la unidad de producción El Peñón.

El sistema suelo-vegetación tiene un papel importante en el aumento o en la reducción de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera, y esto es dependiendo de la velocidad de formación y descomposición del carbono orgánico en el suelo (Co) razón por la cual, el suelo es uno de los reservorios terrestres de carbono más grandes. Los suelos de México presentan contenidos de carbono que varían de 0.006 a 16.40% en el horizonte superficial (0 a 20 cm de profundidad), lo que nos muestra su heterogeneidad en los diferentes ambientes, así mismo el contenido de Co por unidad de superficie varía desde 0.2 hasta 493 Mg ha⁻¹ (Segura *et al.*,2005).

Anaya *et al.* (2016) mencionan que la ubicación topográfica, pendiente y la diversidad y distribución de las especies de plantas influyen en la variación de carbono orgánico en el suelo; concluyen que la concentración de carbono orgánico decreció con la profundidad del suelo, y que aproximadamente el 55 % de carbono orgánico se presenta en los primeros 30 cm de profundidad.

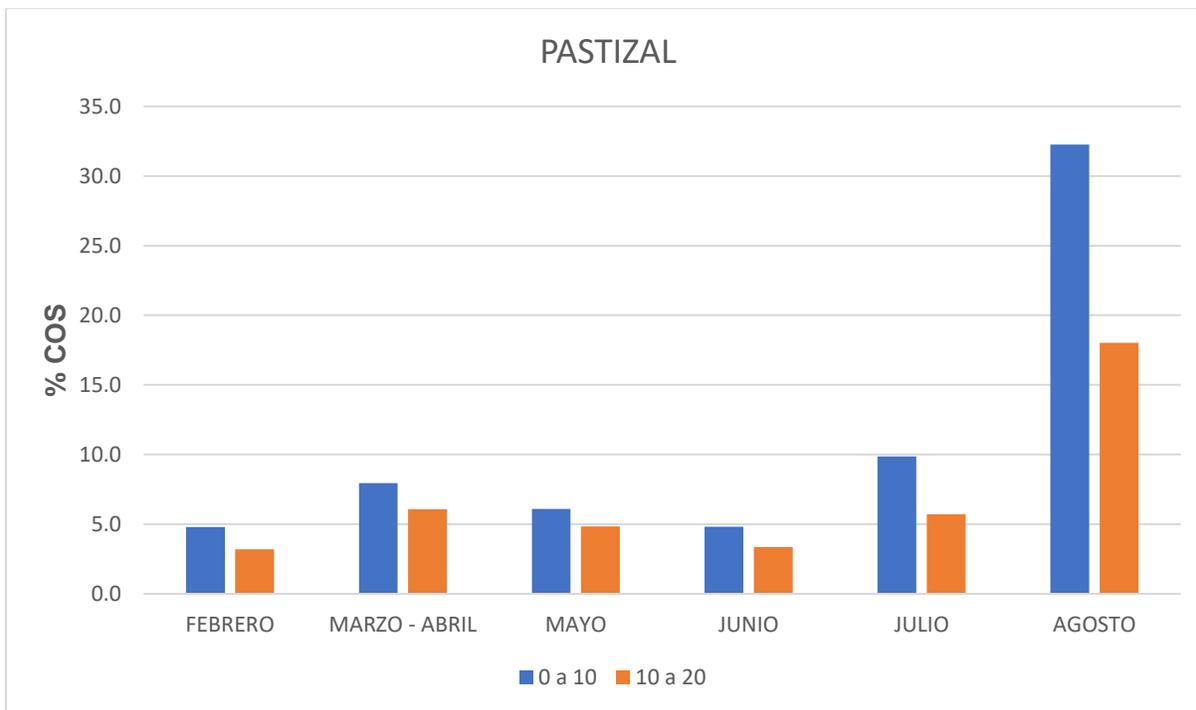
En este trabajo se estimó el contenido de carbono orgánico presente en el suelo a diferentes profundidades y con diferentes usos. Los resultados se muestran en la tabla 2, el porcentaje de carbono orgánico presente en los diferentes usos del suelo (uso agrícola, uso silvopastoril y uso de pastizal) a dos profundidades de muestreo del suelo; 0 a 10 cm y 10 a 20 cm en la unidad de producción del Peñón. En los tres usos del suelo se observó que en la profundidad de muestreo 0 a 10 cm se presentó mayor porcentaje de carbono en promedio durante los periodos de muestreo. En las graficas 1 se muestra el contenido de carbono en el pastizal donde se observa que el mes de agosto presentó la mayor concentración de Co, en la gráfica 2 se muestra el contenido de carbono en silvopastoril con la mayor cantidad de Co en el mes de julio y la gráfica 3 muestra el contenido de carbono en el uso agrícola en donde la mayor concentración de Co fue en el mes de julio haciendo la comparación a la profundidad de 0 – 10 y de 10- 20 en cada

mes en el que se realizó el muestreo mostrando que la mayor concentración se mostró en 0 a 10 cm de profundidad.

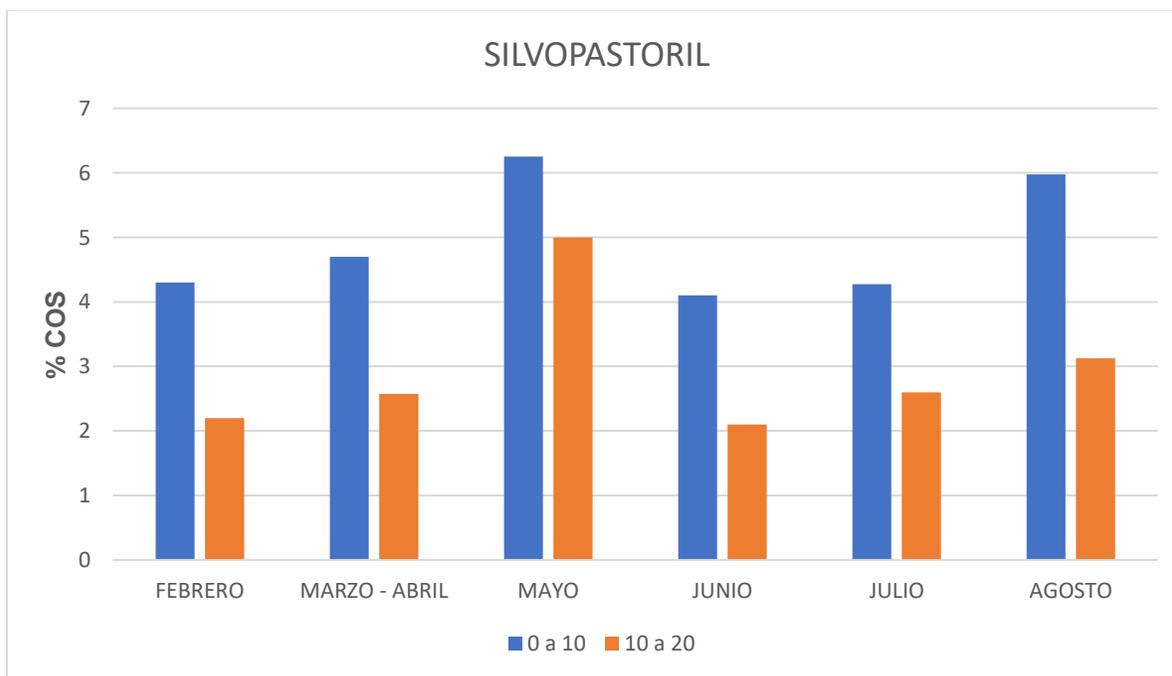
Tabla 2. Porcentaje de carbono orgánico del suelo (%) en la unidad de producción Los Timbres

USOS DEL SUELO	PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)	MARZO -						
		FEBRERO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	PROMEDIO
PASTIZAL	0 a 10	4.8	8.0	6.1	4.8	9.9	32.3	11.0
	10 a 20	3.2	6.1	4.9	3.4	5.7	18.0	6.9
PROMEDIO		4.0	7.0	5.5	4.1	7.8	25.1	8.9
SILVOPASTORIL	0 a 10	4.3	4.7	6.3	4.1	4.3	6.0	4.9
	10 a 20	2.2	2.6	5.0	2.1	2.6	3.1	2.9
PROMEDIO		3.3	3.6	5.6	3.1	3.4	4.6	3.9
USO AGRICOLA	0 a 10	7.0	7.2	6.9	6.9	7.5	7.0	7.1
	10 a 20	3.8	5.3	4.9	4.2	5.5	5.2	4.8
PROMEDIO		5.4	6.3	5.9	5.5	6.5	6.1	5.9

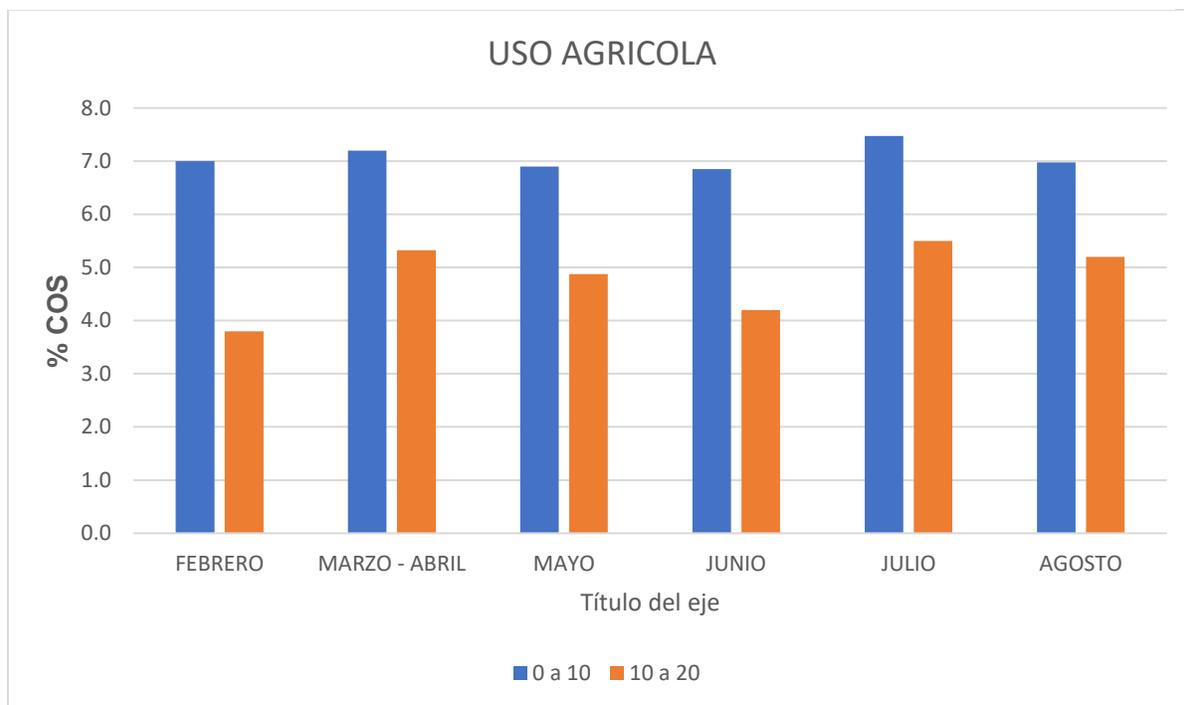
Grafica 2. Porcentaje de carbono en suelo de pastizal de 0-10 y de 10- 20 cm durante los meses de muestreo



Grafica 3. Porcentaje de carbono en suelo de uso silvopastoril de 0-10 y de 10- 20 cm durante los meses de muestreo



Grafica 4. Porcentaje de carbono en suelo de pastizal de 0-10 y de 10- 20 cm durante los meses de muestreo



7.2 Contenido de carbono orgánico en suelos con diferente uso de la unidad de producción Los Timbres

En la unidad de producción Los Timbres en el suelo se observó el mismo comportamiento que en el suelo de la unidad de producción El Peñón. El mayor porcentaje de carbono se encontró a profundidad de 0 a 10 cm manteniéndose en los tres usos del suelo (Tabla 3).

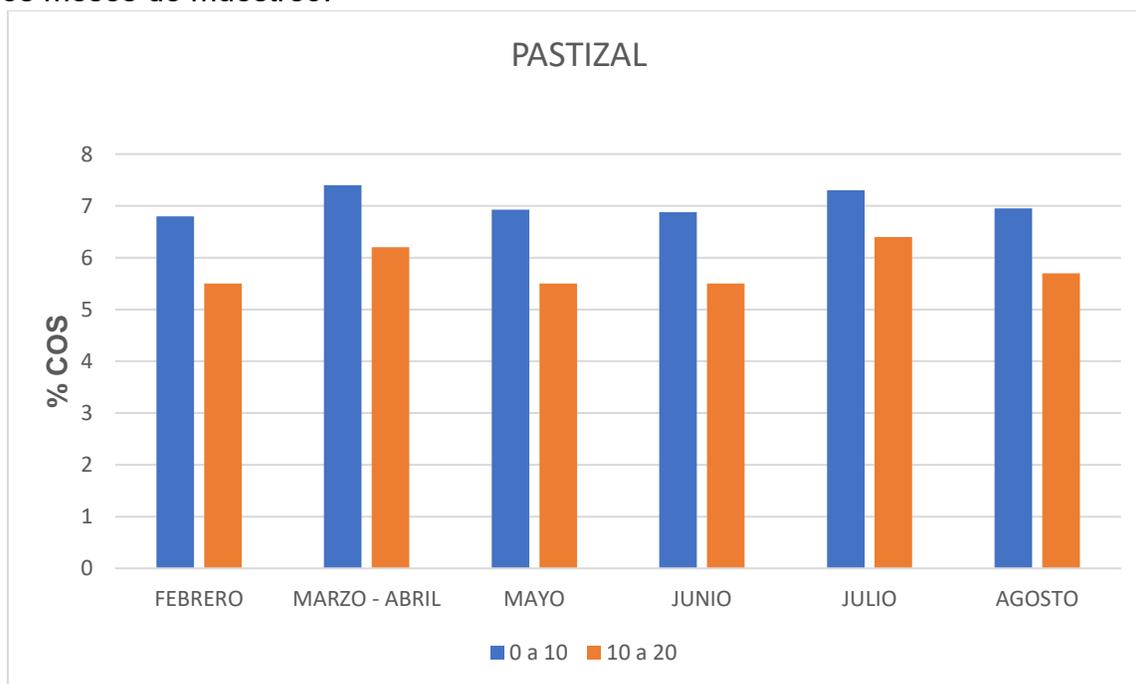
En las graficas 5 se muestra el contenido de carbono en el pastizal mostrando que la cantidad de Co se mantuvo constante durante el periodo de muestreo. La gráfica 6 se muestra el contenido de carbono en silvopastoril en donde se reflejó un aumento de Co en marzo- abril y julio a profundidad de 0- 10 cm. En la gráfica 7 se muestra el contenido

de carbono en el uso agrícola en donde las mayores concentraciones de Co se presentaron en los meses de mayo y agosto.

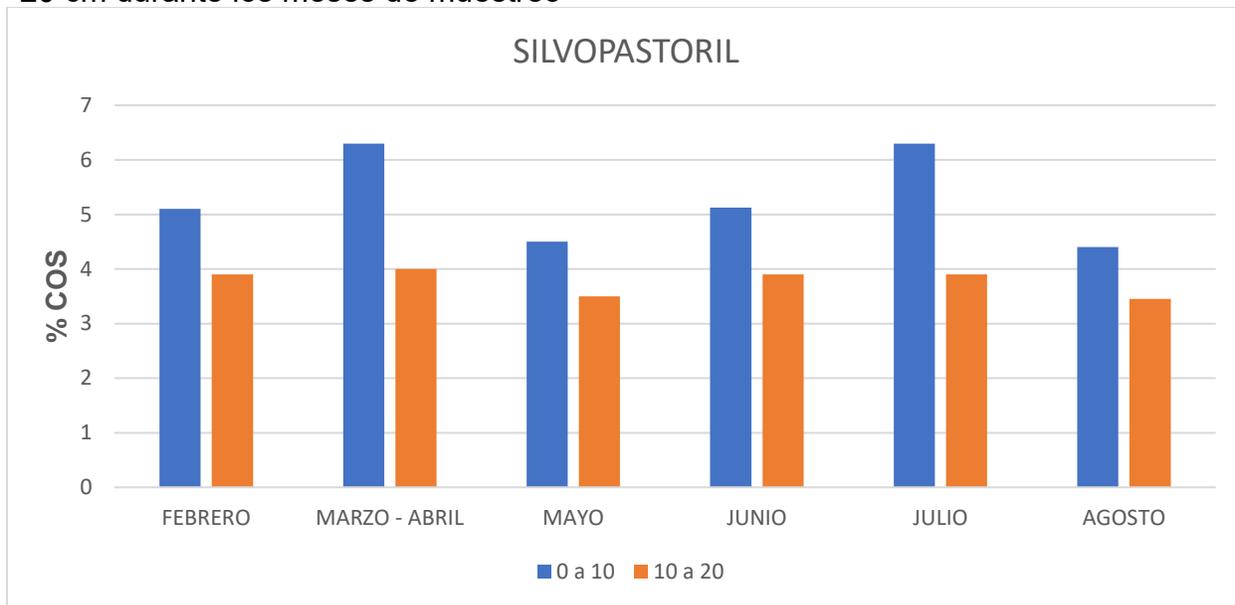
Tabla 3. Porcentaje de carbono orgánico del suelo en la unidad de producción El Peñón

USOS DEL SUELO	PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)		MAYO - AGOSTO						PROMEDIO
	FEBRERO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO			
PASTIZALES	0 a 10	7.4	6.9	6.9	7.3	7.0	7.0		
	10 a 20	6.2	5.5	5.5	6.4	5.7	5.8		
PROMEDIO		6.8	6.2	6.2	6.9	6.3	6.4		
SILVOPASTORIL	0 a 10	6.3	4.5	5.1	6.3	4.4	5.3		
	10 a 20	3.9	4.0	3.5	3.9	3.5	3.8		
PROMEDIO		5.2	4.0	4.5	5.1	3.9	4.5		
USO AGRICOLA	0 a 10	4.4	6.5	4.2	4.2	6.7	5.0		
	10 a 20	3.1	3.8	5.2	3.1	3.9	4.0		
PROMEDIO		4.4	6.5	4.2	4.2	6.7	5.0		

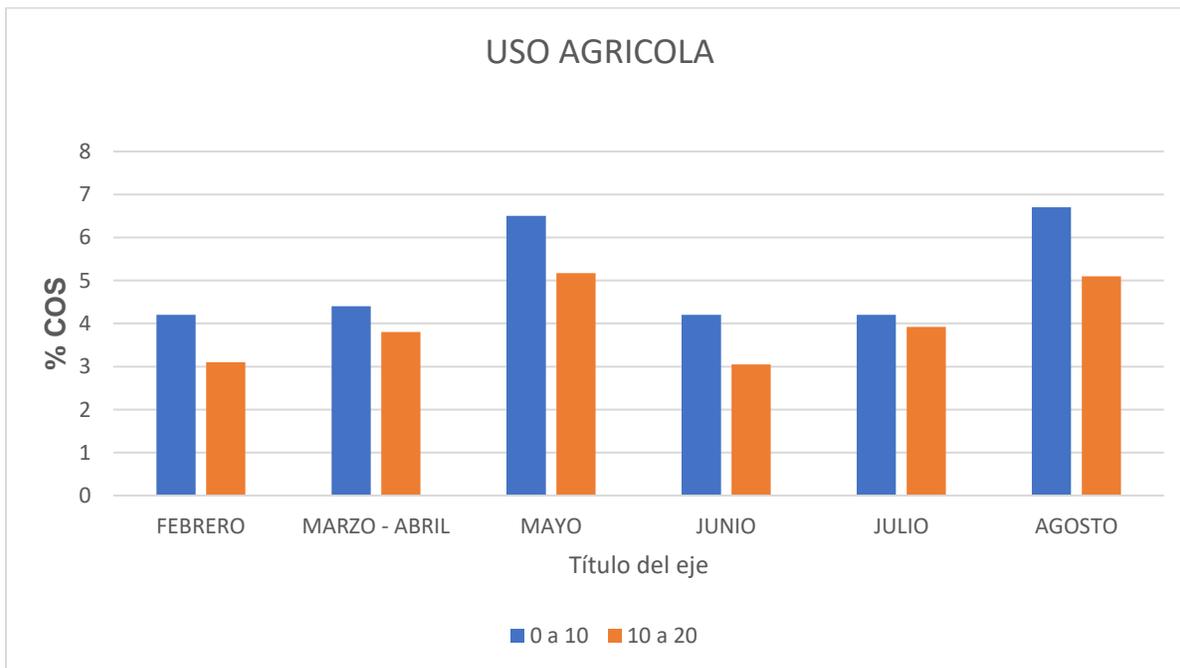
Grafica 5. Porcentaje de carbono en suelo de pastizal de 0-10 y de 10- 20 cm durante los meses de muestreo.



Grafica 6. Porcentaje de carbono en suelo silvopastoril a profundidad de 0-10 y de 10-20 cm durante los meses de muestreo



Grafica 7. Porcentaje de carbono en suelo de uso agrícola de 0-10 y de 10-20 cm durante los meses de muestreo



7.3 Contenido promedio del porcentaje de carbono orgánico presente en suelo de 0- 10 cm en las unidades de producción de Los Timbres y El Peñón en los meses de muestreo.

La tabla 4 muestra el porcentaje de carbono presente en el suelo a la profundidad de 0 – 10 cm en cada una de las unidades de producción. El mayor contenido de carbono ($P < 0.05$) lo presentó la unidad de producción 1 con valor de 1.7% más de carbono que en la unidad de producción 2.

Tabla 4. Promedio del porcentaje de carbono por unidad de producción 0 - 10 cm

UNIDAD	CARBONO %	Valor P	EEM
1	7.6a	$P < 0.05$	0.78
2	5.8b		

1: Unidad de producción ubicada en Los Timbres

2: Unidad de producción de El Peñón

Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

EEM: Error estándar de la media

7.3.1 Contenido promedio de carbono orgánico en los diferentes usos del suelo de 0 – 10 cm

La tabla. 5 presenta el contenido de carbono promedio de los usos del suelo en las unidades de producción a una profundidad de 0 – 10 cm. El mayor contenido de Co se presentó en el uso del suelo pastizal ($P < 0.001$). El contenido de COS presente en el uso del suelo del bosque fue similar al uso del suelo agrícola ($P > 0.05$).

En los ecosistemas de los pastizales la mayor parte de carbono se almacena en el suelo de modo que el secuestro de carbono es el principal potencial. La presencia de arbustos y arboles realiza una gran contribución a las grandes reservas de carbono; así mismo los pastizales poseen grandes variaciones en términos de características climáticas, vegetación y tipos de suelo. Se ha demostrado que algunos tipos de pastizales pueden responder de una forma positiva a una cierta practica en donde se puede reducir la tasa de secuestro de carbono en otros lugares (Tennigkeit *et al.*, 2008).

Lal (2004) menciona que una contribución importante para disminuir el contenido de dióxido de carbono en la atmósfera es incrementar los reservorios de carbono el cual tiene tiempos medios de alojamiento más prolongados en la vegetación, ya que las tierras utilizadas para el pastoreo cuentan con un papel de gran importancia en el secuestro de carbono en donde los pastizales mitigan el cambio climático al almacenar carbono en la biomasa mediante la fotosíntesis y fijado en suelo mediante el ciclo del carbono.

Tabla 5. Promedio de carbono en diferentes usos del suelo (%)

USOS DEL SUELO	Unidad de producción	Carbono %	X (media)	Valor P
Pastizal	1	11.0	9.0 a	0.001
	2	7.0		
Silvopastoril	1	4.9	5.1b	
	2	5.3		
Uso agrícola	1	7.1	6.0 b	
	2	5.0		

1: Unidad de producción ubicada en Los Timbres

2: Unidad de producción de El Peñón

Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

EEM: Error estándar de la media

7.3.2 Contenido de carbono en el suelo a profundidad de 0-10 cm en las unidades de producción en cada mes de muestreo.

La tabla 6 muestra el promedio de carbono de los usos del suelo presente a una profundidad de 0 – 10 cm durante el periodo de muestreo en cada una de las unidades de producción. Se observó que el mayor contenido de Co se presentó en el mes de agosto con un valor del 15.1% en la unidad de producción. Los valores de febrero – julio de la unidad de producción 1 y los valores de febrero – agosto de la unidad de producción 2 fueron similares.

Tabla 6. Promedio de carbono en suelo (%) de 0 a 10 cm febrero – agosto de cada unidad de producción

UNIDAD DE PRODUCCION	FEBRERO	MARZO-ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	Valor P	EEM
1	5.4 a	6.6 a	6.4 a	5.3 a	7.2 a	15.1 b	0.023	1.363
2	5.4 a	6.0 a	6.0 a	5.4 a	5.9 a	6.0 a		

1: Unidad de producción ubicada en Los Timbres

2: Unidad de producción de El Peñón

Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

EEM: Error estándar de la media

7.4 Contenido de carbono orgánico en el suelo a profundidad de 10-20 cm en las unidades de producción de Los Timbres y El Peñón del municipio de Temascaltepec Estado de México, en cada mes de muestreo.

La tabla 7 muestra el porcentaje de carbono presente en el suelo a profundidad de 10 – 20 cm en cada una de las unidades de producción. Se observó que el contenido de carbono presente en ambas unidades de producción fue similar ($P > 0.05$).

Tabla 7. Contenido de carbono orgánico del suelo a profundidad de 10 - 20 en las unidades de producción de El Peñón y Los Timbres del municipio de Temascaltepec, estado de México

UNIDAD DE PRODUCCION	Carbono orgánico %	Valor P	EEM
1	4.8	$P < 0.96$	0.62
2	4.5		

1: Unidad de producción ubicada en Los timbres

2: Unidad de producción de El Peñón

Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

EEM: Error estándar de la media

7.4.1 Contenido promedio de carbono orgánico en los diferentes usos del suelo a profundidad de 10 – 20 cm

Para algunos investigadores los pastizales tienen gran capacidad para almacenar carbono orgánico en el suelo, teniendo en cuenta que los pastizales producen una gran cantidad de biomasa radicular, sin embargo estudios realizados en Ecuador han demostrado que el establecimiento de pastizales en bosques nativos, ha tenido resultados negativos como son: compactación, acidificación del suelo, bajas en la población de microorganismos y disminución de la materia orgánica, teniendo una disminución del carbono orgánico en los primeros 30cm de profundidad en el suelo (Barrezueta *et al.*, 2020).

La tabla 8 presenta el contenido de carbono promedio de los diferentes usos del suelo en las unidades de producción. El mayor contenido de carbono se presentó en el uso del suelo pastizal con un valor de 1.6% más que en el resto de los usos del suelo ($P > 0.000$). El Co (carbono orgánico) presente en el bosque y en el uso del suelo agrícolas fueron similares.

Tabla 8. Promedio de carbono orgánico en diferentes usos del suelo (%) en las unidades de producción El Peñón y Los Timbres del municipio de Temascaltepec, Estado de México

USOS DEL SUELO	Unidad de producción	% Co	X (media)	Valor P
	1	6.9		0.000
Pastizal	2	5.8	6.4 a	
	1	3.8		
Silvopastoril	2	3.7	4.0 b	
	1	4.0		

Uso agrícola	2	4.0	4.0 b
--------------	---	-----	-------

1: Unidad de producción ubicada en los Timbres
 2: Unidad de producción de El Peñón
 Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$
 EEM: Error estándar de la media

7.4.2 Contenido de carbono en las unidades de producción a profundidad de 10 - 20 cm de cada mes de muestreo.

La tabla 9 muestra el porcentaje de carbono presente en el suelo a profundidad de 10 – 20 cm en cada uno de los meses durante el periodo de muestreo en las unidades de producción. Se observó que el mayor contenido de COS se presentó en el mes de agosto con un valor del 8.8% en la unidad de producción 1. Los valores del mes de febrero – julio de la unidad de producción 1 y los valores de febrero – agosto de la unidad de producción 2 fueron similares.

Tabla 9. Promedio de carbono en suelo de 10 a 20 cm, durante el periodo febrero – agosto de cada unidad de producción

UNIDAD DE PRODUCCION	FEBRERO	MARZO - ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	Valor P	EEM
1	3.0 a	4.6 a	4.9 a	3.2 a	4.6 a	8.8 b		
2	4.2 a	4.6 a	4.7 a	4.2 a	4.7 a	4.8 a	0.019	1.073

1: Unidad de producción ubicada en Los timbres
 2: Unidad de producción de El Peñón
 Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$
 EEM: Error estándar de la media

El carbono orgánico se encuentra en el suelo después de la descomposición de material producto de organismos vivo, los suelos contienen más carbono que la vegetación y la atmosfera; Del carbono dependen las características físicas, químicas y biológicas del suelo las cuales forman agregados que interactúan con los minerales encontrados en la

arcilla mejorando la estructura del suelo y liberando nutrientes para ser aprovechados por las plantas (Izquierdo *et al.*, 2021).

7.5 Contenido de carbono orgánico a profundidad de 0-10 y 10-20 cm en las unidades de producción Los Timbres y El Peñón

En este trabajo el contenido de carbono orgánico del suelo del sistema pastizal fue mayor en la unidad productiva de Los Timbres en las dos profundidades de muestreo. Lo cual podría estar relacionado con el manejo ganadero del pastizal, donde pastorean bovinos de manera continuo o rotacional durante todo el año.

En el uso del suelo del silvopastoril de la unidad productiva Los Timbres, presento mayor contenido de carbono en las dos profundidades del suelo.

El suelo del uso del suelo agrícola presento diferencias en el contenido de carbono orgánico ($P < 0.05$) en la profundidad de 0-10cm de suelo en las unidades productivas. En promedio en las unidades se presentó 6.1% de carbono en el suelo a profundidad de 0-10 cm y 4.4% de promedio de carbono en el suelo a profundidad de 10-20 cm.

Tabla 10. Contenido de carbono orgánico en el suelo a profundidad de 0-10 cm y 10-20 cm en las unidades de producción de Los Timbres y El Peñón en los diferentes usos del suelo.

USOS DEL SUELO	1	2	% CARBONO 0 - 10 cm profundidad	VALOR DE P
Pastizal	11.0	7.0		0.0007
Silvopastoril	4.9	5.3		0.0238
Uso agrícola	7.1	5.0	6.1	0.4492

USOS DEL SUELO	1	2	% CARBONO 10 -20 cm profundidad	VALOR DE P
Pastizal	6.9	5.8		0.0000
Silvopastoril	2.9	4.0		0.0163

Uso agrícola	4.8	4.0	4.4	0.0900
--------------	-----	-----	-----	--------

1: Unidad de producción ubicada en Los Timbres

2: Unidad de producción de El Peñón

Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

EEM: Error estándar de la media

7.6 Contenido de materia orgánica de 0 – 10 en la unidad de producción Los Timbres

En la tabla 11 se muestra que el uso del suelo con mayor contenido de materia orgánica a profundidad de 0 – 10 cm es en el uso del suelo del pastizal con un 18.7% indicando un suelo muy alto, sin embargo, el uso del suelo silvopastoril y uso agrícola son considerados suelos altos en contenido de materia orgánica de acuerdo con los resultados y a la norma **NOM – 021 – RECNAT- 2000**

Tabla 11. Contenido de materia orgánica en suelo de 0 - 10 cm

USOS DEL SUELO	% DE CARBONO	% DE MATERIA ORGANICA
Pastizal	11.0	18.7
Silvopastoril	4.9	8.4
Uso agrícola	7.1	12.04

7.6.1 Contenido de materia orgánica de 10 – 20 en la unidad de producción Los Timbres

Al igual que en la tabla anterior, en la tabla 12 se muestra un mayor contenido de materia orgánica en el uso del suelo del pastizal, por el contrario, el uso del suelo silvopastoril y el uso agrícola tienen un contenido bajo de materia orgánica de acuerdo con la norma **NOM – 021 – RECNAT- 2000**.

Tabla 12. Contenido de materia orgánica en suelo de 10 – 20 cm

USOS DEL SUELO	% DE CARBONO	% DE MATERIA ORGANICA
Pastizal	6.9	11.69
Silvopastoril	2.9	4.98
Uso agrícola	4.8	8.25

7.7 Contenido de materia orgánica de 0 – 10 cm en la unidad de producción El Peñón

En la unidad de producción El Peñón se muestra en la tabla 13 que el mayor contenido de materia orgánica se encuentra en el uso del suelo del pastizal considerado un suelo con alto contenido de materia orgánica y los usos del suelo silvopastoril y uso agrícola son suelos considerados medios por su contenido de materia orgánica.

Tabla 13. Contenido de materia orgánica en suelo de 0 – 10 cm

USOS DEL SUELO	% DE CARBONO	% DE MATERIA ORGANICA
Pastizal	7.0	11.69
Silvopastoril	5.3	9.11
Uso agrícola	5.0	8.6

7.7.1 Contenido de materia orgánica de 10 – 20 cm en la unidad de producción El Peñón

Al igual que en la tabla anterior en la tabla 14 se muestra que el mayor contenido de materia orgánica se encuentra en el uso del suelo del pastizal teniendo un contenido medio de acuerdo con la norma **NOM – 021 – RECNAT- 2000**, por otro lado, los usos del suelo silvopastoril y uso agrícola son considerados con un bajo contenido de materia orgánica.

Tabla 14. Contenido de materia orgánica en suelo de 10 – 20 cm

USOS DEL SUELO	% DE CARBONO	% DE MATERIA ORGANICA
Pastizal	5.8	9.97
Silvopastoril	3.8	6.36
Uso agrícola	4.0	6.88

7.8 Captura de carbono a profundidad de 0 a 10 cm en los diferentes usos del suelo en la unidad de producción Los Timbres.

Se considera a los suelos como sumidero de carbono ya que tienen la capacidad de almacenar este elemento de forma orgánica 1,500Pg a 1m de profundidad y 2,456Pg a 2m de profundidad y de forma inorgánica 1,700Pg lo cual sobrepasa la cantidad que presenta la vegetación que es 650pg y de la atmosfera 750Pg (International Geosphere Biosphere Programme, 1998).

En la unidad de producción Los Timbres se muestran en la tabla 15 que la mayor captura de carbono se encuentra en el uso del suelo del pastizal, teniendo una mayor captura en el mes de agosto seguido del uso del suelo agrícola y silvopastoril.

Tabla 15. Captura de carbono en diferentes usos del suelo a profundidad de 0 a 10 cm de la superficie

Usos del suelo	Febrero	Marzo - Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Fijación de carbono (mg/ha)
Pastizal	0.385	0.615	0.495	0.41	0.765	2.535	5.205
Silvopastoril	0.38	0.425	0.565	0.365	0.395	0.54	2.67
Uso agrícola	0.63	0.665	0.625	0.62	0.67	0.64	3.84

7.8.1 Captura de carbono a profundidad de 10 a 20 cm en los diferentes usos del suelo en la unidad de producción Los Timbres

Al igual que en la tabla anterior, en la tabla 16 se muestra a la profundidad de 10 a 20 cm la mayor captura de carbono se encuentra en el uso del suelo del pastizal seguido del uso del suelo silvopastoril

Tabla 16. Captura de carbono a profundidad de 10 a 20 cm en diferentes usos del suelo

Usos del suelo	Febrero	Marzo - Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Fijación de carbono (mg /ha)
Pastizal	0.525	0.99	0.81	0.59	0.985	3.255	7.155
Silvopastoril	0.42	0.49	0.98	0.42	0.475	0.61	3.395
Uso agrícola	0.875	1.28	0.975	0.735	0.925	1.035	5.825

7.9 Captura de carbono a profundidad de 0 a 10 cm en los diferentes usos del suelo durante el periodo de muestreo en la unidad de producción El Peñón

En la unidad de producción el peñón, en la tabla 17 se muestra que al igual que en la unidad de producción Los Timbres la mayor captura de carbono se encuentra en el uso del suelo del pastizal durante el mes de julio.

Los sistemas silvopastoriles tienen la capacidad de almacenar y capturar el carbono atmosférico para la mitigación del cambio climático (Oliva *et al.*,2017).

Una gran parte del carbono que se encuentra presente en la atmósfera puede ser almacenado por las plantas de una forma natural en la biomasa aérea por medio de la

fotosíntesis y otra parte es almacenada en el suelo por medio de la acumulación de materia orgánica (Contreras *et al.*, 2019; Dollinger & Jose,2018; Lok *et al.*,2013).

Tabla 17.Captura de carbono a profundidad de 0 a 10 cm en diferentes usos del suelo en Los Timbres

Usos del suelo	Meses						Fijación de carbono (mg/ha)
	Febrero	Marzo - Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	
Pastizal	0.59	0.645	0.595	0.615	0.685	0.645	3.775
Silvopastoril	0.48	0.59	0.425	0.495	0.565	0.415	2.97
Uso agrícola	0.43	0.45	0.675	0.42	0.38	0.675	3.03

7.9.1 Captura de carbono a profundidad de 10 a 20 cm en los diferentes usos del suelo en la unidad de producción El Peñón

En la tabla 18 se muestra que al igual que en la tabla anterior la mayor captura de carbono se encuentra en el uso del suelo del pastizal teniendo una mayor captura durante el mes de julio.

Tabla 18.Captura de carbono (mg/ha) a profundidad de 10 a 20 cm en diferentes usos del suelo durante el periodo de muestreo en la unidad productiva El Peñón

Usos del suelo	Meses						Fijación de carbono (mg/ha)
	Febrero	Marzo - Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	
Pastizal	0.855	0.98	0.86	0.87	1.025	0.915	5.505
Silvopastoril	0.725	0.755	0.665	0.575	0.705	0.665	4.275

Uso agrícola	0.57	0.7	0.975	0.575	0.705	0.93	4.455
--------------	------	-----	-------	-------	-------	------	-------

8.0 Promedio de fijación de carbono en suelo en la unidad de producción Los Timbres

En la tabla 19 se muestra el promedio de la fijación de carbono en la unidad de producción Los Timbres en los diferentes usos del suelo a profundidad de 0 a 10 y de 10 a 20cm de profundidad en donde se muestra que en el uso del suelo pastizal se fijó la mayor cantidad de carbono a profundidad de 10 a 20 cm con 7.155 mg/ha

Tabla 19. Promedio de la fijación de carbono (mg/ha) en diferentes usos del suelo de 0 a 10 y de 10 a 20 cm

Unidad de producción	Usos del suelo	Fijación de carbono (mg/ha) 0 a 10 cm	Fijación de carbono (mg/ha) 10 a 20 cm
	Pastizal	5.205	7.155
Los Timbres	Silvopastoril	2.67	3.395
	Uso agrícola	3.84	5.825

8.1 Promedio de fijación de carbono en suelo en la unidad de producción El Peñón

En la tabla 20 se muestra el promedio de la fijación de carbono en el suelo mg/ha en diferentes usos del suelo a profundidades de 0 a 10 y de 10 a 20 cm, en donde se muestra que la mayor fijación de carbono se encuentra en el uso del suelo del pastizal a profundidad de 10 a 20 cm con 5.505 mg/ha

Tabla 20. Promedio de la fijación de carbono (mg/ha) en diferentes usos del suelo de 0 a 10 y de 10 a 20 cm

Unidad de producción	Usos del suelo	Fijación de carbono (mg/ha) 0 a 10 cm	Fijación de carbono (mg/ha) 10 a 20 cm
El Peñón	Pastizal	3.775	5.505
	Silvopastoril	2.97	4.275
	Uso agrícola	3.03	4.455

VIII. CONCLUSION

El contenido de carbono en el uso del suelo del pastizal, en la comunidad de Los Timbres presento 32% de carbono orgánico en el mes de agosto a una profundidad de 0 a 10 cm de la superficie del suelo, sin embargo, el carbono orgánico del suelo disminuyo hasta el 18% a la profundidad de 10 a 20 cm.

En la unidad productiva El Peñón se observó menor acumulación de carbono orgánico en el uso del suelo del pastizal a una profundidad de 0 a 10 cm observándose un valor de 6.8%.

En los tres usos del suelo en las dos unidades productivas se observó variación en la presencia del carbono orgánico, siendo el uso del suelo pastizal el de mayor contenido en las dos unidades, pero sobresaliendo la unidad de Los Timbres en el mes de agosto.

La estimación en la fijación del carbono en el uso del suelo de pastizal a una profundidad de 10 a 20 cm en las dos unidades productivas fue mayor. La fijación de carbono del pastizal en la comunidad de Los Timbres fue en promedio de 7.15mg/ha y la fijación de carbono del pastizal en la comunidad del Peñón fue de 5.5mg/ha

La medición de la captura de carbono en suelos es una forma para determinar la cantidad de carbono que se puede encontrar en los diferentes usos del suelo como lo son en pastizales, silvopastoriles y de uso agrícola, así como para determinar en qué temporadas del año existe una mayor captura de carbono y sus posibles causas.

Las mayores concentraciones de carbono orgánico se registraron a una profundidad de 0 -10 cm en las dos unidades de producción. En el uso del suelo de pastizal la acumulación de Co puede deberse al uso bajo pastoreo rotacional por bovinos (reciclaje de nutrientes por heces y orina) y a las especies que la conforman principalmente por gramíneas perennes y arboles leguminosos (Tepehuaje).

IX.- LITERATURA CONSULTADA

- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola, un ser vivo. coregido-interiores_3.indd (ucm.es) (Recuperado en septiembre del 2023).
- Agencia de protección ambiental de estados unidos. (2023) Emisiones de dióxido de carbono. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono> (Recuperado el 30 de enero del 2024).
- Álvarez G., N. García, P. Krasilnikov, F. García. (2013). Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la sierra norte de Oaxaca, México. *Revista Agrociencia* 47: 171-180 pp.
- Benjamín, J. A., & Maser, O. (2001). Captura de Carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3-12.
- Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>.
- Barrezueta Unda, S., Velepucha Cuenca, K., Solano, M., y Hurtado Flores, L. (2020) Secuestro de carbono orgánico del suelo en pastizales de la provincia el oro Ecuador. *Revista ciencia unemi*, vol.13, num.32.
- Beteta O. (2012). Caracterización y dinámicas de carbono y nitrógeno de suelos forestales, en Santa María Yavesia, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Sierra Juárez, México. pp.73
- Balvanera, P. (2012) Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21 (1-2), 136-147.
- Betancourt P., J. González, B. Figueroa, F. González. 1999. Materia orgánica y caracterización de suelos en proceso de recuperación con coberturas vegetativas en zonas templadas de México. *Revista Terra latinoamericana* 17(2): 139-148 pp
- BBVA. (2023) Los cambios en los usos del suelo: impactos y soluciones. Los cambios en los usos del suelo: impactos y soluciones | BBVA (Recuperado el 25 de mayo del 2024).
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Balesdent, J. (1996) Actualización de la evolución de las reservas orgánicas del suelo en Francia. Vol.3 (4): 245-260, Información actualizada sobre la evolución de las reservas orgánicas del suelo en Francia - AFES - Association Française pour l'Étude du Sol

- Contreras Santos, J.L., Falla Guzmán, C.K., Rodríguez, J.L., Fernando Garrido, J., Martínez Atenencia, J., y Aguayo Ulloa, L. (2023) Reserva de carbono en sistemas silvopastoriles: Un estudio en el medio sinu, Colombia. Revista universidad de costa rica, Vol. 34(1), Doi:10.15517/am.v34i1.49138.
- Contreras santos, J.L., Martínez Atenencia, J., Cárdena Torres, J., & Falla Guzmán, C.K. (2019). Evaluación del carbono acumulado en suelo en ecosistemas silvopastoriles del caribe colombiano. Agronomía Costarricense, 44(1),29-41. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.39999>
- Contreras, S. J. L., Martínez, A. J., Cadena, T. J. y Falla, G. C. (2020). Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe colombiano. Agronomía Costarricense, 44(1), 29-41
- Carvajal A. (2008). Relación del carbono y nitrógeno del suelo con usos y coberturas del terreno en Alcalá, Valle del Cauca. Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. pp. 77
- Castellanos, J. Z. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas. Ed. Intagri. Gto., México. 186 p.
- Comisión nacional forestal. (2020). Los servicios que nos entregan los bosques. [Los servicios que nos entregan los bosques | Comisión Nacional Forestal | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](https://www.gob.mx/comision-nacional-forestal) (Recuperado el 17 de mayo del 2024).
- Cotler Avalos, H., corona, J.A., y Galeana Pizaña, J.M. (2020) Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. Instituto de geografía UNAM. DOI: [dx.doi.org/10.14350/rig.59976](https://doi.org/10.14350/rig.59976)
- Coral Paredes, E. (2022). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos del humedal Ramsar Laguna de la Cocha. Universidad Nacional de Colombia.
- Cotler, Helena, Martínez, Mario, y Etchevers, Jorge D. (2016). Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: Investigación y políticas públicas. Terra Latinoamericana, 34(1), 125-138. Recuperado en 24 de mayo de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000100125&lng=es&tlng=es.
- Chan K., D. Heenan, H. So. (2003). Sequestration of carbon and changes in soil quality under conservation tillage on light textured soils in Australia: a review. Australian Journal of Experimental Agriculture. 43: 325-334 pp.
- Carvajal, M. (2011) Investigación sobre la absorción de Co2 por los cultivos más representativos, Murcia, España.

- Dollinger, J., & José, S. (2019) Correction to: Agroforestry for soil health. *Agroforestry systems*,93(3),1205. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0227-5>
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3–11. doi:10.1016/S0929-1393(00)00067-6
- Donovan,P.,(2013)Measuring soil carbon change (Pdf). [MeasuringSoilCarbonChange.pdf \(soilcarboncoalition.org\)](https://soilcarboncoalition.org/MeasuringSoilCarbonChange.pdf)
- DIAZ ROMEU, R.; BALERDI, F.; FASSBENDER, H.W. 1970, Contenido de materia orgánica y nitrógeno en suelos de América Central, Turrialba, 20 (2): 185-192.
- Docampo, R. (2014) La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. INIA Serie Actividades de Difusión N.º 687.
- Eos data analytics. (2024) Fertilidad del suelo: como medirla y mejorarla. *Fertilidad Del Suelo: Estrategias De Preservación Y Mejora (eos.com)* (Recuperado el 27 de mayo de 2024).
- FASSBENDER H.W. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina, Instituto interamericano de cooperación, para la agricultura, San José de Costa Rica.wssd
- FAO. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. *Informes sobre recursos mundiales de suelos*. (96): pp. 61
- Federación española de municipios y provincias. (2011) Los sumideros de carbono a nivel local
- Feller, C. (1997). Une methode de fractionnement granulometrique de la matiere organique des sols:application aux sols tropicaux a texture grossiere, tres pauvres en humus. *Cahiers orstom, serie pedologie* 17: 339-346
- Farias E.N. (1994) Física de los suelos: con un enfoque agrícola. México: Trillas
- Gobierno de canarias. (2023) Formación y estructura del suelo. <https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/materias/calidad-del-suelo/el-suelo-en-canarias/que-es-el-suelo/formacion-y-estructura-del-suelo/> (Recuperado el 22 de septiembre del 2023).
- Galicia, L., Saynes, V., y Campo, J. (2015) Biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences* 93 (3),473-484. DOI: 10.17129/botsci.66
- Gestiriego. (2016) 5 parámetros importantes en su análisis de suelo. Recursos y consejos <https://www.gestiriego.com/5-parametros-importantes-en-su-analisis->

- [de-suelo/#:~:text=Desde%20Gestiriego%20os%20vamos%20a%20dar%20los%205.CE%20%28Conductividad%20EI%3%A9ctrica%29%20Capacidad%20de%20intercambio%20cati%3%B3nico%20%28CIC%29\(Recuperado](#) (Recuperado el 4 de enero del 2024).
- Hernández, JE., Tirado T, D., y Beltrán H, R I. (2023) Captura de carbono en los suelos. Universidad autónoma del estado de Hidalgo. [Captura de carbono en los suelos \(uaeh.edu.mx\)](#) (Recuperado el 28 de mayo de 2024).
- HEALY, R.W., STRIEGL, R.G., RUSSELL, T.F., HUTCHINSON, G.L., LIVINGSTON, G.P., (1996). Numerical evaluation of static-chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange: Identification of physical processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 740-747.
- Hernández, J., Tirado, D., y Beltrán, R. (2014) Captura de carbono en los suelos. Universidad autónoma del estado de Hidalgo. [Captura de carbono en los suelos \(uaeh.edu.mx\)](#). (Recuperado el 25 de enero del 2024).
- International Geosphere-Biosphere Programme. (1998). The terrestrial carbon cycle: implications for the Kyoto protocol. *Science*, 280(5368). 1393-1394.
- Ibáñez, J. (2021) La materia orgánica del suelo: componente imprescindible del planeta. Un universo invisible bajo nuestros pies. [LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO: COMPONENTE IMPRESCINDIBLE DEL PLANETA - Un Universo invisible bajo nuestros pies \(madrimasd.org\)](#) (Recuperado el 16 de abril del 2024).
- Instituto nacional de estadística y geografía. (s/f) Suelo. Cuéntame de México. <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/suelo.aspx?tema=T> (Recuperado el 27 de agosto 2023).
- Izquierdo Bautista, J., & Arévalo Hernández, J.J. (2021) Determinación de la materia orgánica del suelo (MOS) por el método químico y por calcinación. *Revista ingeniería y región*, 26. DOI:10.25054/22161325.2527.
- Izquierdo Bautista, J., & Arévalo Hernández, J.J. (2020) Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. *Revista ingeniería y región*, 26. DOI:10.25054/22161325.2527.
- IPCC. (1997) Guidance for green house gas inventories-
- Julca Otiniano, A., Meneses Florián, L., Blas Sevillano, R., y Bello Amez, S. (2006) La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA* (24)49-61.

- INTAGRI. 2017. Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p
<https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>
- IPCC. (1995) second assesment climate change. Intergovernmental panel on climate change. [IPCC CONTENTS](#)
- IPCC. (2005). La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Resumen para responsables de políticas. Recuperado de: https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_sp.pdf
- López, Antonio., J (2005) Manual de edafología. Departamento de cristalografía, mineralogía y química agrícola de la Universidad de Sevilla. [MANUAL DE EDAFOLOGÍA Por: Antonio Jordán López - PDF Free Download \(docplayer.es\)](#)
- Konijnenburg Van, A. (2006) Agricultura orgánica el suelo: sus componentes físicos. Estación experimental agropecuaria INTA 5-7.
- Lal, R. (2004) Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304:1623–1627.
- Lal, R. (2001). World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Advances in Agronomy*, 71, 145–191. doi:10.1016/S0065-2113(01)71014-0
- Lok, S., Fraga, S., Noda, A., & García, M. (2013). Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Revista cubana de ciencia agrícola*, 47(1),75-82.
<http://cjasience.com/index.php/RCCA/article/view/276>
- Martínez H, E., Fuentes E, J.P., y Acevedo H, E. (2008). CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Mintzer, I. (1992) Confronting climate change. Risk implications and responses.
- Martínez, L. J. (2006). Modelo para evaluar la calidad de las tierras: caso del cultivo de papa. *Agronomía colombiana*, 24(1), 96–110.
- Muñoz V. 2006. Dinámica del carbono orgánico del suelo en ecosistemas de la zona mediterránea de Chile. Tesis Doctoral. Universidad de la Frontera. Temuco, Chile. pp. 126

- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. (2017) Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia.
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. (2024) ¿Qué es el secuestro del carbono?. [Secuestro de Carbono en el Suelo | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura](#) (Recuperado el 26 de mayo del 2024).
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. (1996) Ecología y enseñanza rural. <https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos>(Recuperado en el 2023).
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. (2023) Simposio internacional sobre el carbono orgánico del suelo. [Martes | Simposio Internacional sobre el Carbono Orgánico del Suelo | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura \(fao.org\)](#) (Recuperado el 11 de octubre del 2023).
- Ordoñez. (1999) Captura de carbono en un bosque templado: El caso de san juan nuevo. Michoacán, México. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP
- Ochoa G., J. Oballos, J. Sánchez, J. Sosa, J. Manrique, J. Velásquez. 2000. Variación del carbono orgánico en función de la altitud. Cuenca del río Santo Domingo. Mérida-Barinas, Venezuela. Revista Geog. Venez. 41 (1): 79-87 pp.
- Organización internacional de las maderas tropicales. (2024) Captura de carbono. [Captura de carbono | ITTO | The International Tropical Timber Organization](#) (Recuperado el 24 de mayo del 2024).
- Oliva, M., Culqui Mirano, L., Leiva, S., Collazos, R., Salas, R., Vásquez, H., & Maicelo Quintana, J.L. (2017) Reserve of carbon in a silvopastoral system composed of pinus patula and native herbaceous. Scientia Agropecuaria, 8(2), 149-157. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.07>
- Paz Ríos, C., Sosa López, A., Torres Roja, & E. (2022) Diversidad y función de la macrofauna del suelo: información clave para el estudio de la sustentabilidad de sistema socio – ecológicos tropicales. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 4(1):51 – 62, DOI:[10.26359/52462.0422](https://doi.org/10.26359/52462.0422)
- Pennsylvania state University. (2023) Introducción a los suelos: La calidad de los suelos. <https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos>. (consultado el 16 de septiembre del 2023).

- Rica H. Ávila, J. M. Harmand, E. Dambrine, F. Jiménez, J. Beer, R. Oliver (2004) Dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal Coffea arabica con Eucalyptus deglupta en la Zona Sur de Costa. Revista Agroforestería en las Américas, 41: 83-91.,
- Sánchez R., R. Ramos, V. Geissen, J. Mendoza, E. de la Cruz, E. Salcedo, D. Palma. 2011. Contenido de carbono en suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico mexicano. Revista Terra latinoamericana 29 (2): 211-219 pp.
- Secretaria de medio ambiente y recursos naturales (2021) Bosques de México, riqueza forestal y biodiversidad. [Bosques de México, riqueza forestal y biodiversidad | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](http://www.gob.mx/Bosques-de-México-riqueza-forestal-y-biodiversidad) (Consultado el 30 de mayo del 2024).
- Secretaria de medio ambiente y recursos naturales (2002). Informe de la situación del medio ambiente en México 2002. [Semarnat - Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente, 2002 \(paot.org.mx\)](http://paot.org.mx/Semarnat-Informe-de-la-Situación-General-en-Materia-de-Equilibrio-Ecológico-y-Protección-al-Medio-Ambiente-2002). (Recuperado el 4 de enero de 2024).
- Secretaria de medio ambiente y recursos naturales (2008). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. [indice_portada.pdf \(semarnat.gob.mx\)](http://semarnat.gob.mx/indice_portada.pdf).
- Secretaria de agricultura y desarrollo rural (2023). ¿Cómo mejorar el contenido de materia orgánica del suelo?. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/como-mejorar-el-contenido-de-materia-organica-del-suelo#:~:text=La%20materia%20org%C3%A1nica%20est%C3%A1%20compuesta,micronutrientes%20esenciales%20para%20las%20plantas>. (Recuperado el 16 de septiembre del 2023).
- Segura C, M. A., Sánchez G, P., Ortiz S, C. A., & Gutiérrez C, M. D. C. (2005). Carbono orgánico de los suelos de México. Terra Latinoamericana, 23(1), 21-28.
- Stevenson, F. J. (1994). Humus Chemistry. New York.
- Semarnat (mayo 2017). SEMARNAT. Obtenido de suelos:https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap3_suelos.pdf
- The world bank. (2011). Estimación de costos de oportunidad de redd+. <https://www.forestcarbonpartnership.org/estimaci%C3%B3n-de-los-costos-de-oportunidad-de-redd>
- Tennigkeit, T., Wilkes, A. (2008) Las finanzas del carbono de los pastizales una evaluación del potencial en los pastizales comunes.

https://www.iucn.org/sites/default/files/import/downloads/microsoft_word_carbon_finance_spanish.pdf (Recuperado el 27 de mayo de 2024).

Universidad politécnica de valencia (2024). La textura de un suelo (Archivo pdf). [Portada del documento \(upv.es\)](#)

Universidad de granada (s/f) La materia orgánica del suelo, papel de los microorganismos [Microsoft Word - Trabajo Micro R Pascual S Venegas 2C CC AA.doc \(ugr.es\)](#) (Recuperado el 23 de septiembre del 2023).

Zamora-Morales, Bertha P., Mendoza-Cariño, Mayra, Sangerman-Jarquín, Dora Ma., Quevedo Nolasco, Abel, & Navarro Bravo, Agustín. (2018). El manejo del suelo en la conservación de carbono orgánico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(8), 1787-1799. Epub 06 de octubre de 2020. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1723>