

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

LICENCIATURA DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS AGRÍCOLAS EN DOS ZONAS CLIMÁTICAS: TEJUPILCO Y AMANALCO DE BECERRA, ESTADO DE MÉXICO.

TESIS

QUE PRESENTAN:

MARIA FERNANDA AVILÉS LUIS

CRISTINA TORRES BENÍTEZ

COMO REQUISITO PARCIAL DE EVALUACIÓN PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA AGRÓNOMA ZOOTECNISTA

ASESORA DE TESIS:

DRA. FRANCISCA AVILÉS NOVA

TEMASCALTEPEC DE GONZÁLEZ, MÉXICO; MAYO, 2026.

ÍNDICE

RESUMEN **1**

I. INTRODUCCIÓN **2**

II. ANTECEDENTES **4**

2.1 ¿Qué es el suelo? 4

2.2 Impacto del tipo de clima en el suelo 4

2.3 Componentes del suelo 6

2.4 Suelos 6

2.4.1 Suelos Arcillosos *7*

2.4.2 Suelo Arenoso *8*

2.4.3 Suelo Limoso *9*

2.4.4 Suelo Franco *10*

2.5 Propiedades físicas del suelo. 11

2.5.1 Densidad del suelo *11*

2.5.1 Textura *12*

2.5.2 Estructura del suelo *12*

2.5.3 Temperatura *12*

2.5.4 Porosidad *13*

2.5.5 Color *13*

2.5.6 Conductividad Eléctrica (CE) *14*

2.6 Propiedades químicas del suelo 15

2.6.1 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) *15*

2.6.2 Materia orgánica (MO) *15*

2.7 ¿Qué es el pH y para qué sirve? 15

2.8 ¿Qué es el carbono orgánico? 16

2.9 Importancia del carbono en el suelo 17

2.10 Ciclo del carbono 17

2.11 Formas de almacenar el carbono en el suelo 19

2.12 Calentamiento Global 20

2.13 Emisiones de gases de efecto invernadero 21

2.14 Cambios en las hormonas vegetales 22
2.15 Propagación de plagas y enfermedades en los cultivos 22
2.16 Reducción de la fertilidad del suelo 23
2.17 ¿Qué es el efecto invernadero? 23
2.18 Gases de efecto invernadero 23
2.18.1 Vapor de agua (H2O) 24
2.18.2 Dióxido de carbono (CO2) 24
2.18.3 Metano (CH4) 25
2.18.4 Óxido nitroso (N2O) 25
2.18.5 Ozono (O3) 25
III. JUSTIFICACIÓN 27
IV. HIPÓTESIS 28
V. OBJETIVOS 29
5.1 Objetivo general 29
5.2 Objetivos particulares 29
VI. MATERIALES Y MÉTODOS 30
6.1 Localización experimental 30
6.1.1 Zona cálida 30
6.1.2 Zona templada 31
6.2 Características del suelo en Amanalco de Becerra 32
6.3 Características del suelo de Tejupilco de Hidalgo 32
6.4 PH: 33
6.5 Materia orgánica y Carbono Orgánico. 35
6.6 Textura 38
6.7 Densidad aparente 41
6.8 Densidad Real 42
6.9 Porosidad 44
6.10 Color. 44
6.11 Diseño experimental y análisis estadístico 45

VII. RESULTADOS 47

7.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS SUELOS 47

7.1.1 pH 47

7.1.2 Carbono orgánico 49

7.1.3 Materia orgánica 51

7.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO 53

7.2.1 Textura 53

7.2.2 Densidad aparente 55

7.2.3 Densidad real 57

7.2.4 Porosidad 59

7.2.5 Color 60

VIII. DISCUSIÓN 63

IX. CONCLUSIÓN 65

X. REFERENCIAS CONSULTADAS 66

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1: Resultados de pH..... 49
Grafica 2: % de carbono orgánico 51
Grafica 3: % de materia orgánica..... 53
Grafica 4: Textura 55
Grafica 5: Densidad aparente..... 56
Grafica 6: Densidad real 58
Grafica 7: Porosidad 59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Resultados de promedio de pH 49
Tabla 2: Promedio de % carbono orgánico 51
Tabla 3: Promedio % de materia orgánica 53
Tabla 4: Promedio de densidad aparente 56
Tabla 5: Promedio de porosidad 60
Tabla 6: Resultados de color 62

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Componentes del suelo 6
Imagen 2: Suelos arcillosos 8
Imagen 3: Suelo arenoso 9
Imagen 4 : Suelo limoso 10
Imagen 5 Suelo franco 11
Imagen 6: Dispersión de muestra de suelo para su secado. 14
Imagen 7: Importancia del pH 16
Imagen 8: Secuestro del carbono-adecoagro 18
Imagen 9: Calentamiento global 20
Imagen 10: Cuadrilla de López, Tejupilco, Méx. 30
Imagen 11: Amanalco de becerra, Edo.Mex. 31
Imagen 12: Realización de recolección de muestra de suelo de Tejupilco de Hidalgo 33
Imagen 13: Tamizado de muestra de suelo 34
Imagen 14: Determinación de pH. 35
Imagen 15: Muestra de suelo de Tejupilco de Hidalgo y Amanalco de Becerra. 36
Imagen 16: Mezcla de suelo con dicromato de potasio 37
Imagen 17: Determinación de materia orgánica. 38
Imagen 18: Mezcla de tratamiento para determinar textura 39
Imagen 19: Llenado de probeta. 40
Imagen 20: Triangulo de texturas 41
Imagen 21: Llenado de piceta 43
Imagen 22: Material utilizado para determinación de densidad real. 44
Imagen 23: Munsell HUE 2,5YR 45
Imagen 24: Recopilación de datos. 47
Imagen 25: Reposó de muestras para determinación de densidad real. 57
Imagen 26: Análisis de color de suelo 61
Imagen 27 Comparación tabla / suelo 61

Imagen 28: CAFÉ (YR 5/3)..... 62
Imagen 29 : CAFÉ (YR 4/4)..... 62
Imagen 30: CAFÉ (YR 5/4)..... 62
Imagen 31: CAFÉ (YR 4/3)..... 62

RESUMEN

El manejo incorrecto de los suelos y los recursos naturales han causado problemas en la fertilidad, debido a la sobreexplotación de los terrenos agrícolas, actualmente los suelos son carentes en materia y carbono orgánico, debido a que la cobertura vegetal formada por la hojarasca de las plantas cultivadas es removida, desconociendo que la integración de rastrojos a la parcela aumenta el contenido de materia orgánica y microorganismos benéficos. Es por ello que el objetivo del presente trabajo fue cuantificar el carbono orgánico acumulado en el suelo en 2 regiones: Amanalco de Becerra y Tejupilco de Hidalgo, cada sitio cuenta con características climáticas y topográficas distintas. Las muestras fueron recolectadas y analizadas en el mes de octubre del 2025, evaluando las propiedades físicas: textura, color y porosidad, así mismo se determinaron las propiedades químicas: materia orgánica, carbono orgánico y pH, las cuales se analizaron con un diseño de bloques completamente al azar, donde los bloques son las 2 comunidades y los tratamientos son los cultivos donde se obtuvieron las muestras. Las diferencias estadísticas se encontraron principalmente en los tratamientos. Se concluye que la cantidad de materia y carbono orgánicos es mayor en los suelos donde los cultivos establecidos son de leguminosas y árboles, debido a la hojarasca y los residuos de cosecha integrados a la tierra, por lo tanto, el efecto que produce una cobertura vegetal al suelo es positivo para la captura de carbono y contenido de materia orgánica por lo cual la fertilidad del suelo aumentara y los cultivos establecidos serán favorecidos.

I. INTRODUCCIÓN

El carbono es un componente fundamental de los ecosistemas terrestres, ya que desempeñan un papel muy importante en la fertilidad, la productividad agrícola y la mitigación del cambio climático. Es por ello que la presente investigación se basa en el contenido de carbono orgánico en el suelo.

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua (FAO, 1996).

Tiene la aptitud de permitir el crecimiento de las plantas y otros organismos, desarrollar funciones ambientales y proveer de servicios ecosistémicos (Ibarra, Badía, & Castañeda, 2025).

El carbono del suelo es uno de los componentes más críticos para la fertilidad y la producción agrícola en el ecosistema terrestre. Se considera un componente fundamental en su estructura, protegiéndolo de la degradación, la desertificación, la erosión y la lixiviación. El carbono puede presentarse en dos formas: (i) carbono orgánico del suelo (COS) y (ii) carbono inorgánico del suelo (SIC) (Zhang et al, 2015).

Cabe mencionar que el suelo es un importante almacén de carbono, funcionando como un sumidero para el CO2 atmosférico, por lo que su conservación ayuda a mitigar el cambio climático y a aumentar la resiliencia frente a la sequía. El carbono (C) del suelo se reconoce como el mayor depósito de carbono terrestre (Batjes, 1996; Jobbágy y Jackson, 2000; Lal, 2004).

El contenido de carbono en el suelo depende de los factores relacionados con su formación, pero puede modificarse por los cambios en su uso y manejo (Hernández et al., 2014). Los factores climáticos y los factores del suelo permiten explicar el almacenamiento del carbono en largos periodos, mientras que el uso del suelo y los cambios de vegetación son considerados en periodos más cortos (Lal et al., 1998).

Es por ello que la presente investigación se realizó para determinar la cantidad de carbono orgánico en suelos agrícolas cultivados con maíz y suelos con presencia de leguminosas en dos zonas climáticas (templada y cálida) en Tejupilco de Hidalgo y Amanalco de Becerra, Estado de México.

II. ANTECEDENTES

2.1 ¿Qué es el suelo?

En México existe una gran diversidad de suelos que puede explicarse por la interacción de diversos factores, entre los que se encuentran la compleja topografía originada por la actividad volcánica del Cenozoico (Hernández et al., 2021)

Por lo La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA, por sus siglas en inglés), lo define como la capa superficial de material mineral y orgánico, no consolidado, que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas, y que ha sido sujeto y presenta los efectos de los factores que le dieron origen (clima, topografía, biota, material parental y tiempo) y que debido a la interacción de estos, difiere en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas del sustrato rocoso del que se originó. Por ello, el suelo ya no es roca ni sedimento geológico, sino un producto proveniente de las alteraciones e interacciones que experimentan estos materiales (Sumner, 1999).

De acuerdo con FAO (1996), el suelo está constituido por agua, aire, materia orgánica y pequeños organismos animales y vegetales, es una fina capa que se ha desarrollado de manera muy lenta a lo largo de los siglos, debido a la descomposición de las rocas en la superficie ocasionada por el viento, el agua y las variaciones en la temperatura. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo (FAO, 1996).

2.2 Impacto del tipo de clima en el suelo

El cambio climático representa una amenaza creciente para la sostenibilidad de la agricultura, particularmente en regiones con climas templados y fríos, donde los sistemas productivos son altamente sensibles a las alteraciones en las variables climáticas, El cambio climático es uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo y ejerce una presión considerable sobre nuestras sociedades y el medio ambiente. Desde la alteración de los patrones climáticos que amenaza la producción de alimentos hasta el aumento del nivel del mar que incrementa el riesgo de

inundaciones catastróficas, los impactos del cambio climático son de alcance global y de una magnitud sin precedentes (Granados & Soto, 2026)

Estos factores se relacionan entre sí y determinan la temperatura, la humedad y las posibilidades de vida (FAO, 1996).

El clima es un factor determinante en la formación del suelo, cambios de temperatura, lluvias y vientos contribuyen al desgaste de la roca madre, el clima influye en la existencia de las plantas, que sujetan el suelo y le aportan materia orgánica, cuando la temperatura aumenta, es mayor la actividad de los microorganismos, por esta razón, la materia orgánica del suelo se descompone con más rapidez en los trópicos, liberando los nutrientes (Rondon, 2026).

La lluvia y el viento son los principales agentes climáticos que causan erosión por arrastre del suelo, transportan partículas de tierra que se sedimentan en las zonas bajas (Rondon, 2026).
El clima de una región puede cambiar por la degradación de un bosque o por la deforestación, por la construcción de obras de riego o por tormentas de polvo (por ejemplo, cuando se produce la erupción de un volcán) (Rondon, 2026).

La vegetación proporciona sombra al suelo, disminuyendo la pérdida de humedad y evitando los bruscos cambios de temperatura, la transpiración de las hojas evapora lentamente en la atmósfera el agua que captan las raíces, en zonas de niebla, las diminutas gotas se depositan sobre las hojas de los grandes árboles y se deslizan hacia el suelo (Rondon, 2026).

Los bosques y las cortinas rompevientos atenúan la fuerza del viento, de esta manera, protegen los cultivos de la desecación y filtran el polvo (Rondon, 2026).

El agua que se evapora de la superficie de embalses y canales de riego aumenta la humedad contenida en la atmósfera, además, la nueva vegetación que crece con el riego también libera humedad por la transpiración de sus hojas, esta humedad, a su vez, reduce la diferencia de temperatura entre el día y la noche (Rondon, 2026).

2.3 Componentes del suelo

Es deseable que el agua, al penetrar en el suelo, siga moviéndose hacia abajo, a través del perfil, hasta que los poros contengan dos terceras partes de agua y una de aire, los suelos ricos en arcilla, especialmente cuando el contenido en materia orgánica es bajo, pueden almacenar tanta agua que presentan dificultades de aireación, los suelos arenosos dejan pasar el agua con demasiada rapidez y no retienen la suficiente para asegurar el crecimiento de las plantas durante los períodos secos, las proporciones deseables de aire, agua y materias sólidas (Thompson & Troeh, 2022). (Imagen 1).



Imagen 1: Componentes del suelo

Fuente: Interés Agronómico (2024).

2.4 Suelos

El suelo es un cuerpo natural formado en la superficie terrestre y que tiene como componentes materiales: minerales, fragmentos de roca y materiales orgánicos, que sustenta los ecosistemas terrestres tiene la aptitud de permitir el crecimiento de

las plantas y otros organismos, desarrollar funciones ambientales y proveer de servicios ecosistémicos (Rodríguez, 2021).

2.4.1 Suelos Arcillosos

La arcilla está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, siendo blanca cuando es pura. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años. Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0.002 milímetros. Las arcillas se pueden clasificar en primarias y secundarias, según como se encuentran en la naturaleza. Las arcillas primarias son las que se encuentran en el mismo lugar en donde se formaron, es decir, no han sido transportadas por el agua o el viento. La única arcilla primaria conocida es el caolín, que tiene un grano más grueso y es menos plástico, y en estado puro es casi blanco. Las arcillas secundarias son las que han sido transportadas del lugar en que se originaron; el agua es el elemento más común que las transporta, también el viento y los glaciares lo hacen; estos tipos de arcillas son mucho más comunes y se componen de más elementos como mica, hierro, cuarzo y otros minerales procedentes de diferentes fuentes (Sandoval et al, 2012).

Son partículas de granos muy finos en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales, con diámetro menor a 0.075 mm. y un índice de plasticidad mayor que 10, cuya masa se vuelve plástica al ser mezclada con agua, químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en pocas ocasiones

contiene silicatos de hierro o de magnesio hidratados (Hernández et al, 2016).(Imagen 2).



Imagen 2: Suelos arcillosos

Fuente: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTMU2Jv5SleX04q4QnqyN0Fzx2rZWdl404nsQ&s

2.4.2 Suelo Arenoso

Compuestos principalmente por partículas de arena, que se pueden apreciar a simple vista, las partículas se separan con facilidad, se saturan con poca agua y se seca rápidamente al aire, poca adhesividad (Álvarez, 2024).

Los suelos arenosos suelen ser secos, deficientes en nutrientes y de drenaje rápido tienen poca (o ninguna) capacidad de transportar agua desde las capas más profundas mediante el transporte capilar, por lo tanto, el laboreo de los suelos arenosos en primavera debe reducirse al mínimo para retener la humedad en la cama de siembra, la capacidad de retención de nutrientes y agua de los suelos arenosos puede mejorarse añadiendo materia orgánica (Vaderstad, 2022). (Imagen 3).



Imagen 3: Suelo arenoso

Fuente: https://static.vecteezy.com/system/resources/thumbnails/069/586/282/small/golden-sand-dunes-texture-warm-sunlight-on-rippled-beach-sand-natural-desert-landscape-close-up-photo.jpg

2.4.3 Suelo Limoso

Compuestos mayormente por partículas más grandes que la arcilla, pero 50 veces más pequeñas que las de arena, su aspecto en seco es como polvo (talco) y cuando se humedece es suave, cuando está humedecido es adhesivo, pero no retiene el agua por mucho tiempo (Álvarez, 2024).

El limo es una partícula de tamaño mediano que retiene mejor la humedad que la arena, pero contiene menos nutrientes que la arcilla. El limo facilita la mezcla de arcilla y arena, como al atemperar el chocolate (Iannotti, 2013). (Imagen 4).



Imagen 4 : Suelo limoso

Fuente: https://encolombia.com/wp-content/uploads/2020/12/Suelos-Limosos.jpg

2.4.4 Suelo Franco

El suelo franco está compuesto de arena, limo y arcilla , creando una mezcla rica en nutrientes que retiene el agua el tiempo suficiente para que las raíces la absorban, a la vez que drena eficazmente. Este suelo equilibrado previene la pudrición de las raíces, permitiendo que las plantas prosperen sin necesidad de riego o fertilización constantes (Iannotti, 2013). (Imagen 5).



Imagen 5 Suelo franco

Fuente: https://plantcaretoday.com/wp-content/uploads/garden-loam-good.jpg

2.5 Propiedades físicas del suelo.

López & Estrada (2015), definen como propiedades físicas del suelo aquellas que pueden observarse y/o medirse sin alterar químicamente la composición del suelo y están relacionadas con el movimiento del aire, calor, agua, raíces y nutrientes. Algunas de estas propiedades del suelo son:

2.5.1 Densidad del suelo

Según López & Estrada (2015), existen dos tipos de densidad; densidad aparente (DA) y densidad real (DR), la DA corresponde al volumen que ocupan los sólidos y los poros, y DR es la masa de los sólidos sin contar el volumen los poros, la densidad aparente permite monitorear la compactación del suelo ya que a mayor DA existirá mayor compactación, limitando el crecimiento y desarrollo radical del cultivo. Por otro lado, la densidad real es un indicador de la composición mineral del suelo, así como del contenido de materia orgánica, ya que a mayor contenido de materia orgánica menor valor tendrá la DR. Cuando el suelo presenta bajos contenidos de materia orgánica, los valores de DR son similares al del mineral más abundante en el suelo (López & Estrada, 2015).

2.5.1 Textura

De acuerdo con López & Estrada (2015), consideran que un suelo con mayor cantidad de arena es un suelo de textura gruesa, por lo cual disminuye su capacidad de retención de agua y nutrimentos para las plantas, así como una elevada lixiviación y volatilización de nitrógeno; mientras que los suelos con mayor cantidad de arcilla tienen una textura fina por lo tanto presentan alta capacidad de retención de agua y nutrimento.

El suelo ideal es aquel que tiene una textura franca; esto es un contenido alrededor de 40% de arenas, 40% de limos y 20% de arcillas (López & Estrada, 2015).

2.5.2 Estructura del suelo

El suelo está formado por pequeñas partículas de suelo arenoso, limoso y arcilloso. Esta propiedad facilita la infiltración de agua y presencia de oxígeno, mejorando el almacenamiento de agua que requiere la planta para su desarrollo (Franzluebbers, 2002).

Existen cultivos como la alfalfa y el maíz, los cuales favorecen la formación de agregados en el suelo aumentando la productividad de los agroecosistemas (Torres et al, 2013).

La estructura del suelo controla la distribución, flujo y retención de agua, sustancias disueltas y gases; su perturbación conduce a procesos de degradación edáfica que se asocian con diversas causas (compactación y cementación, entre otros), y disminuyen la productividad de los agroecosistemas (Kay, 1999; Gale et al, 2000a; Gale et al, 2000b). La estructura del suelo y su estabilidad son los factores que más influyen en el crecimiento de las raíces, ya que afectan el abastecimiento de oxígeno, agua y nutrimentos a la solución del suelo adyacente a éstas (Vaz et al, 2001).

2.5.3 Temperatura

La temperatura del suelo depende del calor que absorbe con relación a las pérdidas de humedad a través de la radiación y la evapotranspiración de la planta. La cantidad de calor en el suelo depende del clima, el color del suelo, la altitud y la

cantidad de vegetación presente (López & Estrada, 2015). La respiración y actividad biológica de los microorganismos presentes en el suelo se ven favorecidos con temperaturas relativamente altas, mientras que las temperaturas bajas almacenan en cantidades mayores el carbono orgánico del suelo (Franzluebbers et al, 2001).

2.5.4 Porosidad

De acuerdo con Fertalib (2019), el porcentaje de la estructura del suelo es ocupado por agua, nutrientes, aire y gases que pueden ser almacenados y circulados. Esta propiedad puede modificar la capacidad de retención de agua, que afecta la tasa de transpiración y fotosíntesis en las plantas (Fertalib, 2019).

2.5.5 Color

FAO (2019), menciona que el color del suelo puede determinar el origen de materia parental, la presencia de materia orgánica, la capacidad de infiltración y la presencia de sales y carbonato en el suelo. Esta propiedad permite la diferenciación de los perfiles y horizontes del suelo; sin embargo, no afecta directamente el crecimiento de las plantas, pero modifica la temperatura y humedad del suelo (FAO, 2019). (Imagen 6).



Imagen 6: Dispersión de muestra de suelo para su secado.

Fuente: Propiedad del autor.

2.5.6 Conductividad Eléctrica (CE)

Capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica y dependerá del contenido de sales disueltas o ionizadas en la solución del suelo, a mayor CE mayor contenido de sales (López & Estrada, 2015). De acuerdo con Warnecke y Krauskopg (1983) el nivel adecuado de CE en sustratos es de 1 a 2 dS/m, y sugieren el uso de riegos pesados con agua de baja concentración de sales para reducir la CE de un suelo con problemas de sales.

2.6 Propiedades químicas del suelo

Propiedades del suelo que afectan su composición química, entre las cuales podemos mencionar: pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), el contenido de materia orgánica (MO) (López & Estrada, 2015).

2.6.1 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Capacidad de retención de cationes de las cargas negativas presentes en el suelo (FAO, 2015). Esta propiedad determina la disponibilidad y cantidad de nutrientes para la planta, los suelos arenosos y con poca materia orgánica tienen una baja CIC (López & Estrada, 2015).

2.6.2 Materia orgánica (MO)

Según FAO (2015), la materia orgánica se forma con Residuos vegetales y animales en el suelo, existen dos tipos de materia orgánica según su grado de descomposición; la materia orgánica lábil, que es la que los microorganismos digieren rápidamente y la materia orgánica recalcitrante o humus, compuesta de ácidos húmicos, fúlvicos y huminas. Esta propiedad del suelo inhibe la lixiviación de nutrientes, regula el pH del suelo e integra los ácidos orgánicos que favorecen la disponibilidad de algunos nutrientes para las plantas (FAO, 2015). Marín et al. (2017) demostraron que la adición de materia orgánica en un suelo andosol logró cuadruplicar el contenido de calcio y magnesio, y disminuye el pH.

2.7 ¿Qué es el pH y para qué sirve?

De acuerdo con Valdés (2023), la escala del pH sirve para medir la acidez y alcalinidad, la mayoría tienen un pH que oscila entre 4 y 8, la mayor parte de los suelos con un pH mayor a 8 tiene un exceso de sales o un mayor porcentaje de Na^+ en sus sitios de intercambio de catiónico. Los suelos con pH inferior a 4, generalmente, contienen ácido sulfúrico (Thompson & Troeh, 2002). (Imagen 7).



Imagen 7: Importancia del pH

Fuente:
https://cdn.shopify.com/s/files/1/0375/1323/2429/files/tabla_ph_480x480.jpg?v=1660675895

2.8 ¿Qué es el carbono orgánico?

El carbono orgánico del suelo (COS) es el que se queda en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por algún ser vivo. Constituye un elemento clave del ciclo global del carbono a través de la atmósfera, vegetación, suelo, ríos y océano (FAO, 2018).

Los suelos representan el mayor reservorio de carbono orgánico terrestre, dependiendo de la geología local, las condiciones climáticas y el uso y gestión del territorio (entre otros factores ambientales) los suelos tienen diferentes cantidades de COS (FAO, 2018).

La reserva de carbono en el suelo resulta de dos fuentes una, la del carbono orgánico en el suelo (COS), otra, la del carbono inorgánico del suelo (CIS) (Verhulst et al., 2015). De acuerdo con Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación (2015), los cambios globales están prestando especial atención al COS porque, en razón de su dinámica -impulsada por la biota del suelo, es posible aumentar su acumulación o disminuir su descomposición bioquímica, por medio de manejo del suelo o de lo que con una connotación más amplia se denomina gestión sostenible de la tierra.

2.9 Importancia del carbono en el suelo

El carbono del suelo es uno de los componentes más críticos para la fertilidad en la producción agrícola en el ecosistema terrestre. Se considera un elemento fundamental en su estructura, que lo protege de la degradación, la desertificación, la erosión y la lixiviación. El carbono del suelo puede presentarse en dos formas: (i) carbono orgánico (COS) y (ii) carbono inorgánico (CIS) (Zhang et al, 2015).

De acuerdo con Martínez et al. (2008), el carbono orgánico presente en el suelo (COS) es clave para la sostenibilidad agrícola, ya que influye en las características edáficas que determinan la productividad de los cultivos a largo plazo. El COS interviene en la fertilidad al relacionarse con el contenido y la disponibilidad de nutrimentos; aporta elementos como el nitrógeno, cuya deficiencia mineral es común. Asimismo, regula el pH al desplazarlo hacia rangos neutros, lo que incrementa la solubilidad de diversos nutrientes. Vinculado a la materia orgánica, el COS genera coloides con elevada capacidad de intercambio catiónico. En el aspecto físico, modifica la estructura del suelo y la distribución de su porosidad. Su concentración no solo responde al ambiente local, sino que está fuertemente condicionada por las prácticas de manejo. Algunas labores reducen progresivamente el COS, mientras otras promueven su incremento. Este estudio analiza la interacción entre el carbono orgánico y las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, así como su relación con el manejo. También se exponen métodos para evaluar las emisiones de CO_2 desde el suelo hacia la atmósfera.

2.10 Ciclo del carbono

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo, y subsuelo. Estos son considerados depósitos (reservorios) de carbono. El carbono pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos (Rügnitz et al, 2009).

De acuerdo con Rügnitz et al. (2009), el carbono se encuentra presente en el suelo y está estrechamente vinculado al proceso de descomposición de la bioma llevado a cabo por la actividad bacteriana, una parte del carbono presente en el suelo

regresa a la atmósfera mediante la mineralización del carbono orgánico. De forma natural, otra parte del carbono orgánico es llevado por los ríos hasta llegar a los océanos, donde se deposita en forma de carbonatos (CO_3) (Rügnitz et al, 2009).

Las plantas toman de la atmósfera el dióxido de carbono (CO_2) y realizan la fotosíntesis mediante la cual incorporan el carbono en compuestos orgánicos como la glucosa, para posteriormente elaborar almidón, celulosa, etc., (Imagen 8). Como señala UNAM (2017) los herbívoros, al consumir productores primarios, incorporan el carbono vegetal a sus tejidos. Posteriormente, al ser depredados por carnívoros, estas moléculas de carbono se transfieren al siguiente nivel trófico, permitiendo así la circulación del carbono a través de la cadena alimenticia. Una forma en la que se reintegra a la atmósfera parte del carbono es durante la respiración de los organismos, debido a que al oxidar los alimentos producen CO_2; y otra, cuando mueren los seres vivos los descomponedores (bacterias y hongos) degradan sus cuerpos y liberan dióxido de carbono a la atmósfera (UNAM, 2017).

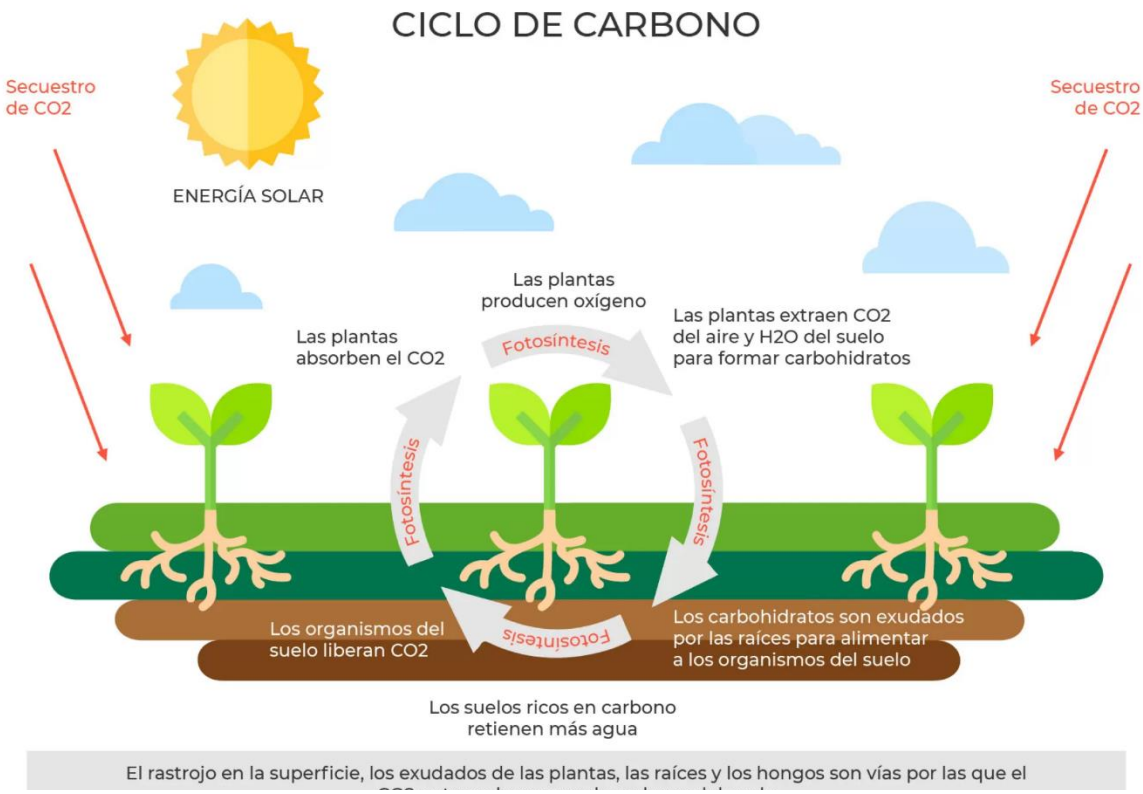


Imagen 8: Secuestro del carbono-adecoagro

Fuente: https://sustainability.adecoagro.com/secuestro-de-carbono/

2.11 Formas de almacenar el carbono en el suelo

La captura de carbono en el suelo comprende la interacción del elemento con aquellos factores que pueden influir en la modificación de las características del suelo a través del tiempo, tales como las condiciones ambientales del lugar y los componentes que conforman su estructura o que están íntimamente ligados a ella, por lo tanto, la estimación del potencial de captura de carbono en suelos considera dos aspectos primordiales: la existencia original de carbono y los cambios en las existencias del mismo (Hernández et al, 2014).

El contenido de carbono en el suelo depende de los factores relacionados con su formación, pero puede modificarse por los cambios en su uso y manejo, los factores climáticos y los factores del suelo permiten explicar el almacenamiento del carbono en largos periodos, mientras que el uso del suelo y los cambios de vegetación son considerados en periodos más cortos, las grandes diferencias en la existencia de carbono entre diferentes zonas ecológicas se presentan en relación a la temperatura y la lluvia, variando de 4 kg/m^2 en las zonas áridas, de 8 a 10 kg/m^2 en las zonas tropicales y de 21 a 24 kg/m^2 en las regiones polares o boreales (Lal et al, 1998).

Según Hernández et al. (2014), múltiples investigaciones agronómicas de larga duración han registrado modificaciones en el contenido de carbono del suelo asociadas a cambios en la cobertura y el uso del terreno. Estos estudios han facilitado el diseño de modelos para evaluar el impacto de diferentes sistemas de labranza, incluida la labranza cero, sobre el secuestro de carbono. La deforestación ocasiona la pérdida casi completa de la biomasa vegetal y entre 40 y 50% del carbono edáfico. Por el contrario, la reforestación aumenta de forma gradual el carbono tanto aéreo como subterráneo, en función del ritmo de crecimiento de los árboles. Ensayos en regiones templadas evidencian que los sistemas orgánicos y sostenibles favorecen la calidad del suelo mediante la acumulación de materia orgánica. Asimismo, se dispone de diversos modelos matemáticos para analizar y simular la dinámica del carbono derivada de los cambios de uso del suelo. Hernández et al. (2014), señalan que estos modelos suelen estar integrados a un

Sistema de Información Geográfica (SIG) y demandan datos variados sobre clima, propiedades del suelo, prácticas de manejo y materia orgánica existente. Se han diseñado para predecir el potencial de secuestro de carbono edáfico, la productividad de cultivos, las emisiones de gases y los impactos del cambio climático. Aunque ya se han identificado variables clave en la captura de carbono y existen modelos que proyectan su dinámica bajo distintos escenarios, los autores enfatizan la necesidad de monitorear continuamente los cambios en la capacidad de captura de carbono del suelo. Esto servirá para poder prevenir y evitar repercusiones en las funciones del suelo (Hernández et al, 2014).

2.12 Calentamiento Global

El calentamiento global es el mayor desafío medioambiental al que se enfrenta el planeta en la actualidad. Se produce por el inexorable aumento de la concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero relacionados con las actividades humanas, el calentamiento global es la causa del cambio climático (Caballero et al, 2024). (Imagen 9).



Imagen 9: Calentamiento global

Fuente: https://medium.com/@salex1115/calentamiento-global-322c02045d30

Con el calentamiento global, el aumento del nivel medio de temperatura del planeta es provocado por las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero derivadas de la actividad humana, provocando variaciones en el clima que de manera natural no se producirían (Caballero, 2024).

Se refiere al aumento de la temperatura media de la superficie terrestre. La Tierra ha experimentado otros calentamientos naturales, sin embargo, el día de hoy este fenómeno debería llamarse calentamiento global actual o amplificado, pues sus causas son debidas principalmente a los agentes contaminantes producidos por la actividad humana (Raygosa, 2021).

2.13 Emisiones de gases de efecto invernadero

Según Caballero (2024), el calentamiento global tiene como causa principal al efecto invernadero, el cual es un fenómeno natural que ayuda a regular y mantener la temperatura media de la superficie de la Tierra. Cuando los gases de efectos de la atmósfera retienen el calor, provocan la intensificación de este fenómeno, es decir, cuantos más gases de efecto invernadero hay en la atmósfera, más calor es retenido esto es lo que produce el calentamiento global (Caballero, 2024).

La absorción de energía por un determinado gas tiene lugar cuando la frecuencia de la radiación electromagnética es similar a la frecuencia vibracional molecular del gas, cuando un gas absorbe energía, esta se transforma en movimiento molecular interno que produce un aumento de temperatura (Ballesteros & Aristizabal, 2007).

La atmósfera es un fluido constituido por diferentes tipos de gases y cada uno de ellos se comporta de manera diferente, de manera tal, que la energía absorbida la efectúan selectivamente para diferentes longitudes de onda y en algunos casos son transparentes para ciertos rangos del espectro. La atmósfera principalmente tiene bajo poder de absorción o es transparente en la parte visible del espectro, pero tiene un significativo poder de absorción de radiación ultravioleta o radiación de onda corta procedente del sol y el principal responsable de este fenómeno es el ozono, así mismo, la atmósfera tiene buena capacidad para absorber la radiación infrarroja o de onda larga procedente de la Tierra y los responsables en este caso son el vapor

de agua, el dióxido de carbono y otros gases traza como el metano y el óxido nitroso (Ballesteros & Aristizabal, 2007).

2.14 Cambios en las hormonas vegetales

Las hormonas vegetales son compuestos orgánicos químicamente diversos que regulan el crecimiento, desarrollo y respuestas fisiológicas en las plantas. Carecen de sistema nervioso central, por lo que usan estas moléculas bioactivas como sistema de señalización para coordinar sus procesos internos. Se producen en cantidades mínimas, pero generan efectos de gran relevancia en funciones clave: alargamiento celular, formación de tejidos, floración y maduración de frutos (Intagri, 2017).

Las hormonas vegetales son unas sustancias orgánicas que se encuentran a muy baja concentración, se sintetizan en determinado lugar de la planta y se trasladan a otro, que es donde ejercen sus efectos reguladores (Duval, 2006).

Las hormonas pueden actuar solas o en conjunto y pueden regular diversos eventos fisiológicos, pero el punto clave es el balance entre ellas, algunas son “protagónicas” de los eventos, pero necesitan de otras para ser más eficientes en los procesos, de este hecho proviene el término “bioactividad” hormonal, que indica la capacidad de una hormona para regular un evento fisiológico adecuadamente (Intagri, 2017).

2.15 Propagación de plagas y enfermedades en los cultivos

Doody (2020) señala que la relación entre plagas y cambio climático indica que el incremento de temperatura y precipitaciones favorece el crecimiento y reproducción de ciertas especies de insectos plaga, mientras que a su vez destruye plantas hospederas al eliminar huevos y larvas. Este fenómeno explicaría la migración de numerosas plagas desde zonas tropicales hacia regiones templadas, como respuesta al aumento térmico derivado de las variaciones climáticas. Si bien las plagas se desarrollan mejor en ambientes cálidos, presentan un umbral térmico óptimo. Temperaturas excesivamente altas o bajas reducen la tasa de crecimiento poblacional.

2.16 Reducción de la fertilidad del suelo

La infertilidad del suelo es causada por la reducción de las precipitaciones como consecuencia del cambio climático, esta reducción de la fertilidad se debe a la desecación del suelo, que se vuelve más sensible a la fuerza del viento, lo que provoca la erosión (BASF México, 2025).

Este fenómeno se caracteriza por el desplazamiento del suelo a otras zonas, de modo que no se asienta en un mismo lugar, lo que impide la estabilización de los nutrientes, haciendo que la tierra sea infértil y esté menos preparada para proporcionar las sustancias que necesitan las plantas (BASF México, 2025).

2.17 ¿Qué es el efecto invernadero?

El efecto invernadero es un fenómeno natural que ayuda a mantener el nivel medio de temperatura en la superficie del planeta, eso es esencial para la vida en la Tierra porque, en ausencia de este fenómeno, la temperatura media sería de 18°C bajo cero en lugar de la media actual de 15°C (Caballero, 2023).

De acuerdo con Caballero (2023), la superficie de la Tierra absorbe de forma natural el 70% de la radiación solar incidente, mientras que el 30% restante es devuelto al espacio por efecto de la reflectividad o albedo. Posteriormente, la radiación absorbida se convierte en radiación infrarroja que es emitida hacia la atmósfera. Parte de esta radiación infrarroja es entonces reflejada de vuelta al espacio, mientras que la otra parte es retenida por los gases de efecto invernadero en la atmósfera, incrementando la temperatura global del planeta (Caballero, 2023).

2.18 Gases de efecto invernadero

Un gas de efecto invernadero es cualquier compuesto gaseoso capaz de absorber la radiación infrarroja o energía térmica neta emitida por la superficie terrestre y reemitirla hacia la misma, intensificando así el efecto invernadero. Los principales son el dióxido de carbono, el metano y el vapor de agua. En menor proporción, el ozono troposférico, los óxidos de nitrógeno y los gases fluorados también presentan esta propiedad de retención de radiación infrarroja. Aunque constituyen solo una

pequeña fracción de la atmósfera, estos gases influyen de manera determinante en el balance energético del sistema terrestre. Sus concentraciones han fluctuado considerablemente a lo largo de la historia geológica del planeta, y dichas variaciones han sido motor de cambios climáticos en múltiples escalas temporales. En términos generales, sus niveles han sido más elevados durante épocas cálidas y más reducidos en periodos fríos (Mann, 2026).

Los gases responsables del efecto invernadero son los siguientes:

2.18.1 Vapor de agua (H2O)

De acuerdo con Dlugokencky et al. (2016), Ciertos gases presentes en la atmósfera, como el vapor de agua y el CO_2, tienen la capacidad de absorber y reemitir radiación infrarroja hacia la superficie de la Tierra, este mecanismo, conocido como efecto invernadero, eleva la temperatura media superficial en 33 °C respecto a la que existiría sin estos gases, en ausencia del efecto invernadero, la temperatura promedio del planeta sería de -18 °C. Sin embargo, son los gases de efecto invernadero no condensables o de larga permanencia principalmente CO2, pero también metano (CH4), óxido nitroso (N2O) y halocarburos (CFC, HCFC, HFC) – los que ejercen de impulsores del efecto invernadero. El vapor de agua y las nubes actúan como retroalimentaciones rápidas, lo que quiere decir que el vapor de agua responde rápidamente a los cambios en la temperatura, a través de la evaporación, la condensación y la precipitación (Dlugokencky et al., 2016).

2.18.2 Dióxido de carbono (CO2)

Arrollo & Ramírez (2020), mencionan que el dióxido de carbono (CO_2), en condiciones ambientales normales, es un gas que no presenta olor ni color y está formado por un átomo de carbono unido mediante enlaces covalentes a dos átomos de oxígeno, este compuesto se genera durante procesos como la fermentación, la respiración y la combustión. Forma parte de tres sistemas estabilizadores del ciclo del carbono por el cual el carbono se intercambia en la biósfera global: el CO2 actúa como un gran termostato al impedir la fuga total de la radiación solar que incide en la Tierra, regulando así su temperatura (Arroyo & Ramírez, 2020).

2.18.3 Metano (CH4)

En ambientes naturales, el metano se genera mediante la descomposición anaeróbica de materia orgánica vegetal llevada a cabo por bacterias en condiciones subacuáticas, razón por la cual también se le denomina gas de pantano o gas de ciénaga. Los humedales constituyen la principal fuente natural de metano por esta vía. Otras fuentes naturales relevantes incluyen las termitas, debido a procesos digestivos internos; la actividad volcánica; las chimeneas hidrotermales del lecho oceánico; y los depósitos de hidratos de metano ubicados en márgenes continentales, bajo el hielo antártico y en el permafrost ártico. Adicionalmente, el metano es el componente principal del gas natural, con una concentración que oscila entre 50% y 90% según su origen, y forma parte del grisú o gas inflamable presente en los mantos de carbón (Mann, 2026).

2.18.4 Óxido nitroso (N2O)

De acuerdo con IPCC (2007) el óxido nitroso constituye el principal gas de efecto invernadero generado por la actividad agrícola y se origina de forma natural en el suelo mediante los procesos de nitrificación y desnitrificación, la nitrificación consiste en la oxidación microbiana aeróbica del amoniaco a nitrito, mientras que la desnitrificación es la reducción microbiana anaeróbica del nitrato a nitrógeno gaseoso (N_2). El óxido nitroso es un producto intermedio gaseoso en la secuencia de reacción de la desnitrificación y un producto derivado de la nitrificación que se fuga de las células microbianas del suelo (IPCC, 2007). Existen factores que afectan en forma directa la tasa de emisión de N2O, entre los que se pueden distinguir las condiciones ambientales del suelo (potencial redox, temperatura, contenido hídrico edáfico y pH), así como la proporción de carbono y nitrógeno en el sustrato sobre los que actúan los microorganismos nitrificadores y desnitrificadores (Luque, 2015).

2.18.5 Ozono (O3)

Vega & Vinicio (2016) mencionan que el ozono estratosférico (O_3) constituye una capa ubicada en la estratosfera que protege a la vida en la Tierra de la radiación ultravioleta tipo B (UV-B). La concentración de ozono disminuye al reaccionar con contaminantes de origen antropogénico. Entre los compuestos más dañinos para la

capa de ozono destacan los clorofluorocarbonos (CFC), el metano (CH_4), el óxido nitroso y el monóxido de cloro (ClO), entre otros. La destrucción de la capa de ozono hace que los rayos ultravioletas lleguen a la superficie de la biosfera y puedan interferir en la capacidad fotosintética y el crecimiento de las plantas (Vega & Vinicio, 2016).

III. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación es sobre el análisis de la cantidad del carbono que se encuentra en el suelo se debe principalmente a que actualmente nos hemos visto afectados por el calentamiento global por varias prácticas que generan contaminación y la producción de CO_2, el cual es uno de los principales gases de efecto invernadero causante del calentamiento global.

Sabemos que el suelo juega un papel muy importante, ya que funciona como un sumidero de carbono para posteriormente transformarlo en materia orgánica. A nivel global, los suelos y los bosques eliminan de forma natural el 29% de las emisiones antropogénicas generadas por la combustión de combustibles fósiles y por los cambios de uso del suelo. El océano absorbe el 26%, mientras que el 45% restante permanece y se acumula en la atmósfera.

El estudio pretende cuantificar la cantidad de carbono que es absorbido en el suelo, en 2 regiones diferentes para ver el comportamiento de la vegetación que hay en cada lugar, los tipos de cultivos establecidos, clima, tipo de suelo, altura y saber cómo influye cada factor en la captura del carbono atmosférico al suelo.

El presente trabajo permitirá mostrar las diferencias de la cantidad de carbono acumulado en el suelo de acuerdo a las variaciones climáticas, edafológicas, vegetativas, entre otras, con la finalidad de buscar alternativas de conservación de suelo o introducción de especies de plantas que ayuden a la absorción de mayor cantidad de carbono.

Además, ofrecerá una mirada integral al buen manejo que se le debería de dar al suelo, para su conservación y por la importancia que tiene en los ecosistemas en la mitigación del cambio climático y al mismo tiempo realizar una concientización social sobre el daño ambiental que tenemos en la actualidad.

IV. HIPÓTESIS

La cantidad de carbono orgánico del suelo será mayor en los sistemas agrícolas con presencia de cultivos de leguminosa (Vicia faba) y maíz (Zea mays) en la zona templada de Amanalco de Becerra respecto a los sistemas agrícolas de la zona cálida de Tejupilco con presencia de árboles leguminosos.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

- Determinar la cantidad de carbono orgánico en suelos agrícolas cultivados con maíz y suelos con presencia de leguminosas en dos zonas climáticas (templada y cálida) en Tejupilco de Hidalgo y Amanalco de Becerra, Estado de México.

5.2 Objetivos particulares

- Determinar las características físicas y químicas de los suelos (pH, Textura, Porosidad, color y densidad aparente.
- Cuantificar la cantidad de carbono orgánico y materia orgánica.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización experimental

El trabajo de campo se llevó a cabo en 2 zonas climáticas.

6.1.1 Zona cálida

Tejupilco de Hidalgo, se ubica en el suroeste del Estado de México, se localiza en las coordenadas geográficas 100° 09' 10" O de longitud y 18° 54' 21” N de latitud, el municipio de Tejupilco se encuentra a una altitud de 1 328 msnm (INEGI, 2021). El clima varía de cálido a subhúmedo y a semicálido húmedo con lluvias en verano y con un porcentaje menor de lluvias en invierno. Donde las principales especies que se encuentran dentro del terreno son: mangos, pinzanes y arbustos, los cuales generan hojarasca que es incorporada naturalmente al suelo para su descomposición. (Imagen 10).



Imagen 10: Cuadrilla de López, Tejupilco, Méx.

Fuente:

https://earth.google.com/web/search/CUADRILLA+DE+LOPEZ+TEJUPILCO+MEXICO/@18.88329677,-100.23607539,1079.87874171a,559.24858654d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCWPzvCzsTDNAERFrJagbSDNAGdM-

BWaF_ljAlWpQYO5FAVnAQgIIATIpCicKJQohMTlEWFdYWExYei05OGFlNU5lT0V
ZNlhrekZGM29YYkV3IAE6AwoBMEICCABKCAickYeHARAB

6.1.2 Zona templada

Amanalco de Becerra se ubica al poniente del Estado de México, se localiza en las coordenadas geográficas 19°17'25"N y 99°59'57"W de longitud. El municipio de Amanalco de Becerra se encuentra a una altura de 2,339 msnm. El clima en Amanalco de Becerra se caracteriza por un clima templado con una temporada de lluvia nublada y una temporada seca parcialmente nublada**.** Donde el predio se ubica en medio de una zona llena de cultivos principalmente de maíz y Avena, donde particularmente los residuos de la cosecha son recolectados y no se incorporan al suelo**.** (Imagen 11).



Imagen 11: Amanalco de Becerra, Edo.Mex.

Fuente:

https://earth.google.com/web/search/Amanalco+de+Becerra,+M%c3%a9x./@19.29177174,-99.999299,2642.88628839a,1219.4892976d,35y,-0h,0t,0r/data=CiwiJgokCd57k1yCRDNAEV_LD3JQPjNAGUwdlhg3AFnAIby_2HTB

A1nAQgIIATIpCicKJQohMTlEWFdYWExYei05OGFlNU5lT0VZNlhrekZGM29YYkV
3IAE6AwoBMEICCABKCAickYeHARAB

6.2 Características del suelo en Amanalco de Becerra

Se realizó un reconocimiento del lugar en toda el área y se llevó acabo un muestreo de suelo en 1 ha de superficie en un predio del municipio de Amanalco de Becerra. El trabajo se realizó en el mes de octubre del 2025, en temporada de lluvias.

6.3 Características del suelo de Tejupilco de Hidalgo

Se realizó un reconocimiento del lugar en toda el área y se llevó acabo la toma de muestras de suelo (Imagen 12) en 1 ha de superficie en el municipio de Tejupilco de Hidalgo, fueron llevadas al laboratorio para su análisis. El trabajo se realizó en el mes de octubre del 2025, durante la temporada de lluvias.

Materiales:

- Barreno manual
- Bolsa de recolección de suelo
- Bolsa de recolección de pastos
- Muestras de suelo
- Material de laboratorio
- Bascula
- Tamices
- Estufa de secado
- Bolsa de papel
- Marcador



Imagen 12: Realización de recolección de muestra de suelo de Tejupilco de Hidalgo

Fuente: Propiedad del autor

6.4 PH:

El pH del suelo se midió con un potenciómetro (HANA INSTRUMENTS 8521) mediante el uso de electrodo en suspensión acuosa (1:5).

Reactivos:

- Soluciones reguladoras
- Agua destilada

Material y equipo:

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

Procedimiento:

- Pesar 10 g la muestra de suelo tamizado (Imagen 13) y vaciarlo al vaso de precipitado.



Imagen 13: Tamizado de muestra de suelo

Fuente: Propiedad del autor

- Agregar 20 ml de agua destilada.
- Agitar durante 1 minuto y dejar reposar 5 minutos hasta completar 30 minutos
- Calibrar el potenciómetro con la solución reguladora.
- Mover la solución con la varilla de vidrio e introducir el electrodo.
- Registrar el pH en el momento en el que la lectura se haya estabilizado. (Imagen 14).

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



Imagen 14: Determinación de pH.

Fuente: Propiedad del autor

6.5 Materia orgánica y Carbono Orgánico.

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

Material:

- Probeta de 10 ml.
- Bureta
- Soporte universal
- Pipeta (10, 20 y 5 ml)
- Pinzas para bureta
- Matraz Erlenmeyer 250 ml
- Balanza analítica

Reactivos:

- Indicador de difenialanina
- Dicromato de potasio 1 N
- Sulfato ferroso al 1 M
- H3SO4 concentrado,
- H2SO4 concentrado

Procedimiento: (Imagen 15)

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



Imagen 15: Muestra de suelo de Tejupilco de Hidalgo y Amanalco de Becerra.

Fuente: Propiedad del autor

Nota: para compostas se toma una muestra 0.3 g de suelo tamizado. (Imagen 16 y 17)

- Adicionar exactamente 5 ml de dicromato de potasio 1 N, girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con el suelo.
- Agregar 10 ml de Ácido sulfúrico lentamente sobre las paredes.
- Agitar 1 min y reposar 30 min.

- Agregar 100 ml de agua destilada.
- Agregar 5 ml de ácido fosfórico concentrado.
- Agregar 5 gotas de difenialanina.
- Titular con sulfato ferroso al 1M.



Imagen 16: Mezcla de suelo con dicromato de potasio

Fuente: Propiedad del autor



Imagen 17: Determinación de materia orgánica.

Fuente: Propiedad del autor

Fórmulas:

%C. Orgánico = ml gastados en el blanco – ml gastados en la titulación X 0.39

Gramos de la muestra

%M. Orgánica = % C. Orgánico X 1.724

Evaluación de propiedades físicas del suelo.

6.6 Textura

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

Materiales y equipo: (Imagen 18).

- Probeta de 1000 ml con tapón
- Balanza analítica
- Termómetro
- Hidrómetro de Bouyoucos de -10 a 60
- Muestra de suelo
- Charola de pesado
- Licuadora
- Espátula acanalasa



Imagen 18: Mezcla de tratamiento para determinar textura

Fuente: Propiedad del autor

Soluciones:

- Agua.
- Meta-silicato de sodio al 5%
- Alcohol amílico
- Oxalato de sodio al 5%

Procedimiento:

- Se pesa 50 g y se adiciona sobre el vaso de agitación a adicionando 5 ml de metasilicato de sodio y 5 ml de oxalato de sodio, se adiciona agua de la llave hasta la segunda rayita del vaso, se agita durante 10 min en la licuadora.
- Se vierte sobre la probeta de 1000 ml bajando la muestra con la piseta cubriendo la probeta hasta los 1000 ml de agua se deja reposar durante 40 segundos.
- Se agita 10 veces de arriba abajo
- Se toma la primera muestra con el hidrómetro y el termómetro, se deja reposar durante 2 horas y se toma la segunda lectura.(imagen 19)



Imagen 19: Llenado de probeta.

Fuente: Propiedad del autor

Cálculo:

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

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

% de arena = 100 – (% de limos + % de arcillas)

% de arcilla = segunda lectura corrida X 2 X 100

50

% de limos = (% de limos + % de arcillas) – (% de arcillas)

La suma de % de arena + arcilla + % de limos = %100

Después de determinar los porcentajes de arcilla, arena y limo, nos dirigimos con un triángulo de texturas para obtener el tipo de textura en los suelos. (Imagen 20).

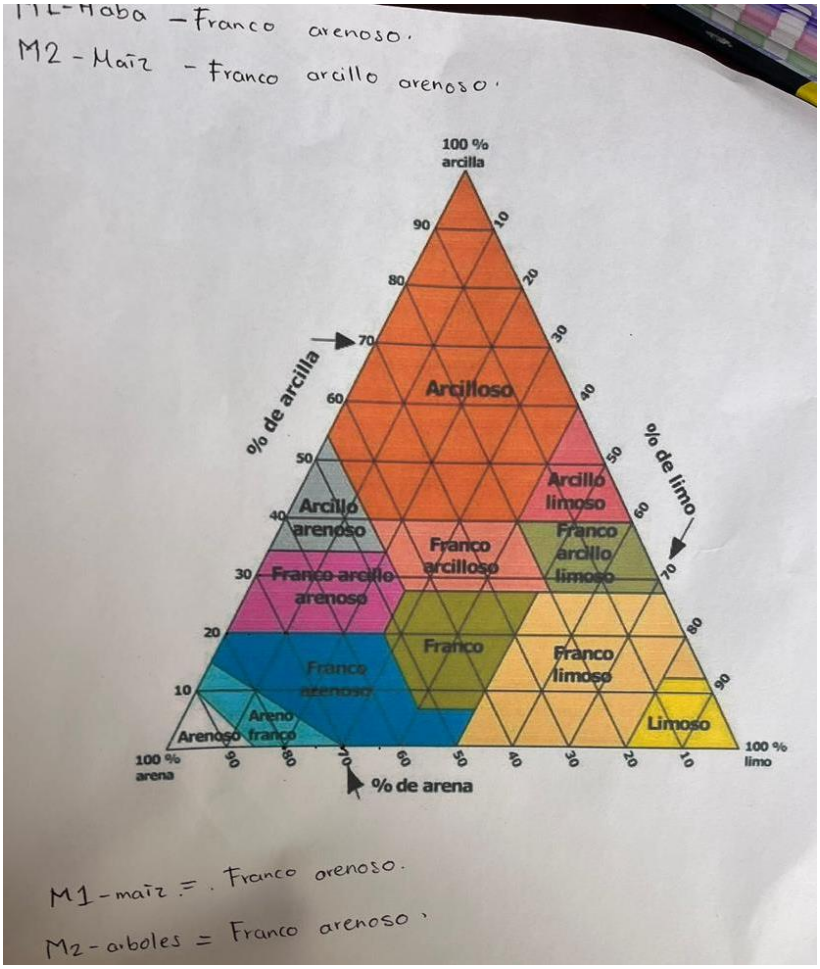


Imagen 20: Triangulo de texturas

6.7 Densidad aparente.

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

Materiales y equipo:

- Balanza analítica
- Muestra de suelo
- Probeta de 10 ml
- Franela.
- Espátula

Procedimiento:

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

Fórmula:

Calcular la densidad aparente con la siguiente fórmula.

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

6.8 Densidad Real.

Se determinó por el método de picnómetro. (Imagen 21).

Material y Equipo.

- Agua destilada
- Picnómetro
- Espátula
- Piceta
- Balanza analítica
- Embudo
- Estufa
- Suelo



Imagen 21: Llenado de piceta

Fuente: Propiedad del autor

Desarrollo:

- Pesar el picnómetro seco (PPS), después se llena de agua sin que se moje por fuera, se pesa (PPA) y se vacía el agua.
- Se pone a secar por 5 minutos en la estufa a 70 C, se saca con unas pinzas.
- Se le adiciona 5 g de suelo sobre el embudo, se llena a ¾ de picnómetro y se agita ligeramente durante 5 minutos hasta que desaparezcan las burbujas.
- Dejar reposar durante 30 minutos.
- Llenar el picnómetro con agua utilizando la piseta y se toma el peso del picnómetro del suelo y agua (PPSA). (Imagen 22).

Fórmula.

$$DR = \frac{PS - PA}{5} X\ 100$$



Imagen 22: Material utilizado para determinación de densidad real.

Fuente: Propiedad del autor

6.9 Porosidad

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

% de porosidad = 1 - (Dap / Rr) x 100

6.10 Color.

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

porque tiene una película de agua en la superficie de la muestra de suelo, impide una lectura correcta (Imagen 23).

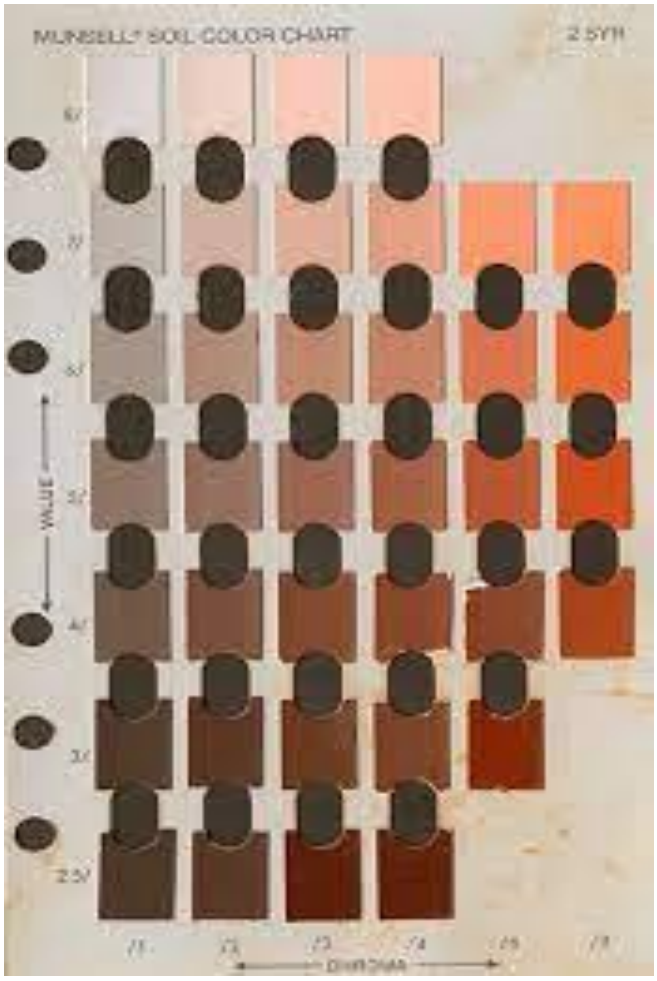


Imagen 23: Munsell HUE 2,5YR

Fuente:
http://edafologia.ugr.es/programas_suelos/practclas/clasol/comun/m25yr.htm

6.11 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar. Se evaluaron 2 tratamientos, T1 suelo con cultivo de maíz y T2 suelo con cultivo de leguminosas, dos bloques 1 la comunidad de Tejupilco, bloque 2 la comunidad de Amanalco de Becerra.

Modelo estadístico diseño de bloques.

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Tabla 1 Tabla de componentes.

Componente	Significado
μ	Media general.
τ_i	Efecto del tratamiento i.
β_j	Efecto del bloque j.
ε_{ij}	Valor aleatorio del error experimental de la i, j.
y_{ij}	Observación en la unidad experimental.

i=1,2,…, t corresponde al número de tratamientos.

j=1,2,…, r corresponde al número de bloques o repeticiones.

Los datos de las variables pH, materia orgánica, carbono orgánico, densidad real, se analizaron a través de ANOVA. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($P<0.05$). Se utilizó el programa MINITAB, 2009. V16. En la variable porosidad, se obtuvo el promedio de tres repeticiones (muestras).

VII. RESULTADOS

7.1 Características químicas de los suelos

7.1.1 pH

La (Tabla 1) muestra los resultados de pH del suelo. El pH presento diferencias significativas entre localidades (P=0.0001), el suelo de Amanalco de Becerra presento un pH de 5.275, lo cual indica que es ligeramente acido, mientras que el suelo de la comunidad de Tejupilco de Hidalgo con clima cálido tropical presento un pH de 7.850, dentro de la escala es un suelo ligeramente alcalino. (Imagen 7 y 24).



Imagen 24: Recopilación de datos.

Fuente: Propiedad del autor

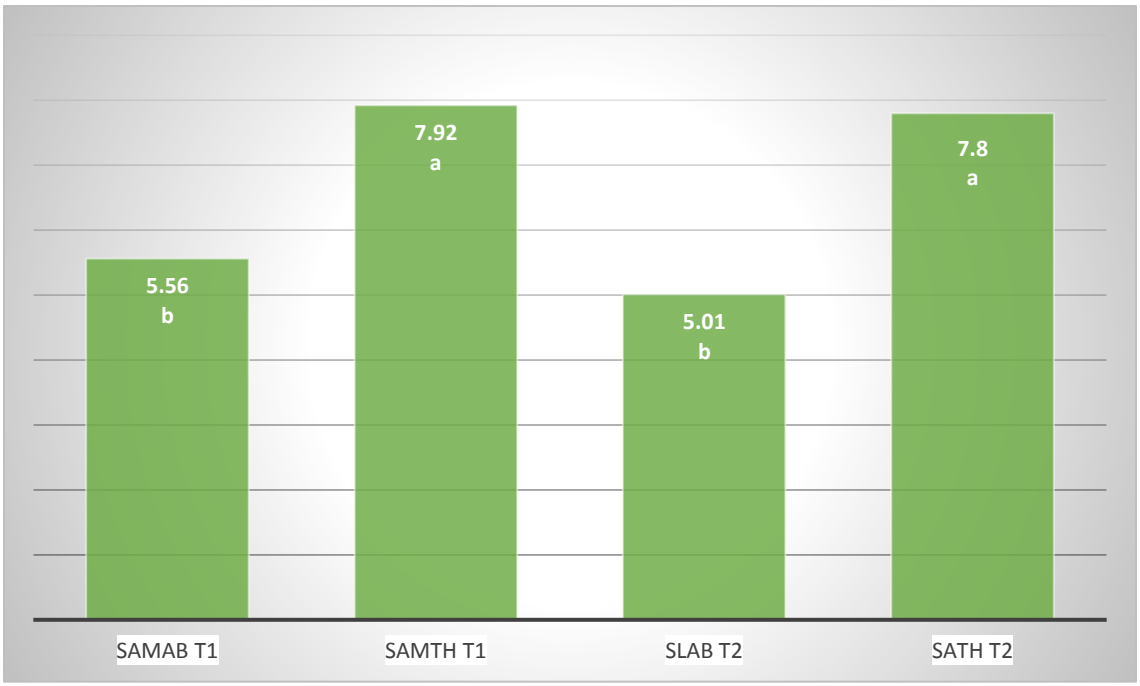
El pH de los suelo agrícola cultivado con maíz presentó diferencias significativas ($P<0.05$), donde el pH del suelo de Tejupilco de Hidalgo fue de 7.92, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, la establece como medianamente alcalino respecto al suelo de maíz de Amanalco de Becerra que presento valores con pH de 5.56 donde los suelos son medianamente ácidos.

El pH del suelos con cultivos de leguminosas de Tejupilco de Hidalgo, presentó un pH 7.8 ($P=0.0001$) de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, la establece como medianamente alcalino. El suelo cultivado con leguminosas en Amanalco de Becerra presento valores de 5.01, lo que significa que son suelos medianamente ácidos y que entre comunidades los suelos cultivados con leguminosas presentan diferencias en el pH. Los resultados (Tabla 1) muestran 2 tipos de suelo de la región de Amanalco, pero cada uno con un cultivo distinto, al finalizar el análisis de muestras se determinó que los suelos son ácidos y en Tejupilco de Hidalgo son alcalinos.

El pH del suelo expresa el grado de acidez del suelo, es decir la concentración (en forma logarítmica) de hidrogeniones H+ que existen en el suelo (Soto et al, 2018).

Soto et al (2018) menciona que si el suelo es demasiado ácido, en el complejo de cambio abundan los hidrogeniones y el aluminio, evitando que otros elementos necesarios como el calcio, magnesio, sodio y potasio permanezcan en él, ya que estos son eliminados por el agua ya sea de lluvia o riego. El pH influye sobre la estructura del suelo de forma que los suelos excesivamente ácidos presentan una estructura deficiente, caracterizada por la baja porosidad y sus consecuencias: mala aireación, dificultad a ser trabajados, escaso desarrollo radicular, baja permeabilidad, fenómenos de erosión (Soto et al, 2018).

Los cultivos presentan en general mejor desarrollo a valores cercanos a la neutralidad, dado que en estas condiciones los elementos nutritivos están más disponibles y se encuentran en un equilibrio más adecuado, si el pH es superior a 7, significa que hay sobre el complejo menos iones H+ que cationes minerales suelo básico o alcalino (Soto et al, 2018).



Grafica 1: Resultados de pH

SAMAB T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en la zona templada.

SLAB T2: Suelo cultivado con Leguminosas en zona templada.

SAMTH T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en zona cálida.

SATH T2: Suelo cultivado con Arboles en zona cálida.

Tabla 2 : Resultados de promedio de pH

Zonas y Sitios	pH
Zona Templada Amanalco de Becerra	5.275 b
Zona Cálida Tejupilco de Hidalgo	7.850 a

Valor de P= 0.0001

7.1.2 Carbono orgánico

La Tabla 2 muestra los resultados de carbono orgánico a nivel del suelo. El carbono orgánico presento diferencias significativas entre localidades (P=0.0001), la localidad de Amanalco de Becerra tuvo mayor acumulación de carbono orgánico de

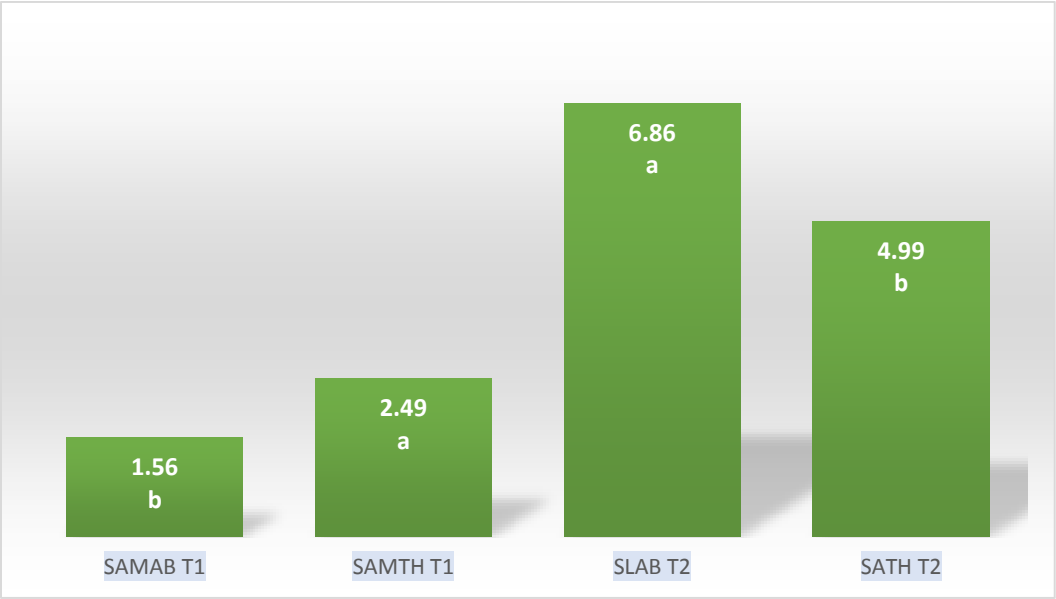
la zona templada, presentando mayor acumulación de 4.21a, mientras que la comunidad de Tejupilco de Hidalgo con clima cálido tropical tuvo una menor acumulación 3.74b de carbono orgánico, concluyendo que los suelos del municipio de Amanalco de Becerra son más favorables respecto a la acumulación de carbono orgánico a causa de los factores como humedad, temperatura y tipo de suelo.

El carbono orgánico del suelo con uso agrícola de maíz en la zona de Tejupilco de Hidalgo, con clima cálido, presentó 2.49a con un 37 % más carbono debido al manejo que se da al rastrojo el cual es incorporado en suelo después de la cosecha del grano. En el caso de la zona templada de Amanalco de Becerra el resultado fue menor con 1.56b manejo de los residuos de cosecha es diferente, los cuales en su totalidad son recogidos del suelo para alimentar al ganado por lo cual el contenido de CO es menor.

Existió una diferencia (P=0.0001) en los suelos de leguminosas de Amanalco de Becerra donde se presentó 6.86a con un 27 % de mayor cantidad de carbono debido a las condiciones de humedad, la descomposición de la materia orgánica es más rápida debido a la cantidad de microorganismos que se encuentran en el suelo. En el suelo forestal de Tejupilco de Hidalgo donde el resultado fue menor con un 4.99b, donde el porcentaje de humedad es menor debido al tipo de suelo que posee, es por ello que la materia orgánica tarda más en descomponerse (Grafica 2).

La interacción bloque-suelo mostro diferencia significativa (P =0.0001).

El monitoreo de los niveles de carbono orgánico del suelo es esencial para asegurar que las prácticas agrícolas mantengan los niveles actuales o contribuyan a aumentarlos y secuestrar más carbono.



Grafica 2: % de carbono orgánico

SAMAB T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en la zona templada.

SLAB T2: Suelo cultivado con Leguminosas en zona templada.

SAMTH T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en zona cálida.

SATH T2: Suelo cultivado con Arboles en zona cálida.

Tabla 3: Promedio de % carbono orgánico

Zonas y Sitios	% Carbono orgánico
Zona Templada Amanalco de Becerra.	4.21_a
Zona Cálida Tejupilco de Hidalgo.	3.74_b

Valor de P= 0.0001

7.1.3 Materia orgánica

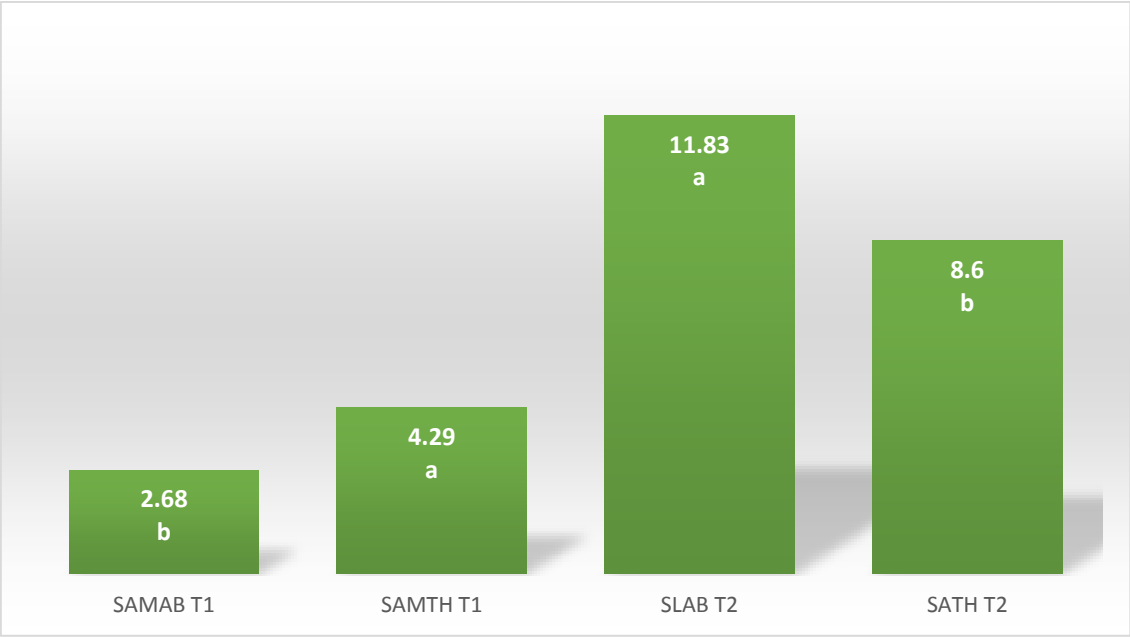
La Tabla 3 muestra los resultados de materia orgánica a nivel del suelo. La materia orgánica presento diferencias significativas entre localidades (P= 0.0001), la localidad de Amanalco de Becerra tuvo mayor acumulación de materia orgánica del suelo de la zona templada presento mayor acumulación con 7.255 a, mientras que

la comunidad de Tejupilco de Hidalgo con clima cálido tropical tuvo una menor acumulación de materia orgánica, con 6.445 b, concluyendo que los suelos del municipio de Amanalco de Becerra son más favorables respecto a la acumulación de materia orgánica a causa de los factores como humedad, temperatura y tipo de suelo.

La materia orgánica (MO) de los suelos agrícolas cultivados con maíz presento diferencias significativa (P= 0.001), el contenido de materia orgánica del suelo con uso agrícola de la comunidad de Tejupilco de Hidalgo con clima semicálido, presento mayor contenido de MO con 4.29c, presentando 37% de mayor contenido de MO debido a la incorporación de rastrojo de maíz y estiércol de animales al suelo después de la cosecha respecto a los suelos de maíz de Amanalco de Becerra el cual presento un resultado menor de 2.68d.

Por el contrario existió una diferencia en el suelo de leguminosas de Amanalco de Becerra donde se presentó un 11.83a con 77 % de mayor contenido de MO, debido a la incorporación a tiempo de los restos de cosecha al suelo aprovechando la humedad de la temporada de lluvias para su rápida descomposición, en comparación a los suelos de árboles de Tejupilco de Hidalgo donde presento un 8.6b, ya que la hojarasca tarda más tiempo en descomponerse por la baja humedad.

La materia orgánica se refiere a la cantidad de restos orgánicos que se encuentran alterados y que por lo tanto pueden dar lugar a aumentar el contenido en nutrientes del suelo, esta tiene una elevada capacidad de intercambio catiónico y gran capacidad para retener cationes en el suelo, además, favorece la microestructura del suelo siendo un elemento muy positivo en la lucha contra la erosión de los suelos y en general favorece también el desarrollo de microfauna edáfica, todos estos factores hacen que este parámetro sea muy útil para conocer de forma indirecta la fertilidad de un suelo determinado (Garrido, 2006).



Grafica 3: % de materia orgánica

SAMAB T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en la zona templada.

SLAB T2: Suelo cultivado con Leguminosas en zona templada.

SAMTH T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en zona cálida.

SATH T2: Suelo cultivado con Arboles en zona cálida.

Tabla 4: Promedio % de materia orgánica

Zonas y Sitios	% Materia orgánica
Zona Templada Amanalco de Becerra.	7.255_a
Zona Cálida Tejupilco de Hidalgo.	6.445_b

Valor de P= 0.0001

7.2 Características físicas del suelo

7.2.1 Textura

En el suelo agrícola cultivado con maíz de Amanalco de Becerra se obtuvo un 76% de arena, 8% de limo y 32% de arcilla dándonos como resultado un suelo arenoso.

De acuerdo al triángulo de texturas existió 1 diferencia del suelo agrícola de maíz de Tejupilco de Hidalgo donde hubo un 80% de arena, 0% de limo y 20% de arcilla teniendo como resultado un suelo franco arcillo arenoso.

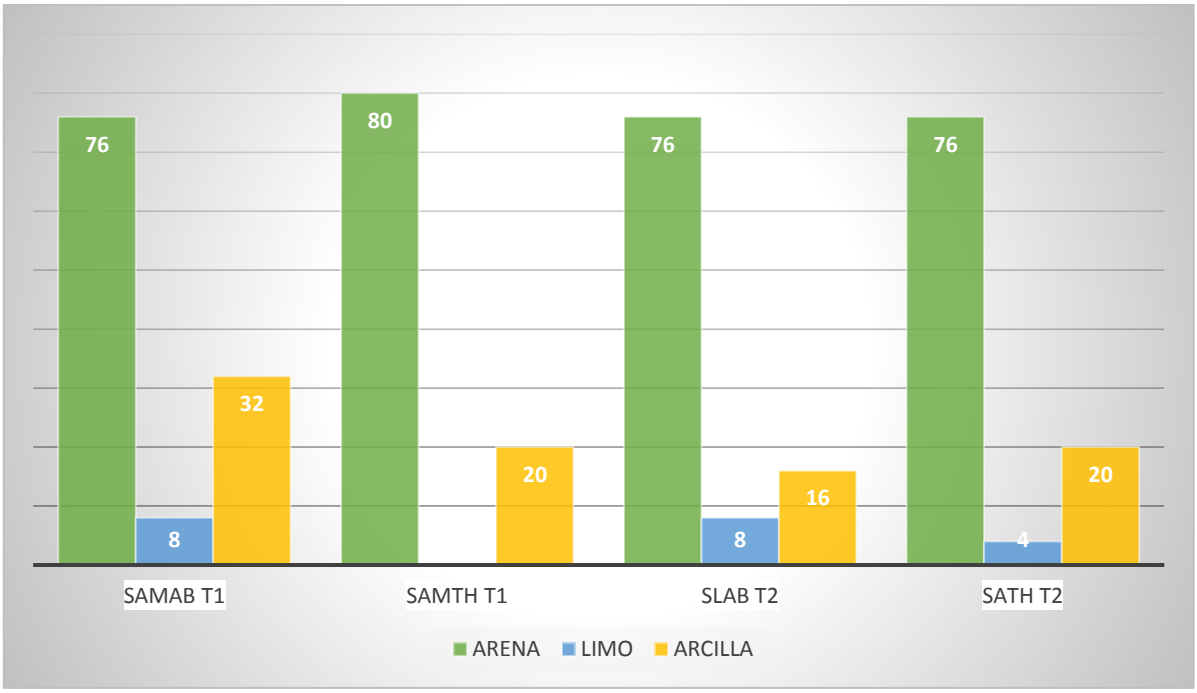
En el suelo cultivado con leguminosas de Amanalco de Becerra se obtuvo un porcentaje del 76% de arena, 8% de limo, 16% de arcilla. Existió diferencia en comparación a los porcentajes de suelo de árboles de Tejupilco de Hidalgo donde se obtuvo un 76% de arena, 4 % de limo y 20 de arcilla.

De acuerdo a los resultados (Grafica 4) se determina que el porcentaje de arena es alto en los diferentes tipos de suelo los que permite un buen drenaje y aireación.

La textura es el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como el limo, la arena y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa (Food and Agriculture Organization, s/f).

La tabla muestra la textura del suelo que fue franco arenoso, estos suelos son generalmente muy permeables al aire, al agua y a las raíces, las limitaciones que presentan, es su bajo poder de retención de agua y su deficiente capacidad de almacenamiento de nutrientes (Thompson & Troeh, 2002).

El suelo franco arenoso es un tipo de suelo que contiene una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla. Típicamente, consta de aproximadamente un 60-70% de arena, un 20-30% de limo y un 10-15% de arcilla. Esta composición permite que el suelo franco arenoso tenga las mejores propiedades de los tres tipos de suelo:La arena contribuye a un buen drenaje y aireación, El limo retiene la humedad y los nutrientes, proporcionando un medio para el crecimiento de las raíces de las plantas, La arcilla ayuda a retener los nutrientes y a proporcionar estructura. El suelo franco arenoso se caracteriza a menudo por su textura ligera y desmenuzable, lo que facilita su manipulación y lo hace ideal para una amplia variedad de plantas (YaraFert, 2025).



Grafica 4: Textura

SAMAB T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en la zona templada.

SLAB T2: Suelo cultivado con Leguminosas en zona templada.

SAMTH T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en zona cálida.

SATH T2: Suelo cultivado con Arboles en zona cálida.

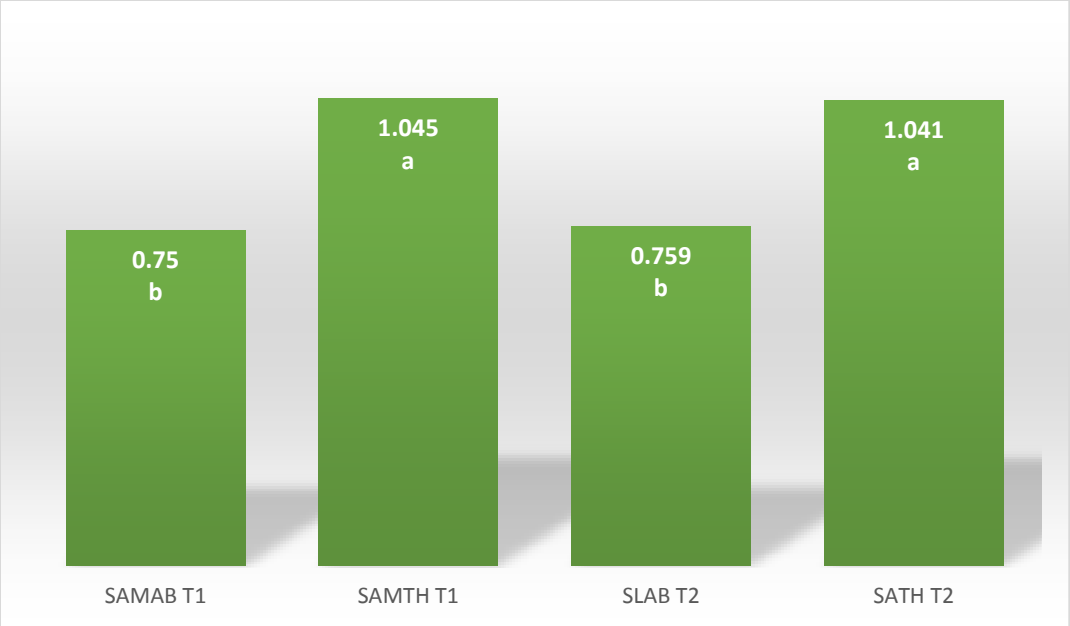
7.2.2 Densidad aparente

La densidad aparente (gr/cm3) entre localidades, no presentó diferencias significativas (P >0.05) en la zona templada del municipio de Amanalco se obtuvo un 0.7545b gr/cm3 y en la zona tropical del municipio de Tejupilco se obtuvo una DA mayor de 1.043a gr/cm3 (Tabla 4).

La (Grafica 5) muestra los resultados de la densidad aparente del suelo. El suelo de leguminosa de la localidad de Amanalco de Becerra con zona templada presento una menor densidad aparente con 0.759b gr/cm3, mientras que la comunidad de Tejupilco de Hidalgo con clima cálido tropical tuvo un mayor promedio de 1.041a gr/cm3, concluyendo que los suelos del municipio de Tejupilco de Hidalgo son más favorables.

Respecto a la densidad aparente de los usos del suelo agrícola de maíz de la comunidad de Amanalco de Becerra presentó diferencia significativa con 0.75b g*cm3 respecto al uso del suelo agrícola, mientras que Tejupilco de Hidalgo presento 1.045a g*cm3, mostrando que Tejupilco de Hidalgo tuvo un 28% mayor que Amanalco de Becerra.

La densidad aparente del suelo es un indicador importante de la estructura y la fertilidad del suelo.



Grafica 5: Densidad aparente

SAMAB T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en la zona templada.

SLAB T2: Suelo cultivado con Leguminosas en zona templada.

SAMTH T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en zona cálida.

SATH T2: Suelo cultivado con Arboles en zona cálida.

Tabla 5: Promedio de densidad aparente

Zonas y Sitios	Densidad aparente
Zona Templada Amanalco de Becerra.	0.7545_b

Zona Cálida Tejupilco de Hidalgo.	1.043a

Valor de P= 0.0001

7.2.3 Densidad real

La (Grafica 6) muestra los resultados de la densidad real que se presenta en los dos tipos de suelos. Se presentó diferencias significativas entre localidades (P=0.0001), la localidad de Amanalco de Becerra tuvo menor presencia de densidad real de la zona templada, presentando un promedio de 50.900b, mientras que la comunidad de Tejupilco de Hidalgo con clima cálido tropical tuvo una mayor presencia de densidad real con un promedio de 55.075a, concluyendo que los suelos del municipio de Tejupilco de Hidalgo son más favorables por la acumulación de minerales.

La densidad real se midió en 2 sitios de estudio (Imagen 25), obteniendo los siguientes resultados:

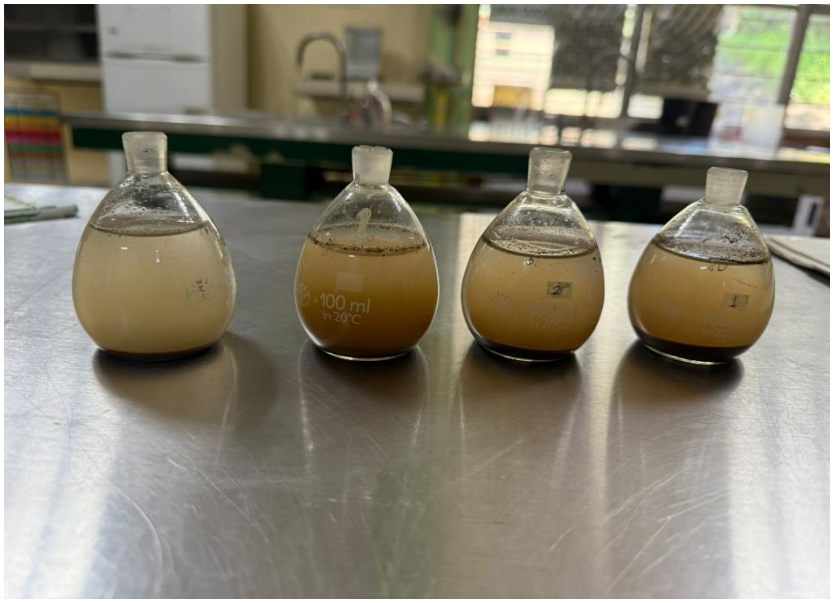
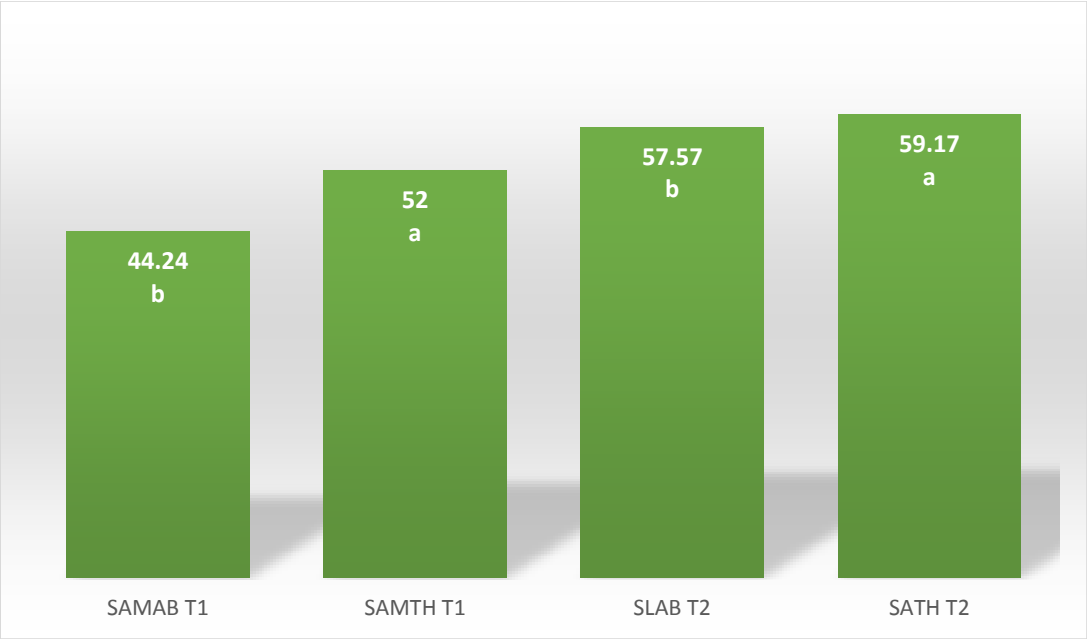


Imagen 25: Reposó de muestras para determinación de densidad real.

Los resultados (P=0.0001) del T1 indican que la densidad real del suelo agrícola cultivado con maíz de Amanalco de Becerra es menor con 44.24b con un 7.76 % en comparación al suelo agrícola de maíz Tejupilco de Hidalgo con un 52a. Los

resultados del T2 indican que la densidad real del suelo cultivado con leguminosas de Amanalco de Becerra es menor en un 57.57b con 6.6 % en comparación al suelo de árboles de Tejupilco de Hidalgo con un 59.17a.



Grafica 6: Densidad real

SAMAB T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en la zona templada.

SLAB T2: Suelo cultivado con Leguminosas en zona templada.

SAMTH T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en zona cálida.

SATH T2: Suelo cultivado con Arboles en zona cálida.

Tabla 6: Promedio de densidad aparente

Zonas y Sitios	Densidad aparente
Zona Templada Amanalco de Becerra.	50.900_b
Zona Cálida Tejupilco de Hidalgo.	55.075_a

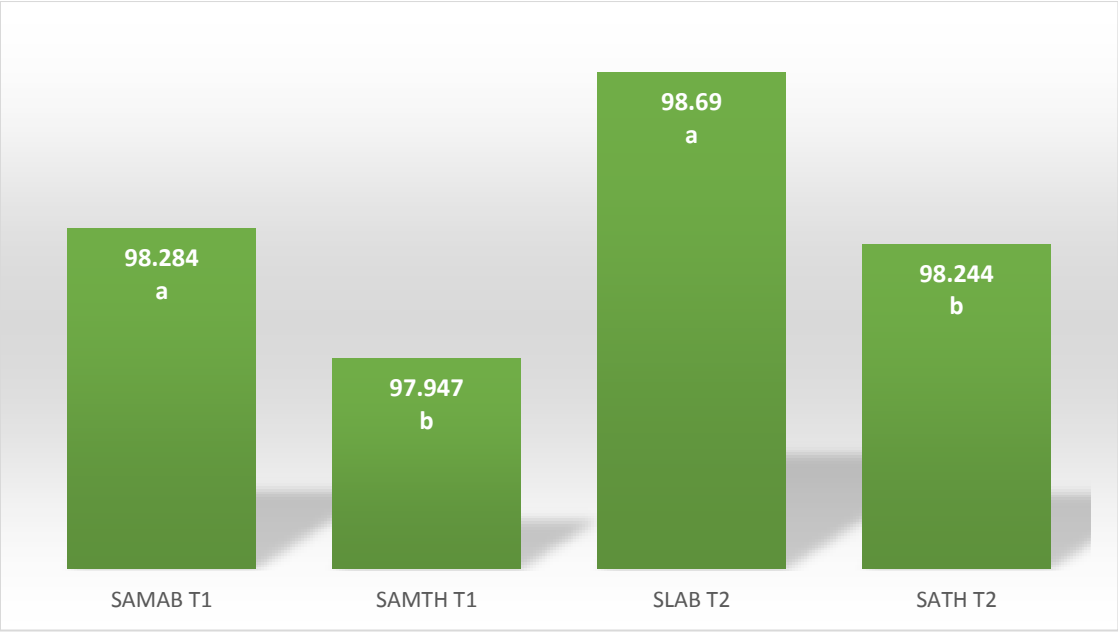
Valor de P= 0.0001

7.2.4 Porosidad

La porosidad no presento diferencias significativas entre localidades, la localidad de Amanalco de Becerra tuvo presencia de porosidad en la zona templada, presentando un 98.487%, mientras que la comunidad de Tejupilco de Hidalgo con clima cálido tropical tuvo una presencia de porosidad con un 98.095%.

La porosidad entre el suelo cultivado con maíz en Amanalco de Becerra tuvo presencia de porosidad con 98.284%, tuvo un ligero aumento de 0.34% de porosidad respecto al suelo agrícola cultivado con maíz de Tejupilco de hidalgo con un 97.947%.

De igual manera en el suelo cultivado con leguminosas en Amanalco de Becerra se obtuvo 98.69%a, un ligero aumento del 0.45 % de porosidad respecto al suelo cultivado con leguminosas de Tejupilco de Hidalgo con un 98.244%b. La (Grafica 7) muestra los resultados de porosidad del suelo, concluyendo que los suelos del municipio de Amanalco de Becerra y Tejupilco de Hidalgo no presentan diferencia ya que ambos presentan un 98% de porosidad. (Tabla 5).



Grafica 7: Porosidad

SAMAB T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en la zona templada.

SLAB T2: Suelo cultivado con Leguminosas en zona templada.

SAMTH T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en zona cálida.

SATH T2: Suelo cultivado con Arboles en zona cálida.

Tabla 7: Promedio de porosidad

Zonas y Sitios	Porosidad
Zona Templada Amanalco de Becerra.	98.487_{a}
Zona Cálida Tejupilco de Hidalgo.	98.095_{b}

Valor de P= 0.0001

7.2.5 Color

El color del suelo se relaciona con algunas propiedades físicas, químicas y biológicas. En los suelos de la zona templada de Amanalco de Becerra así como en la zona cálida de Tejupilco de Hidalgo se obtuvieron suelos con colores negros que indican presencia de materia orgánica.

El color del suelo nos ayuda en gran parte a identificar el tipo de suelo en el campo o laboratorio, al igual indica la oxidación o reducción química en el suelo, anterior o actual, de la piedra original debido a la erosión, el color puede oscurecerse con la materia orgánica, adquirir un color amarillo, marrón o rojo ante la presencia de óxidos férricos y puede adquirir un color negro debido al manganeso y otros óxidos. (Portal frutícola, 2016). (Imagen 26, 27, 28, 29, 30 Y 31) en Amanalco de Becerra y Tejupilco de Hidalgo.

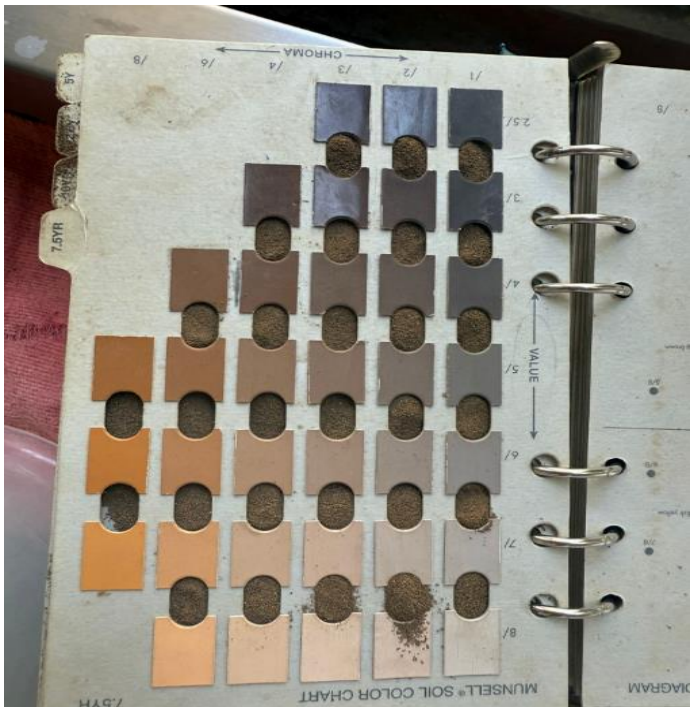


Imagen 27: Análisis de color de suelo

Fuente: Propiedad del autor



Imagen 26 Comparación tabla / suelo

Fuente: propiedad del autor

TABLA 1: Color de suelos en las zonas climáticas.

Tabla 8: Resultados de color

ANALISIS	SAMAB T1	SAMTH T1	SLAB T2	SATH T2
COLOR	CAFÉ (YR 5/3)	CAFÉ (YR 4/4)	CAFÉ (YR 5/4)	CAFÉ (YR 4/3)

SAMAB T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en la zona templada.

SLAB T2: Suelo cultivado con Leguminosas en zona templada.

SAMTH T1: Suelo Agrícola cultivado con Maíz en zona cálida.

SATH T2: Suelo cultivado con Arboles en zona cálida.



Imagen 31: CAFÉ (YR 5/3)



Imagen 30 : CAFÉ (YR 4/4)



Imagen 29: CAFÉ (YR 5/4)



Imagen 28: CAFÉ (YR 4/3)

VIII. DISCUSIÓN

En la cuantificación de materia orgánica de los suelos donde se estableció el cultivo de maíz en Amanalco de Becerra y Tejupilco de Hidalgo se obtuvo un porcentaje menor debido a que los residuos de cosecha son recogidos o aprovechados por los animales, en comparación al porcentaje de materia orgánica en los suelos donde los cultivos establecidos son de haba y árboles son superiores debido a que la cobertura vegetal que generan estos cultivos son integrados al suelo de manera natural.

De acuerdo con la investigación realizada nos percatamos que la materia y carbono orgánico del suelo es fundamental para la supervivencia de microorganismos benéficos que nos ayudan a degradar residuos tóxicos y nutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo. Respecto a lo reportado por Aguilera et al. (1999), el carbono orgánico es esencial para la actividad biológica del suelo. Otorga recursos energéticos a los organismos del suelo mayormente heterótrofos, en forma de carbono lábil (hidratos de carbono o compuestos orgánicos de bajo peso molecular). De acuerdo con lo descrito por Borie et al. (1999), los organismos del suelo descomponen los residuos orgánicos participando activamente en los ciclos de muchos elementos utilizados por las plantas.

Healy *et al, (*1996) menciona que en condiciones naturales el carbono se incorpora al suelo a través del aporte continuo de material orgánico, principalmente de origen vegetal. En suelos cultivados el mayor aporte de carbono ocurre con los residuos de cosecha. El carbono del suelo se puede perder en forma gaseosa (CO_2, CH_4) por difusión directa hacia la atmósfera, el aire del suelo tiene una composición similar a la de la atmósfera pero difiere en la concentración de los gases, el aire del suelo tiene una mayor concentración de CO_2 respecto al aire atmosférico, los gases entran o salen del suelo por flujo de masa y por difusión, este flujo de masa se produce debido a cambios de temperatura y de presión entre las distintas capas del suelo y en la atmósfera.

En suelos con clima cálido y donde hay más porcentaje de materia orgánica por los residuos de cosecha y hojarasca que cae de los árboles el Ph se acerca a valores

alcalinos con un promedio de 7.86 a diferencia de suelos con clima frío donde la materia orgánica es escasa los valores son más bajos acercándose a un Ph ácido con un promedio de 5.28. De acuerdo a lo dicho por Aguilera, (2000) la materia organica del suelo afecta el pH del suelo debido a losdistintos grados de acidez que los grupos activos aportan, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo. Wong *et al,* (2000) incubaron dos suelos, Oxisol (4,5 % COS) y Ultisol (2,6% COS), con poda de ramillas de árboles observándose durante los primeros 14 días un aumento en pH de 4,8 a 5,8 en el Oxisol y de 4,1 a 6,8 en el Ultisol junto a una disminución del Al intercambiable.

De acuerdo a los resultados de las propiedades físicas del suelo como textura y porosidad se dedujo que en los terrenos donde se cultiva maíz y no hay incorporación de materia orgánica, la labranza se realiza con mayor facilidad pues no hay residuos que impidan que la tierra quede completamente molida a diferencia de los suelos donde se cultivan las leguminosas y hay árboles con más hojarasca que se integra al suelo, ya que el trabajo es más dificultoso pues los residuos orgánicos llevan un proceso largo para su descomposición y muchas veces el suelo no queda preparado en su totalidad. Aunque tenemos la falsa idea que un suelo con tierra completamente molida es mejor, estamos en un error pues perdemos la capacidad de retención de humedad y pérdida de suelo.

De acuerdo a lo descrito por Kulli et al. (2002), la compactación del suelo consiste en una reducción del espacio poroso causado por una carga aplicada a la superficie del suelo. Según Kondo y Dias, (1999), Lipiec et al, (2002), y Aggarwal et al, (2006) A todos los niveles de compactación, la resistencia a la penetración aumenta con la disminución de agua en el suelo. La resistencia a la penetración disminuye con aumentos en densidad aparente según Aggarwal et al, (2006).

Gajri et al, (1992), Reddy, (1991), y Aggarwal & Goswami, (2003) mencionan que las prácticas de manejo de suelos como la labranza en profundidad (e.g. subsolador), cultivo en camas y la incorporación de materia orgánica pueden reducir la resistencia a la penetración en forma considerable.

IX. CONCLUSIÓN

El presente estudio permitió analizar el contenido de carbono orgánico en 2 zonas climáticas (templada y cálida) con diferentes tipos de suelo, identificando que los suelos de la zona templada de Amanalco de Becerra presentan una mayor acumulación de este elemento en comparación con la zona cálida de Tejupilco de Hidalgo. Este resultado se atribuye principalmente a las condiciones climáticas moderadas de la zona templada, que favorecen una mayor producción y menor descomposición de materia orgánica. Factores como la temperatura, la humedad y la cobertura vegetal influyen de manera significativa en la dinámica del carbono orgánico, promoviendo su retención y almacenamiento en el suelo.

La acumulación de carbono orgánico en los suelos de zonas templadas no solo mejora la fertilidad y estructura del suelo, sino que también contribuye a la mitigación del cambio climático al actuar como sumidero de carbono. Se recomienda continuar con investigaciones a largo plazo que evalúen el impacto de las prácticas de manejo del suelo y los cambios en el uso del suelo en la dinámica del carbono orgánico. Asimismo, es fundamental implementar estrategias de conservación y restauración en las zonas templadas para mantener y aumentar los niveles de carbono orgánico, asegurando así la sostenibilidad de los ecosistemas y los servicios ambientales que brindan

X. REFERENCIAS CONSULTADAS

Aggarwal, P., & Goswami, B. (2003). Bed planting system for increasing water use efficiency of wheat grown on Inceptisol. *Indian J. Agric. Sci.*, *73*, 422–425.

Aggarwal, P., Choudhary, K. K., Singh, A. K., & Chakraborty, D. (2006). Variation in soil strength and rooting characteristics of wheat in relation to soil management. *Geoderma*, *136*, 353–363.

Aguilera, S. M. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. En *Boletín N° 14: Proyecto Ley Protección de Suelo* (pp. 77–85). Valdivia, Chile.

Alvarez, A.M.(2024). Biorremediación de suelos contaminados con diésel utilizando bacterias pseudomonas [tesis para Ingeniería, Universidad Nacional de San Antonio abad del Cusco]. https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/10677/253T20242147_TC.pdf?isAllowed=y&sequence=1

Arroyo, M., & Ramírez, A. (2020, abril 16). Dióxido de carbono, sus dos caras. *Enseñanza de la Química*, *7*. https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/1316

Ballesteros, H. B., & Aristizabal, G. L. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología (Bogotá, Colombia). 96p*.

Batjes, N. H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, *47*, 151–163.

Borie, G., Aguilera, S. M., & Peirano, P. (1999). Actividad biológica en suelos. *Frontera Agrícola*, *5*, 29-32.

Caballero, A. (2023, Septiembre 21). *Efecto invernadero: Causas y consecuencias en el clima*. Selectra Climate Consulting. https://climate.selectra.com/es/que-es/efecto-invernadero

Caballero, A. (2024, Marzo 12). *El calentamiento global: Causas y consecuencias.* Selectra Climate Consulting. https://climate.selectra.com/es/que-es/calentamiento-global

Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. (2015). *Informe Político-Científico Nº 01* (pp. 1-6).

Doody, A. (2020). Adaptacion y Mitigacion del cambio climatico (en línea). s.l., s.e. Disponible en https://www.cimmyt.org/es/noticias/plagas-enfermedades-ycambio-climatico-estan-vinculados/.

Dlugokencky, E., Houweling, S., Ruud, R., Schröder, M. M., Hurst, D., Forster, P., & Organización Meteorológica Mundial. (2016). *Observación del vapor de agua*, *65*(2), [48]. https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/7296/1/BolOMM_65_2%20%289%29.pdf

Duval, R. (2006). Hormonas vegetales para el crecimiento y desarrollo de la planta. *Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros. vol*, *196*, 22-27.

FAO. (2015). *La FAO en acción. Año internacional de los suelos*. https://bit.ly/2TV5H7p

FAO. (2018). *Mapa de carbono orgánico de suelo*. Alianza Mundial por el Suelo. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0321e0f3-9e17-4f9f-9430-253d0f67f736/content

FAO. (2019). *Portal de suelos de la FAO*. https://bit.ly/2Fr8kpN

FAO. (2024). *Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. https://www.fao.org/4/w1309s/w1309s05.htm

Fertilab. (2019). *Propiedades fisicoquímicas del suelo y el crecimiento de las plantas*. Recuperado de https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-19-012-Propiedades-fisicoquimicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas.pdf

Franzluebbers, A. J. (2002). Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research*, *66*(1), 197-205.

Franzluebbers, A. J., Haney, R. L., Honeycutt, C. W., Arshad, M. A., Schomberg, H. H., & Hons, F. M. (2001). *Climatic influences on active fractions of soil organic matter*. *Soil Biology and Biochemistry*, *3*(1), 1103–1111.

Gajri, P. R., Arora, V. K., & Parihar, S. S. (1992). Tillage management for efficient water and nitrogen use in wheat following rice. *Soil and Tillage Research*, *24*, 167–182.

Gale, W. J., Cambardella, C. A., & Bailey, T. B. (2000a). Surface residue-and root-derived carbon in stable and unstable aggregates. *Soil Science Society of America Journal*, *64*, 196-201.

Gale, W. J., Cambardella, C. A., & Bailey, T. B. (2000b). Root-derived carbon and the formation and stabilization of aggregates. *Soil Science Society of America Journal*, *64*, 201-207.

Garrido Valero, S. (2006). *INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS*. Ministerio de agricultura pesca y alimentación https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf

Granados, P. R., & Soto, L. F. R. (2026) IMPACTOS EN LA AGRICULTURA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN REGIONES CON CLIMA TEMPLADO Y FRÍO.

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 Science Society of America Journal*, *60*, 740-747.

Hernández, J. E., Tirado, D., & Beltrán, R. I. (2014). *Captura de carbono en los suelos*. Boletín Científico ICBI, *1*(1), 1-10. https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e4.html

Hernández, J.E., Tirado, D., R. Icela Beltrán, R.I. (2014). Captura de carbono en los suelos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e4.html

Hernández, O. A., Dolores, G., Quezada, Á., & García Muñoz, S. (2021). *Situación actual del recurso suelo en México y la incorporación de abonos orgánicos como estrategia para su conservación*. https://ru.iiec.unam.mx/5454/1/070-Hern%C3%A1ndez-%C3%81vila-Garc%C3%ADa.pdf

Hernández Lara, J. A., Mejía Ramírez, D. R., & Zelaya Amaya, C. E. (2016). Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la universidad de el salvador. Título de Ingeniero Civil

Iannotti, M. (2013). *What does loam mean to a gardener? The Spruce.* Recuperado el [Fecha de Recuperación, ej. 15 de mayo de 2024], de https://www.thespruce.com/what-is-loam-1401908

Ibarra, P., Badía, D., & Castañeda, C. (2025, julio 23). *Suelos*. Instituto Geográfico Nacional.

INEGI. (2021). Aspectos geográficos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_15.pdf

Intagri. Las hormonas vegetales en las plantas (en línea, sitio web). Consultado el 5 de abril. 2026. Disponible en https://www.intagri.com/articulos/nutricionvegetal/las-hormonas-vegetales-en-las-plantas

IPCC. (2007). Cambio climático 2007*: Informe de síntesis*. http:// www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_ syr_sp.pdf.

JAHANGIR MMR. (2016) Soil: a weapon for food security and climate change adaptation and mitigation. AdvPlants Agric Res 3,2.

Jobbágy, E. G., & Jackson, R. B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, *10*(1), 423-436.

Kay, B. D. (1999). Soil structure. En M. E. Sumner (Ed.), *Handbook of Soil Science* (pp. 229-276). CRC Press.

Kondo, M. K., & Dias Junior, M. S. (1999). *Soil compressibility of three latosols as a function of moisture and use*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, *23*, 211–218.

Kulli, B. (2002). *Analysis of flow patterns: The influence of soil compaction and soil structure on the infiltration pathways of dye tracer solutions and the quantitative evaluation of flow patterns* (Doctoral dissertation). Swiss Federal Institute of Technology. p. 109.

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, *123*, 1–22.

Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. Food and Energy Security 2016; 5, 212-222.

Lal, R., Kimble, J., Follet, R., & Cole, C. (1998). *The potential of US cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect*. Ann Arbor Press.

Lipiec, J., Ferrero, A., Giovanetti, V., Nosalewicz, A., & Turski, M. (2002). Response of structure to simulated trampling of woodland soil. *Advances in Geoecology*, *35*, 133–140.

López, M., & Estrada, H. (2015). Propiedades del suelo. *Bioagrociencias*, *8*(1), 3-11.

Luque, J. (2015, febrero 3). El óxido nitroso y su influencia en el calentamiento global, provincia de Manabí, Ecuador. *Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO)*, *18*(35), 75-82.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/112044440/304894186-libre.pdf?1709470533=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEl_oxido_nitroso_y_su_influencia_en_el_c.pdf&Expires=1757893740&Signature=Jmqsro6GZttq6eKWR3PRFMZSvGpepopCwHp8GFpfuC6ooSEEyyoQ

Mann, M.E. (2026, Abril 18). *Methane chemical compound*. Editor de la enciclopedia Británica. https://www.britannica.com/science/greenhouse-gas

Mann, M.E. (2026, Marzo 28). *Greenhouse gas atmospheric science.* Editor de la enciclopedia Británica. https://www.britannica.com/science/methane

Marín, S., Bertsch, F., & Castro, L. (2017). *Efecto del manejo orgánico y convencional sobre propiedades bioquímicas de un andisol y el cultivo de papa en invernadero*. Agronomía costarricense, *41*(2), 27-46.

Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000100006&script=sci_arttext

Raygosa, R. I. (2021). *Combustibles fósiles y su relación con el calentamiento global*. Programa de Divulgación de Ciencias de la Tierra “Terramóvil”, Instituto de Geología, UNAM. http://www.terramovil-igl.unam.mx/wp-content/uploads/2021/06/Gu%C3%ADa_CALENTAMIENTO-GLOBAL.pdf

Reddy, M. S. (1991). Effects of soil amendments on the hardening of red sandy loams (chalka soils) of Andhra Pradesh. *Annals of Agricultural Research*, *12*, 174–176.

Rodríguez, L. L. (2021). *Estudio de Impacto Ambiental Simplificado de la Planta Solar Fotovoltaica PV INGENERGY SOLAR BETA 4 MW*. https://mediambient.gva.es/auto/energia/InformacionPublica/Alicante/ATALFE_2022_47_03/20220817_EIA%20Simplificado%20Firmado.pdf

Rondon, A. (2026). clima. Scribd. https://es.scribd.com/document/412804475/clima#content=query:el%20clima%20es%20un%20factor

Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales* (1st ed.). Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). https://www.cifor-icraf.org/publications/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf

Sandoval, C. H. H., Cristancho, J. C. G., & Naranjo, Ó. E. P. (2012). Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio. Facultad de ingenieria, 21(32), 21-40.

Soto, S., Desamparados, M., & Vegetal, P. (2018). *pH del suelo*. Upv.es. https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/4ff82d89-c7f7-44ac-9cde-41d018ba2277/content

Sumner, M. E. (1999). *Handbook of Soil Science*. CRC Press.

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

Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (2022). *Los suelos y su fertilidad*. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9788429190014_A41065802/preview-9788429190014_A41065802.pdf

Torres, C. A., Etcheres, J. D., Fuentes, M. H., Govaerts, B., González, F. L., & Herrera, J. M. (2013). Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo. *Terra Latinoamericana*, *31*(1), 71-84.

UNAM. (2017). *Ciclo del carbono*. Portal Académico CCH. https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia2/estructura-procesos-ecosistema/ciclo-carbono

Vaderstad. (2022). *Conceptos básicos sobre el suelo*. Recuperado de https://www.vaderstad.com/cl/know-how/basic-agronomy/soil-basics

Valdes, G.D. (2023).Uso del vermicompost y compost en la recuperación de suelos degradados de pastizales naturales en el peñón, Temascaltepec Estado de México [Tesis para Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México].

Vaz, C. M. P., Bassoi, L. H., & Hopmans, J. W. (2001). Contribution of water content and bulk density to field soil penetration resistance as measured by a combined cone penetrometer-TDR probe. *Soil and Tillage Research*, *60*, 35-42.

Vega, S., & Vinicio, M. (2016). La capa de ozono. *SIDALC*. https://www.sidalc.net/search/Record/oai:revistas.investiga.uned.ac.cr:article1276/Description

Verhulst, N., François, I., & Govaerts, B. (2015). *Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor*. CIMMYT. 19 p.

Warnecke, D. D., & Krauskopf, D. M. (1983). *Greenhouse growth media: Testing and nutrition guidelines* (Extension Bulletin E1736). Cooperative Extension Service, Michigan State University.

Wong, M. T. F., Gibbs, P., Nortcliff, S., & Swift, R. S. (2000). Measurement of the acid neutralizing capacity of agroforestry tree prunings added to tropical soils. *Journal of Agricultural Science*, *134*, 269-276.

YaraFert. (2025). *Suelo franco arenoso: características, beneficios y consejos de jardinería*. YaraFert.com. https://yarafert.com/sandy-loam-soil/

Zhang, L., Gu, L., Ringler P., Smith, S. Rushton, P.J., Shen Q.J.(2015). *Three WRKY transcription factors additively repress abscisic acid and gibberellin signaling in aleurone cells*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/276768654_Zhang_et_al_2015