

Análisis comparativo del porcentaje de materia orgánica y su relación con la textura del suelo en las regiones de Tlaxcala

Gabriel Marquez^{1*} **iD**, José Antonio Hernández² **iD**, Miguel García² **iD**, Marisol Hernández³ **iD**, Blanca López³ **iD**, Edith Paulina Castillo³ **iD**

¹Secretaría de Impulso Agropecuario, Ex-Rancho La Aguanaja S/N, 90600 Apetatitlán, Tlaxcala.

²Secretaría de Impulso Agropecuario, Ex-Rancho La Aguanaja S/N, 90600 Apetatitlán, Tlaxcala.

³Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, sede Cuapixtla, Carr. Cuapixtla Km 2+400, Benito Juárez 8 esq. Universidad Col. Ignacio Allende CP 90566, Cuapixtla, Tlaxcala.

Email de autor para correspondencia: *gabrielmarquezaguilar@hotmail.com

Recibido: 13 octubre 2024. **Aceptado:** 12 enero 2025

RESUMEN

La materia orgánica (MO) en el suelo es fundamental para la salud y productividad de los agroecosistemas, especialmente en el estado de Tlaxcala, México, donde la agricultura es la principal actividad económica. Este estudio analiza el contenido de MO en diversas regiones del estado (Norte, Oriente, Poniente, Centronorte, Centrosur y Sur) a partir de 1158 muestras de suelo, con el fin de evaluar su calidad, estructura y clasificación de fertilidad. Se empleó el método de Walkley y Black para determinar el porcentaje de MO, y los resultados indican que más del 90% de las muestras presentan niveles de MO considerados "muy bajos" y "bajos", lo que sugiere una fuerte correlación con la textura del suelo. Las regiones Norte y Poniente mostraron mayor retención de MO debido a su textura arcillosa, mientras que la región Oriente presentó los valores más bajos, asociados a su alta proporción de arenas. Este estudio resalta la necesidad de implementar enmiendas orgánicas para mejorar el contenido de MO y, por ende, la fertilidad del suelo, contribuyendo así a la sostenibilidad y productividad agrícola en Tlaxcala. Las conclusiones enfatizan la importancia de una gestión adecuada de la MO para mitigar el riesgo de desertificación y promover prácticas agrícolas sostenibles.

Palabras clave: Cultivos; descomposición; fertilidad; regiones; suelo; textura del suelo.

ABSTRACT

Organic matter (OM) in soil is crucial for the health and productivity of agroecosystems, particularly in Tlaxcala, Mexico, where agriculture is the primary economic activity. This study analyzes the OM content across various regions of the state (North, East, West, Central North, Central South, and South) using 1,158 soil samples to assess its quality, structure and fertility classification. The Walkley and Black method was employed to determine the percentage of OM, with results indicating that over 90% of the samples exhibit OM levels classified as "very low" and "low," suggesting a strong correlation with soil texture. The North and West regions demonstrated better OM retention due to their clayey texture, while the East region had the lowest values, associated with a higher proportion of sand. This study highlights the necessity of implementing organic amendments to enhance OM content and, consequently, soil fertility, thus contributing to sustainable agricultural productivity in Tlaxcala. The findings emphasize the importance of proper OM management to mitigate the risk of desertification and promote sustainable agricultural practices.

Keywords: Analysis; crops; decomposition; fertility; regions; soil; soil texture.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) es una mezcla compleja de compuestos orgánicos (restos de vegetales y animales muertos), en diversas etapas de descomposición, sin embargo, en términos más amplios, incluye la biomasa total del suelo, incluida la meso y microfauna. Las plantas y los microorganismos vivos a través de su metabolismo y actividad se encargan de descomponer esta mezcla compleja. A este proceso se le conoce como humificación. La MO descompuesta o humus que se produce en la humificación, es la fracción más importante para la fertilidad del suelo ya que influye directamente en las propiedades hidrofílicas del suelo, la cual, aumenta la capacidad de retención de agua, lo que favorece la calidad del suelo [1-4]. Por otro lado, el carbono (C)

presente en la MO sirve como fuente de alimento para la microbiota del suelo, compuesta por bacterias (10^9 organismos por gramo de suelo), actinomicetos (10^8 organismos por gramo de suelo), hongos (10^7 organismos por gramo de suelo), protozoarios (10^6 organismos por gramo de suelo), algas (10^3 organismos por gramo de suelo) y nematodos (50 organismos por gramo de suelo). Esta microbiota, a su vez, impulsa numerosos procesos bioquímicos en el suelo, entre los cuales destaca la fijación del nitrógeno atmosférico (N_2) y su conversión a formas minerales disponibles, como el amonio (NH_4) y el nitrato (NO_3) [4, 5]. De este modo, el aumento de las reservas de carbono en la MO del suelo mejora su fertilidad, incrementa su capacidad de trabajo, optimiza la retención de



agua y reduce el riesgo de erosión, lo que, a su vez, disminuye la vulnerabilidad de los suelos ante el calentamiento global futuro. Por lo tanto, la MO es esencialmente crítica para mantener las óptimas condiciones del suelo y su contenido se considera un indicador seguro para evaluar la calidad y degradación del suelo [6]. La disminución en el contenido de MO aumenta la susceptibilidad a la degradación y erosión del suelo. Este fenómeno, generalmente provocado por prácticas pobres en el manejo del suelo, impacta negativamente sobre las propiedades del suelo [4, 7, 8].

En los agroecosistemas mediterráneos, uno de los desafíos significativos es la pérdida de MO y el riesgo asociado de desertificación, particularmente cuando el contenido desciende por debajo del umbral crítico del 1.7% [9]. En la tabla 1 se muestra la clasificación de suelos de acuerdo con el contenido de MO.

Tabla 1. Índice de fertilidad de MO en suelos [10].

Clase	MO (%)
Muy bajo	< 0.5
Bajo	0.6 – 1.5
Medio	1.6 – 3.5
Alto	3.6 – 6.0
Muy alto	> 6.0

La fertilidad, la disponibilidad de agua, la susceptibilidad a la erosión, la compactación, e incluso la resistencia de las plantas a los insectos y las enfermedades, depende en gran medida de la MO. Cada tipo de suelo presenta características únicas, desde las tierras negras

ricas en nutrientes hasta los suelos volcánicos que se caracterizan en diferentes regiones [11]. El suelo que actúa como regulador natural del ciclo del agua y como reservorio de C, contribuye a mitigar el cambio climático. Por lo tanto, la salud y conservación del suelo son esenciales para mantener la productividad agrícola a largo plazo para preservar la biodiversidad terrestre. Promover prácticas agrícolas sostenibles y gestionar adecuadamente los recursos naturales, estas acciones en conjunto son fundamentales para proteger este recurso vital y garantizar la seguridad alimentaria y ambiental en el futuro [10, 11, 12]. Por otra parte, otra característica que guarda relación en conjunto con la MO, es la textura del suelo, ya que influye en los procesos biológicos, químicos y físicos del suelo como la retención de agua y el movimiento de los nutrientes, la resistencia a la erosión, la accesibilidad al aire, la penetración de las raíces y el drenaje del suelo [3, 4].

En este artículo se analiza la relación entre la MO y la textura del suelo en el estado de Tlaxcala, considerando las características específicas de las distintas regiones: Norte, Oriente, Poniente, Centronorte, Centrosur y Sur.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de estudio para determinar el contenido de MO de las distintas regiones en el estado de Tlaxcala (Figura 1), comprende 1158 muestras con una superficie de 2519.80 hectáreas. Las

muestras se recolectaron de acuerdo con las solicitudes de productores interesados en análisis de suelos buscando aumentar su producción de acuerdo con un calendario de aplicación en su fertilización. La principal actividad económica en este estado es la agricultura.

El análisis de la MO se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelo y Agua, el cual forma parte de la Secretaría de Impulso Agropecuario del Gobierno del Estado de Tlaxcala, ubicado en el municipio de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros. Sus instalaciones se encuentran en el Centro Nacional de Innovación en Agricultura del Altiplano y Especies Menores.

A lo largo de la historia, la principal actividad económica del estado de Tlaxcala ha sido la agricultura, en especial el cultivo de maíz. Sin embargo, debido al bajo rendimiento y a la mala

calidad de los suelos, las familias campesinas han optado por combinar las actividades agrícolas y ganaderas en pequeña escala, con otras actividades para complementar sus ingresos [14].

Conforme a información publicada de INEGI [13], Tlaxcala es un estado diverso en flora, fauna y climas, donde el 99.2% del territorio presenta principalmente el clima templado subhúmedo siendo favorable para la agricultura de temporal que predomina en la región; así mismo, el 0.6% de la superficie tlaxcalteca presenta clima seco y semiseco, localizado hacia la región este, el restante 0.2% presenta clima frío. La temperatura media anual es de 14 °C en abril y mínima de 1.5 °C, con una precipitación media anual de 720 mm cúbicos [15].

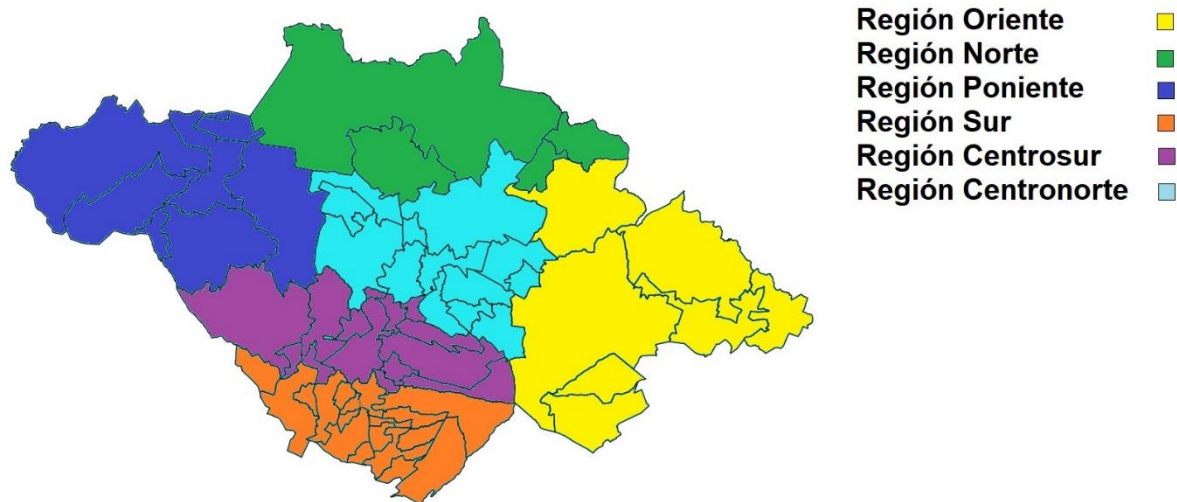


Figura 1. Mapa de Tlaxcala dividido por regiones. Elaboración propia a partir de la información del Marco Geoestadístico Nacional 2017 [13].

Recolección de la muestra

El procedimiento estándar para la recolección de la muestra está basado de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 [16], para cada muestra se realizó un muestreo a una profundidad de 0-30 cm a través del método de zigzag, se tomaron 10 muestras simples en cada punto del zigzag por cada superficie analizada para obtener una muestra compuesta representativa de la superficie de interés. Posteriormente, las muestras de suelo se extendieron sobre papel Kraft a temperatura ambiente a la sombra durante una semana para remover humedad y obtener una muestra seca, después se tamizó por malla 0.5 mm para

obtener un tamaño de partícula homogéneo. Este enfoque asegura la precisión y consistencia en la preparación de las muestras para el análisis posterior.

Textura de suelo

Los porcentajes de la textura del suelo (arcilla, limo y arenas) se obtuvieron utilizando el método de Bouyoucos y la clasificación textural con ayuda del triángulo de texturas de acuerdo con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) [17] (Figura 2).

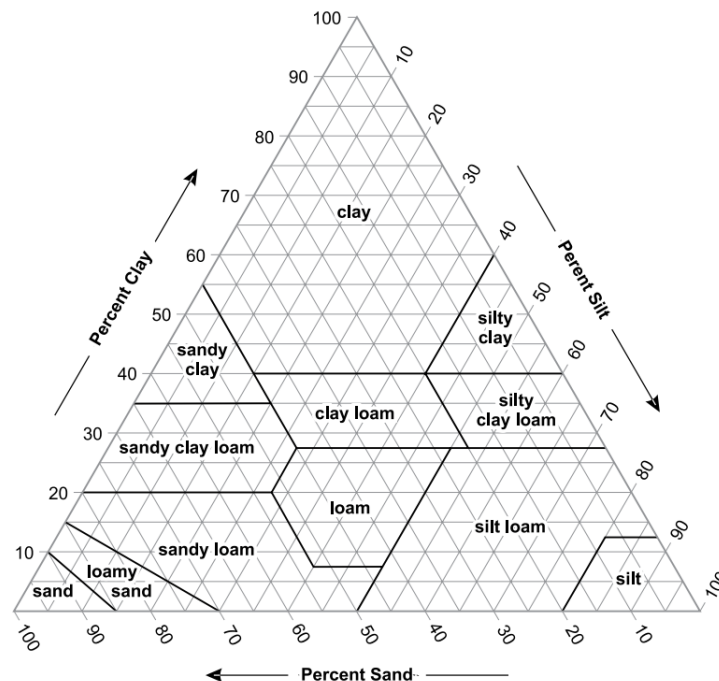


Figura 2. Triángulo textural USDA que muestra los porcentajes de arcilla, limo y arena en las 12 clases de textura básicas [17].

Determinación de materia orgánica

Para determinar el porcentaje de MO se empleó el método de Walkley y Black conforme a la NOM-021-RECNAT-2000 [16]. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico presente en el suelo agrícola mediante una disolución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N y ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4 97%). Posteriormente, se incorporó ácido fosfórico (H_3PO_4 85%) para eliminar las estructuras orgánicas remanentes que no se eliminan durante la reacción exotérmica generada por los reactivos H_2SO_4 y $K_2Cr_2O_7$, se procedió a la titulación con sulfato ferroso heptahidratado ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), previamente con adición de difenilamina como indicador [18]. La interpretación de resultados de MO de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 utiliza los valores obtenidos de MO para clasificar su concentración en los suelos minerales y volcánicos, como se muestra en la tabla 1.

Relación Textura-MO

Para observar el comportamiento e influencia de la textura de los suelos sobre el porcentaje de MO en las seis regiones del estado de Tlaxcala, se graficó los porcentajes de textura de suelo (arcillas, limos y arenas) en función de la MO utilizando el software *Origin*.

Método estadístico

El análisis estadístico se realizó con ayuda del programa *Origin*, utilizando como medida la desviación estándar para observar la variabilidad en el porcentaje de MO de las

muestras de suelo en cada región del estado. En este estudio se omitieron las localidades con $n=1$ y se promedió el porcentaje de MO para aquellas muestras con la misma clase textural y cultivo. Así mismo, únicamente solo se engloban los cultivos de grano más comunes en cada localidad, descartando cultivos perennes. Además, las caracterizaciones de granulometría y MO se realizaron una sola vez.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se analizaron las características texturales y de MO del suelo en las seis regiones del estado de Tlaxcala. Se identificaron variaciones significativas en los contenidos de arena, limo y arcilla. Los resultados obtenidos permiten entender mejor cómo la textura del suelo varía de una región a otra y cómo factores como la MO afecta la estructura y calidad del suelo en cada región. En la figura 3 se presenta el triángulo de texturas de cada región, donde se observan las clases texturales predominantes según la distribución de la población de muestras analizadas. Este gráfico ofrece una representación visual clara de cómo se distribuyen los diferentes tipos de suelo en las seis regiones del estado de Tlaxcala.

Las tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7 muestran el municipio, localidad, el número de muestras analizadas, la superficie estudiada, el cultivo que se siembra en la localidad, la clase textural del suelo, el porcentaje de MO, la desviación estándar y el año del análisis para las regiones Norte, Poniente, Oriente, Centronorte, Centrosur y Sur, respectivamente.

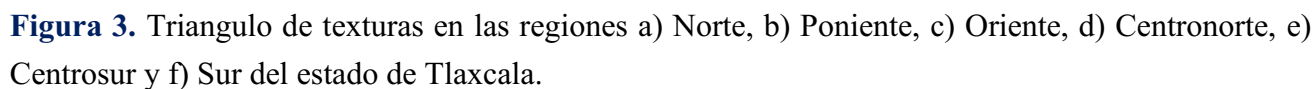


Tabla 2. Porcentaje de MO promedio por localidad y municipio en la región Norte.

Municipio	Localidad	n	Superficie (ha)	Cultivo	Clase textural	% MO	Desviación estandar (%MO)	Año
Tlaxco	Parque El Rey	4	4.00	Cebada	Franco Limoso	3.03	0.29	2023
	Huexotitla	8	24.00	Cebada	Franco Arcillo Arenoso	1.78	0.64	2024
	San Andrés Buenavista	1	2.00	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	1.04	-	2022
	Tlaxco	1	3.00	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	0.52	-	2022
	Tlaxco	1	0.50	Maíz	Franco Arcilloso	1.04	-	2022
	Tlaxco	1	0.75	Cebada	Franco Arcilloso	1.83	-	2022
	Atotonilco	1	2.50	Haba	Franco Arcilloso	1.58	-	2022
	Atotonilco	1	0.75	Haba	Franco Arcillo Arenoso	1.05	-	2022
	Atotonilco	2	1.36	Maíz	Franco	1.82	0.53	2022
	Atotonilco	2	8.38	Cebada	Franco Arcilloso	1.30	1.09	2022
	Atotonilco	1	2.50	Cebada	Franco	1.55	-	2022
	Lagunillas	3	6.00	Cebada	Franco Arcillo Arenoso	1.14	0.15	2022
	Lagunillas	4	8.95	Cebada	Franco	1.45	0.49	2022
	Lagunillas	2	4.00	Cebada	Franco Arcilloso	2.04	0.47	2022
	San Lorenzo Soltepec	1	2.44	Maíz	Franco	2.80	-	2021
	Tlaxco	1	1.00	Haba	Franco	2.80	-	2021
Atlangatepec	La Herradura	1	2.00	Avena	Franco Arcillo Arenoso	1.70	-	2021
	La Herradura	1	3.00	Avena	Franco	1.20	-	2021
	San Pedro Ecatepec	5	13.00	Maíz	Franco	1.64	0.70	2021
Emiliano Zapata	San Pedro Ecatepec	2	3.00	Maíz	Franco Arenoso	0.70	0.45	2021
	San Pedro Ecatepec	1	2.50	Maíz	Franco Limoso	1.02	-	2021
	Gustavo Díaz Ordaz	2	2.00	Maíz	Franco	1.54	0.18	2021
	Gustavo Díaz Ordaz	2	3.50	Maíz	Franco Arcilloso	1.66	0.00	2021
	Gustavo Díaz Ordaz	1	1.25	Avena	Franco Arenoso	0.78	-	2021
Totales:		50	103.38					
%MO= Porcentaje de Materia orgánica								

Tabla 3. Porcentaje de MO promedio por localidad y municipio en la región Poniente.

Municipio	Localidad	n	Superficie (ha)	Cultivo	Clase textural	% MO	Desviación estandar (%MO)	Año
Calpulalpan	San Felipe Sultepec	2	2.00	Cebada	Franco	0.75	0.07	2021
	Santiago Cuauila	5	10.00	Cebada	Franco	1.30	0.41	2021
	Santiago Cuauila	1	2.00	Cebada	Franco Arcillo Arenoso	0.80	-	2021
	Santiago Cuauila	1	1.00	Avena	Franco	5.00	-	2021
	Santiago Cuauila	2	4.00	Cebada	Franco Arcilloso	1.85	0.21	2021
	Santiago Cuauila	5	6.00	Maíz	Franco	1.56	0.82	2021
	Santiago Cuauila	1	1.00	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	1.70	-	2021
	Calpulalpan	2	2.00	Cebada	Franco Arenoso	1.15	0.18	2021
	Calpulalpan	3	21.76	Cebada	Franco Arcillo Arenoso	1.17	0.13	2022
	San Antonio	1	8.09	Trigo	Franco Arcillo Arenoso	1.36	-	2022
	San Antonio	4	23.15	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	0.77	0.46	2022
	San Antonio	1	7.87	Cebada	Franco	1.36	-	2022
	San Antonio	1	7.26	Maíz	Franco	1.19	-	2022
Nanacamilpa de Mariano Arista	Franciso I. Madero	2	7.00	Maíz	Franco	1.17	0.09	2023
	Franciso I. Madero	1	3.00	Trigo	Franco	0.78	-	2022
	Domingo Arenas	4	4.50	Maíz	Franco	1.51	0.44	2021
	Domingo Arenas	1	1.00	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	1.90	-	2021
	Domingo Arenas	1	2.00	Maíz	Franco Arcilloso	2.60	-	2021
	Nanacamilpa	2	2.00	Maíz	Franco	2.10	0.28	2021
	Nanacamilpa	2	4.00	Trigo	Franco	1.80	0.00	2021
Sanctórum de Lázaro Cárdenas	Francisco Villa	35	97.83	Maíz	Franco Arenoso	1.42	0.27	2023
	Francisco Villa	2	1.03	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	1.99	0.87	2023
	Francisco Villa	1	3.00	Maíz	Franco Arcilloso	2.61	-	2023
Hueyotlipan	San Simeón Xipetzinco	2	2.00	Maíz	Franco	1.00	0.28	2021
	San Simeón Xipetzinco	1	1.00	Maíz	Franco Arcilloso	0.70	-	2021
	San Simeón Xipetzinco	2	2.50	Trigo	Franco Arcillo Arenoso	1.50	0.28	2021
	Adolfo López Mateos	8	16.21	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	1.82	0.50	2024
	Adolfo López Mateos	4	8.43	Maíz	Franco Arcilloso	2.19	0.63	2024
	Adolfo López Mateos	2	2.00	Maíz	Franco	2.47	0.63	2024
Totales:		99	253.63					
% MO= Porcentaje de materia orgánica								

Tabla 4a. Porcentaje de MO promedio por localidad y municipio en la región Oriente.

Municipio	Localidad	n	Superficie (ha)	Cultivo	Clase textural	% MO	Desviación estandar (%MO)	Año
Huamantla	Ignacio Zaragoza	53	164.05	Maíz	Arenoso Franco	0.63	0.37	2024
	Ignacio Zaragoza	80	195.63	Maíz	Franco Arenoso	0.70	0.33	2024
	Lazaro Cardenas	1	3.00	Maíz	Franco Arenoso	0.64	0.64	2023
	Benito Juarez	4	4.00	Maíz	Franco Arenoso	0.59	0.12	2023
	Benito Juarez	3	3.00	Maíz	Arenoso Franco	0.70	0.40	2023
	Francisco Villa	3	2.50	Maíz	Franco Arenoso	1.11	0.37	2023
	Mauro Angulo	5	8.09	Míz	Franco Arenoso	1.48	0.17	2023
	Mauro Angulo	3	5.69	Maíz	Arenoso Franco	1.04	0.49	2023
	Huamantla	16	16.00	Maíz	Franco Arenoso	1.05	0.42	2023
	Huamantla	4	4.00	Maíz	Arenoso Franco	1.14	0.50	2023
	Huamantla	1	1.00	Maíz	Franco	1.44	1.44	2023
	Xalpatlahuaya	4	11.50	Maíz	Franco	0.36	0.22	2022
	Xalpatlahuaya	43	93.46	Maíz	Franco Arenoso	0.55	0.32	2022
	Xalpatlahuaya	14	57.90	Trigo	Franco Arenoso	0.56	0.32	2022
	Xalpatlahuaya	2	3.39	Trigo	Arenoso Franco	0.43	0.31	2022
	Xalpatlahuaya	4	5.50	Maíz	Arenoso Franco	0.46	0.35	2022
	Xalpatlahuaya	1	3.50	Cebada	Franco Arenoso	0.31	0.15	2022
	Chapultepec	3	9.50	Maíz	Arenoso Franco	0.31	0.15	2022
	Col.Cuauhtemoc	1	7.23	Maíz	Franco Arenoso	1.03	1.03	2022
	Gral Fco Villa	8	6.41	Maíz	Franco Arenoso	0.99	0.59	2022
	Francisco Villa Tecocac	1	1.04	Maíz	Franco Arenoso	0.30	0.30	2021
	Colonia Cuauhtemoc	1	0.50	Maíz	Franco Limoso	1.20	1.20	2021
	San Francisco Tecocac (Colonia)	1	1.00	Maíz	Franco Limoso	1.80	1.80	2021
	San Francisco Tecocac (Colonia)	2	2.00	Maiz	Franco	1.50	0.20	2021
	San Martin Notario	1	1.00	Maíz	Arenoso Franco	1.50	1.50	2021
	San Luis	2	5.75	Maíz	Arenoso Franco	0.50	0.10	2021
	Santa Anita	1	3.00	Maíz	Franco Arenoso	0.30	0.30	2021
	San Jose Xicohtencatl	2	1.00	Avena	Arenoso Franco	1.40	1.18	2021
	San Jose Xicohtencatl	1	1.00	Frijol	Arenoso Franco	0.30	0.30	2021
	San Jose Xicohtencatl	1	1.00	Maiz	Franco Arenoso	0.60	0.60	2021
	San Jose Xicohtencatl	2	1.00	Frijol	Arenoso Franco	0.80	0.21	2021
Terrenate	Los Ameles	3	6.22	Maíz	Franco	1.12	0.14	2023
	Los Ameles	15	38.15	Maíz	Franco Arenoso	1.28	0.40	2023
	Los Ameles	3	16.68	Haba	Franco Arenoso	1.52	0.14	2023
	Los Ameles	3	6.82	Avena	Franco Arenoso	0.88	0.14	2023
	Los Ameles	2	14.00	Frijol	Franco Arenoso	1.92	-	2023
	Los Ameles	1	4.50	Haba	Franco	1.92	1.92	2023
	Nicolas Bravo	69	207.86	Maíz	Franco Arenoso	0.57	0.38	2022
	Nicolas Bravo	23	87.00	Maíz	Arenoso Franco	0.65	0.40	2022
	Nicolas Bravo	1	1.00	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	0.40	0.40	2022
	Nicolas Bravo	3	11.00	Trigo	Arenoso Franco	0.78	0.00	2022
	Nicolas Bravo	7	27.50	Trigo	Franco Arenoso	0.77	0.56	2022
	Nicolas Bravo	2	7.00	Frijol	Franco Arenoso	0.84	0.27	2022
	Nicolas Bravo	1	8.00	Frijol	Arenoso Franco	0.38	0.38	2022
	Nicolas Bravo	2	7.00	Cebada	Franco Arenoso	0.72	0.11	2022
	Nicolas Bravo	1	10.00	Avena	Franco Arenoso	0.39	0.39	2022
	Guadalupe Victoria	8	20.19	Maíz	Franco Arenoso	0.87	0.37	2022
	Guadalupe Victoria	4	28.60	Cebada	Franco Arenoso	0.88	0.26	2022
	Guadalupe Victoria	2	9.00	Frijol	Franco Arenoso	0.54	0.38	2022
	Guadalupe Victoria	1	9.00	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	0.41	0.41	2022
	San Nicolas	1	5.00	Maíz	Franco Arenoso	1.04	1.04	2022
San Nicolas	1	3.00	Avena	Franco Arenoso	0.91	0.91	2022	
Totales:		421	1151.16					
% MO= Porcentaje de materia orgánica								

Tabla 4b. Porcentaje de MO promedio por localidad y municipio en la región Oriente.

Municipio	Localidad	n	Superficie (ha)	Cultivo	Clase textural	% MO	Desviación estandar (%MO)	Año
Atltzayanca	Sn Juan Ocotitla	22	55.16	Maíz	Franco Arenoso	1.01	0.49	2023
	Sn Juan Ocotitla	4	6.32	Avena	Franco Arenoso	1.76	0.40	2023
	Sn Juan Ocotitla	1	3.00	Frijol	Franco Arenoso	0.64	0.64	2023
	Sn Juan Ocotitla	1	1.50	Haba	Franco Arenoso	1.28	1.28	2023
	Felipe Carrillo Puerto	2	2.00	Maíz	Arenoso Franco	0.97	0.28	2023
	Felipe Carrillo Puerto	2	2.00	Maíz	Franco Arenoso	1.17	0.83	2023
	Lazaro Cárdenas	32	32.00	Maíz	Franco Arenoso	1.34	1.21	2023
	Lazaro Cárdenas	1	1.00	Maíz	Arenoso Franco	0.42	0.42	2023
	Loma De Junguito	1	1.00	Maíz	Arenoso Franco	1.44	1.44	2022
	Loma De Junguito	1	1.00	Calabaza	Arenoso Franco	1.44	1.44	2022
	Nexnopala	3	5.80	Maíz	Arenoso Franco	0.81	0.20	2022
	Nexnopala	1	1.00	Maíz	Franco Arenoso	0.63	0.63	2022
	Nexnopala	1	2.00	Maíz	Arenoso	0.25	0.25	2022
	Bar.Santiago	1	1.00	Maíz	Franco Arenoso	0.89	0.89	2022
	Sn Jose Pilancon	2	5.00	Maíz	Franco Arenoso	0.52	-	2022
	Sn Jose Pilancon	3	5.00	Maíz	Arenoso Franco	0.57	0.08	2022
	Santa Cruz Pocitos	2	4.00	Maíz	Arenoso Franco	0.86	0.28	2022
	Nexnopala	1	0.30	Maíz	Franco	0.70	0.70	2021
	Santa Cruz Pocitos	1	2.00	Maíz	Arenoso Franco	1.90	1.90	2021
	Santa Cruz Pocitos	1	1.00	Calabaza	Franco Arenoso	0.90	0.90	2021
	Nexnopala	1	0.15	Frijol	Arenoso Franco	0.40	0.40	2021
	Nexnopala	1	0.25	Frijol	Franco Arenoso	2.00	2.00	2021
	Nexnopala	1	1.00	Calabaza	Arenoso Franco	0.30	0.30	2021
Cuapiaxtla	Jose Maria Morelos	2	1.98	Maíz	Arenoso Franco	0.56	0.16	2024
	Jose Maria Morelos	46	75.97	Maíz	Franco Arenoso	0.83	0.31	2023
	Jose Maria Morelos	46	56.17	Maíz	Arenoso Franco	0.69	0.31	2023
	Col El Valle	2	3.31	Maíz	Arenoso Franco	0.65	0.18	2022
	Cuapiaxtla	1	0.48	Maíz	Franco Arenoso	0.91	0.91	2022
	San Lorenzo	2	2.00	Maíz	Arenoso Franco	0.52	0.18	2022
	San Lorenzo	1	1.00	Maíz	Franco Arenoso	0.78	0.78	2022
El Carmen Tequexquitla	La Soledad	1	1.00	Maíz	Arenoso Franco	0.90	0.90	2024
	La Soledad	2	3.00	Maíz	Franco Arenoso	0.78	0.16	2024
	La Soledad	51	143.22	Maíz	Franco Arenoso	1.21	0.51	2023
	La Soledad	24	98.47	Maíz	Arenoso Franco	1.08	0.49	2023
	La Soledad	1	1.66	Maíz	Arenoso	0.43	0.43	2023
	San Antonio	4	4.00	Maíz	Franco	0.55	0.22	2022
	San Antonio	1	1.00	Maíz	Franco Arcilloso	1.42	1.42	2022
	San Antonio	1	1.00	Maíz	Franco Arenoso	0.39	0.39	2022
	El Carmen	1	2.50	Maíz	Franco Arenoso	0.52	0.52	2022
	Vicente Guerrero	8	11.00	Maíz	Arenoso Franco	0.49	0.29	2022
	Vicente Guerrero	9	9.75	Maíz	Arenoso	0.54	0.55	2022
	Vicente Guerrero	2	2.00	Maíz	Franco Arenoso	1.36	0.48	2022
Totales:		291	552.99					
% MO= Porcentaje de materia orgánica								

Tabla 5a. Porcentaje de MO promedio por localidad y municipio en la región Centronorte.

Municipio	Localidad	n	Superficie (ha)	Cultivo	Clase textural	% MO	Desviación estandar (%MO)	Año
Apizaco	Jose Maria Morelos	3	4.75	Maiz	Franco Arcillo Arenoso	0.90	0.48	2021
	Jose Maria Morelos	3	4.80	Trigo	Franco Arcillo Arenoso	1.00	0.31	2021
	Jose Maria Morelos	2	2.00	Maiz	Franco Arenoso	1.90	0.38	2021
	Jose Maria Morelos	1	3.50	Trigo	Franco Arenoso	1.40	-	2021
	Jose Maria Morelos	3	3.50	Maiz	Franco	0.80	0.14	2021
	Jose Maria Morelos	1	2.00	Trigo	Franco Arcilloso	1.10	-	2021
	Texcalac	1	0.50	Maiz	Franco Arenoso	1.10	-	2021
	Texcalac	1	2.00	Maiz	Franco Arcillo Arenoso	1.10	-	2021
	Sta Anita Huiloac	1	0.90	Maiz	Franco Arenoso	1.28	-	2023
San Lucas Tecopilco	San Lucas Tecopilco	1	0.25	Maiz	Franco Arcilloso	0.7	-	2021
	San Lucas Tecopilco	1	0.75	Maiz	Franco	1.08	-	2021
	San Lucas	1	2.00	Trigo	Franco Arcilloso	1.57	-	2022
Muños Domingo Arenas	Guadalupe Cuauhtemoc	5	31.00	Trigo	Franco	2.00	0.86	2021
	Guadalupe Cuauhtemoc	1	8.00	Maiz	Franco Arcillo Arenoso	1.12	-	2021
	Guadalupe Cuauhtemoc	1	8.00	Maiz	Franco Arenoso	1.0	-	2021
	Guadalupe Cuauhtemoc	1	4.00	Trigo	Franco Arcillo Arenoso	1.40	-	2021
	Muñoz	1	2.30	Trigo	Franco	0.3	-	2021
	Muñoz	1	4.00	Maiz	Franco	0.8	-	2021
Tetla de La Solidaridad	San Bartolome Matlalohcan	1	2.00	Maiz	Franco Arenoso	0.84	-	2021
	Jose Maria Morelos Y Pavon	1	1.00	Maiz	Franco Arenoso	1.26	-	2021
	Capulac	7	12.69	Maiz	Franco	1.80	0.66	2022
	Capulac	11	19.32	Maiz	Franco Arcillo Arenoso	2.10	0.72	2022
	Capulac	11	16.04	Maiz	Franco Arenoso	1.61	0.51	2022
	Capulac	1	2.00	Maiz	Franco Arcilloso	3.05	-	2022
	Capulac	7	17.83	Cebada	Franco Arcillo Arenoso	1.73	0.78	2022
	Capulac	3	5.30	Cebada	Franco Arenoso	1.60	1.10	2022
	Capulac	3	5.45	Cebada	Franco	1.69	0.33	2022
	Capulac	2	2.77	Avena	Franco	2.24	0.11	2022
	Capulac	1	2.00	Avena	Franco Arcillo Arenoso	1.54	-	2022
	Capulac	1	1.00	Haba	Franco Arcillo Arenoso	0.77	-	2022
	Capulac	1	0.75	Trigo	Franco Arcillo Arenoso	2.52	-	2022
	Tetla	1	1.00	Maiz	Franco Arenoso	0.39	-	2022
	Xaltocan	La Ascencion Huitzcolotepec	1	1.00	Maiz	Franco Arenoso	0.55	-
La Ascencion Huitzcolotepec		1	1.00	Maiz	Franco Arcillo Arenoso	0.27	-	2021
La Ascención		2	1.75	Maiz	Franco Arenoso	1.40	0.18	2022
Tlatlahuquitepec		2	2.25	Maiz	Franco Arcilloso	0.40	0.02	2022
Tlatlahuquitepec		2	2.50	Maiz	Franco Arenoso	0.63	0.30	2022
Tlatlahuquitepec		4	3.25	Maiz	Franco Arcillo Arenoso	0.84	0.16	2022
Tlatlahuquitepec		2	0.50	Trigo	Franco Arcilloso	0.77	0.63	2022
Yauhquemehcan	Sn Dionisio	1	2.75	Maiz	Franco Arcillo Arenoso	1.05	-	2022
Totales:		95	188.40					
% MO= Porcentaje de materia orgánica								

Tabla 5b. Porcentaje de MO promedio por localidad y municipio en la región Centronorte.

Municipio	Localidad	n	Superficie (ha)	Cultivo	Clase textural	% MO	Desviación estándar (%MO)	Año
Xaloztoc	San Pedro	1	2.00	Maiz	Franco Arenoso	0.91	-	2021
	San Cosme	4	8.00	Maiz	Franco Arenoso	0.78	0.28	2021
	San Cosme	1	2.00	Maiz	Arenoso Franco	0.52	-	2021
	Col Velazco	1	1.00	Maiz	Franco Arenoso	0.65	-	2021
	Velazco	1	1.00	Maiz	Arenoso Franco	0.65	-	2022
	Sn Pedro Tlacotepec	1	2.50	Maiz	Franco Arenoso	0.26	-	2022
	Zacatzontetla	1	2.47	Maiz	Arenoso Franco	1.04	-	2022
	Zacatzontetla	1	2.50	Maiz	Franco Arenoso	1.04	-	2022
	Zacatzontetla	1	2.50	Trigo	Franco Arenoso	0.65	-	2022
	Lopez Portillo	1	2.00	Maiz	Franco Arenoso	1.19	-	2022
	San Cosme	1	1.50	Maiz	Franco Arenoso	0.26	-	2022
	San Cosme	1	2.00	Maiz	Arenoso Franco	1.15	-	2023
	Santa Martha	3	6.74	Maiz	Arenoso Franco	0.88	0.55	2023
	Santa Martha	4	6.08	Maiz	Franco Arenoso	1.68	0.44	2023
	Santa Martha	2	5.00	Trigo	Franco Arenoso	1.80	0.17	2023
	Texmolac	1	0.50	Cebada	Franco Arcillo Arenoso	2.91	-	2023
	Texmolac	1	0.50	Cebada	Franco Arenoso	1.34	-	2023
Tzompantepec	Sn Juan Quetzalcuapan	2	5.00	Maiz	Franco Arenoso	0.90	0.18	2023
	Sn Andres Ahuahuatepec	1	2.00	Maiz	Franco Arenoso	1.79	-	2023
Tocatlán	Sta Maria	1	3.00	Maiz	Franco Arenoso	1.73	-	2023
	Sta Maria	6	9.43	Cebada	Franco Arenoso	1.57	0.25	2023
Cuaxomulco	Zacamolpa	2	1.50	Maiz	Franco Arenoso	1.04	0.29	2021
	Primera Sec	2	1.75	Maiz	Franco Arenoso	0.27	0.19	2021
	Coxtla	18	30.60	Maiz	Franco Arenoso	1.05	0.49	2023
	Coxtla	1	15.00	Cebada	Franco Arenoso	0.93	-	2023
	San Antonio	1	2.00	Maiz	Franco Arenoso	0.64	-	2023
San José Teacalco	San José Teacalco	3	4.33	Maiz	Franco Arenoso	1.73	0.41	2022
	San José Teacalco	13	37.35	Maiz	Franco Arenoso	1.75	0.70	2023
	San José Teacalco	6	11.75	Maiz	Arenoso Franco	1.34	0.66	2023
	San José Teacalco	1	3.50	Cebada	Arenoso Franco	0.13	-	2023
	San José Teacalco	1	3.00	Trigo	Arenoso Franco	1.92	-	2023
	San José Teacalco	1	3.50	Cebada	Franco Arenoso	0.77	-	2023
Totales:		85	182.00					
% MO= Porcentaie de materia orgánica								

Tabla 6. Porcentaje de MO promedio por localidad y municipio en la región Centrosur.

Municipio	Localidad	n	Superficie (ha)	Cultivo	Clase textural	% MO	Desviación estandar (%MO)	Año
Tlaxcala	Atlahapa	1	0.30	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	2.00	-	2021
	Atlahapa	1	0.25	Maíz	Franco Arenoso	1.00	-	2021
	Santa María Acuitlapilco	1	1.50	Maíz	Franco	0.51	-	2022
	Santa María Acuitlapilco	4	1.45	Maíz	Franco Arenoso	0.52	0.38	2022
	Santa María Acuitlapilco	1	0.50	Frijol	Franco Arcillo Arenoso	0.42	-	2022
	Santa María Acuitlapilco	1	1.50	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	0.28	-	2022
	San Diego Metepec	1	1.00	Maíz	Franco Arcilloso	0.66	-	2023
Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	Cerro Gordo	5	5.00	Maíz	Franco Arenoso	0.58	0.37	2022
	San Diego Xocoyucan	1	0.50	Frijol	Franco Limoso	2.61	-	2023
	San Marcos Jilotepec	2	2.00	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	0.91	0.00	2023
	San Marcos Jilotepec	2	2.00	Trigo	Franco Arcillo Arenoso	0.78	0.37	2023
	San Marcos Jilotepec	1	1.00	Maíz	Franco Arenoso	1.17	-	2023
	San Marcos Jilotepec	1	1.00	Trigo	Franco Arenoso	1.04	-	2023
	Santa Cruz Tlaxcala	Tlacoachcalco	1	1.00	Frijol	Franco Arenoso	1.17	-
Tlacoachcalco		6	7.85	Avena	Arenoso Franco	1.51	0.49	2023
Tlacoachcalco		11	9.11	Maíz	Arenoso Franco	1.25	0.49	2023
Tlacoachcalco		1	0.25	Frijol	Arenoso Franco	2.48	-	2023
Guadalupe Tlachco		6	4.61	Maíz	Arenoso Franco	1.42	0.68	2023
Contla de Juan Cuamatzi	San Felipe Cuauhtenco	1	0.75	Maíz	Arenoso Franco	2.87	-	2023
	San Felipe Cuauhtenco	1	1.00	Trigo	Arenoso Franco	2.35	-	2023
	San Felipe Cuauhtenco	1	1.75	Maíz	Franco Arenoso	3.92	-	2023
Totales:		50	44.32					
% MO= Porcentaje de materia orgánica								

Tabla 7. Porcentaje de MO promedio por localidad y municipio en la región Sur.

Municipio	Localidad	n	Superficie (ha)	Cultivo	Clase textural	% MO	Desviación estandar (%MO)	Año
San Pablo Del Monte	San Pablo Del Monte	4	3.50	Maíz	Franco Arenoso	1.22	0.58	2023
Tepetitla de Lardizábal	Tepetitla	1	6.00	Maíz	Franco Arenoso	1.02	1.02	2021
	Tepetitla	1	0.21	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	1.20	1.20	2021
	Villa Alta	1	1.00	Alfalfa	Franco Arcillo Arenoso	1.00	1.00	2021
	Villa Alta	1	1.00	Maíz	Franco Arenoso	1.80	1.80	2021
Nativitas	San Rafael Tenanyecac	3	2.12	Maíz	Franco Arenoso	0.88	0.18	2024
	Santiago Michac	1	0.50	Alfalfa	Franco	4.25	4.25	2024
Tetlatlahuca	Santa Isabel	1	0.50	Maíz	Franco Arenoso	0.39	0.39	2022
San Lorenzo Axocomanitla	San Lorenzo	2	0.48	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	1.13	0.84	2023
	San Lorenzo	8	3.00	Maíz	Franco Arenoso	0.97	0.82	2023
	San Lorenzo	5	1.93	Maíz	Franco	1.73	0.70	2023
	San Lorenzo	3	1.23	Maíz	Franco Limoso	0.98	1.35	2023
	San Lorenzo	4	1.61	Maíz	Arenoso Franco	0.37	0.23	2023
	San Lorenzo	2	2.25	Maíz	Franco Arcilloso	0.96	0.02	2023
	San Lorenzo	1	0.54	Maíz	Franco Areno Arcilloso	2.53	2.53	2023
Tepeyanco	San Francisco	3	0.80	Maíz	Franco Arenoso	1.84	0.91	2023
	San Francisco	1	0.75	Frijol	Franco Arenoso	2.16	2.16	2023
	San Francisco	1	0.50	Maíz	Arenoso Franco	0.96	0.96	2023
	Atlamaxac	1	0.50	Maíz	Franco Arenoso	1.92	1.92	2023
Santa Catarina Ayometla	Tlapayatlá	1	2.00	Maíz	Franco Arenoso	1.44	1.44	2022
	Tlapayatlá	1	0.50	Maíz	Arenoso Franco	1.29	1.29	2022
	Ayometla	1	0.10	Maíz	Franco Arenoso	0.76	0.76	2022
Xicohtzinco	Sto Toribio	2	0.23	Frijol	Arenoso Franco	0.97	0.09	2022
	Sto Toribio	2	0.75	Maíz	Arenoso Franco	0.84	0.10	2022
	Sto Toribio	3	1.40	Maíz	Arcilla	1.47	0.72	2022
	Sto Toribio	2	0.75	Maíz	Franco Arcillo Arenoso	1.88	0.26	2022
	Sto Toribio	2	0.53	Maíz	Franco Arenoso	0.97	0.82	2022
	Sto Toribio	1	0.50	Maíz	Franco Arcilloso	2.59	2.59	2022
	Sto Toribio	1	0.50	Maíz	Franco	0.38	0.38	2022
Mazatecochco de José María Morelos	San Cosme	6	5.25	Maíz	Franco Arenoso	0.45	0.18	2022
Teolochoico	San Luis	1	3.00	Maíz	Franco Arenoso	0.13	0.13	2023
Totales:		67	43.92					
% MO= Porcentaje de materia orgánica								

En la tabla 8, se detallan las clases texturales obtenidas a partir del triángulo de texturas con su porcentaje representativo en cada región. En esta tabla, se destaca con color negro la clase textural que predomina en mayor medida en cada zona, proporcionando una visión cuantitativa y clara de la distribución de las texturas en el estado. Es importante señalar que,

aunque algunas regiones muestran una mayor variabilidad en los tipos de suelo, ciertas clases texturales predominan en determinadas regiones. En la región Norte predomina el suelo franco; en las regiones Poniente, Oriente, Centronorte y Sur predominan los suelos franco arenosos; y en la región Centrosur, el suelo arenoso franco.

Por otra parte, en la tabla 9 se observan las clases texturales franco-arenosos y arenoso-franco de los suelos, con distintos porcentajes en la textura del suelo que se encuentran en la literatura. Estos suelos presentan un contenido de arena superior al 50%, lo que es característico de estas clases texturales, debido a su bajo contenido de arcilla y limo, y su elevado contenido en arena. Cinco regiones del estado de Tlaxcala presentan este tipo de suelos.

De acuerdo con la tabla 8, en las regiones Norte y Poniente, predominan en mayor cantidad las clases texturales de suelos francos, franco arcillo arenosos y franco arenosos. En la tabla 9 se observan las clases texturales de suelos francos, franco arcillo arenosos y franco arenosos estudiados por diferentes autores, se observa que el porcentaje en la textura del suelo en estas clases texturales se encuentra dentro de los rangos en la distribución de arcillas y limos en un rango de 12-38.13% y de arena de 38-66.23%. De estas clases texturales, el suelo franco es muy común en las regiones Norte y Poniente, pero poco frecuente en las demás. Por otro lado, el suelo franco arcillo arenoso es común en las regiones Norte y Poniente, mientras que en las demás regiones no es tan común. Finalmente, el suelo franco-arenoso es poco común en la región Norte, pero es muy común en las regiones restantes.

En la figura 4 se observa la relación del porcentaje de MO y los porcentajes de textura del suelo, donde se muestra la distribución espacial de arcillas, limos y arenas de rojo, azul y negro, respectivamente. Se observa que en las regiones Oriente, Centronorte, Centrosur y Sur

hay una distribución similar de arcillas y limos. En estas zonas, la distribución de las arenas predomina en mayor porcentaje, ya que se encuentran en un rango de la textura del suelo que varía entre el 40% y el 90%. Esto confirma las clases texturales con mayor predominancia, de acuerdo con lo indicado en la tabla 10.

En cuanto al porcentaje de MO en estas regiones, la mayor densidad de datos se encuentra en un rango de valores cercanos a 0-3.5% de MO aproximadamente, siendo menor para la región Oriente de 0-2%, debido a un porcentaje mayor de arenas en su textura del suelo. El bajo contenido de MO en esta región se debe a la interacción de la textura del suelo con la MO, los suelos arcillosos tienden a retener más MO que los suelos arenosos, a pesar de ser tratados con la misma cantidad y tipo de enmienda orgánica para incrementar el nivel en el porcentaje de MO [26].

Por otro lado, en las regiones Norte y Poniente, la densidad de datos para el porcentaje de MO se encuentra en un rango de 0.5-3.5% y de 0.5-3%, respectivamente. En estas regiones al tener un porcentaje más homogéneo entre arcillas, limos y arenas en la textura del suelo beneficia la interacción con la MO. No obstante, de acuerdo con la literatura, otras condiciones edáficas que llegan a afectar la capacidad de almacenamiento en la MO del suelo, además del tipo de textura del suelo, son las interacciones de la temperatura y humedad en la productividad de la planta, la capacidad de los componentes minerales del suelo, tipo de vegetación y manejo del suelo y clima [27].

Tabla 8. Suelos más comunes por regiones en el estado de Tlaxcala.

Región	No.	Clase textural de acuerdo con USDA	%
Norte	4	Franco arenoso	08.0
	17	Franco	34.0
	5	Franco limoso	10.0
	9	Franco arcilloso	18.0
	15	Franco arcillo arenoso	30.0
Total	50		
Poniente	37	Franco arenoso	37.4
	30	Franco	30.3
	23	Franco arcillo arenoso	23.2
	9	Franco arcilloso	09.1
Total	99		
Oriente	11	Arenoso	01.5
	472	Franco arenoso	66.3
	208	Arenoso franco	29.2
	16	Franco	02.2
	2	Franco limoso	00.3
	2	Franco arcillo arenoso	00.3
	1	Franco arcilloso	00.1
Total	712		
Centronorte	16	Arenoso franco	08.9
	96	Franco arenoso	53.3
	23	Franco	12.8
	8	Franco arcilloso	04.4
	37	Franco arcillo arenoso	20.6
Total	180		
Centrosur	26	Arenoso franco	52.0
	14	Franco arenoso	28.0
	1	Franco	02.0
	1	Franco limoso	02.0
	7	Franco arcillo arenoso	14.0
	1	Franco arcilloso	02.0
Total	50		
Sur	10	Arenoso franco	14.9
	34	Franco arenoso	50.7
	7	Franco	10.4
	6	Franco arcillo arenoso	09.0
	3	Franco arcilloso	04.5
	1	Franco arcillo limoso	01.5
	3	Franco limoso	04.5
	3	Arcilla	04.5
Total	67		

Tabla 9. Textura de suelo (arcilla, limo y arenas) de las clases texturales franco, franco arcillo arenoso y franco arenoso con distintos porcentajes en la textura del suelo [19-22].

Autor	Clase textural	Arcilla %	Limo %	Arena %
Barman & Choudhury, 2020	Franco	23.81	38.13	38
Guo <i>et al.</i> , 2022	Franco	25.42	36.7	37.88
Barman & Choudhury, 2020	Franco arcillo arenoso	26.19	12.58	61.52
Riaz <i>et al.</i> , 2018	Franco arcillo arenoso	23.43	12.88	63.65
Antúñez <i>et al.</i> , 2015	Franco arenoso	15.63	18.13	66.23
Antúñez <i>et al.</i> , 2015	Franco arenoso	12	32	56

Tabla 10. Textura de suelo (arcilla, limo y arenas) de las clases texturales franco-arenoso y arenoso franco con distintos porcentajes en la textura del suelo [22-25].

Autor	Clase textural	Arcilla %	Limo %	Arena %
Antúñez <i>et al.</i> , 2015	Franco arenoso	15.63	18.13	66.23
Fernández <i>et al.</i> , 2021	Franco arenoso	12	32	56
Rojas <i>et al.</i> , 2020	Arenoso franco	5	15	80
Colonia <i>et al.</i> , 2018	Arenoso franco	12.52	15.02	72.46

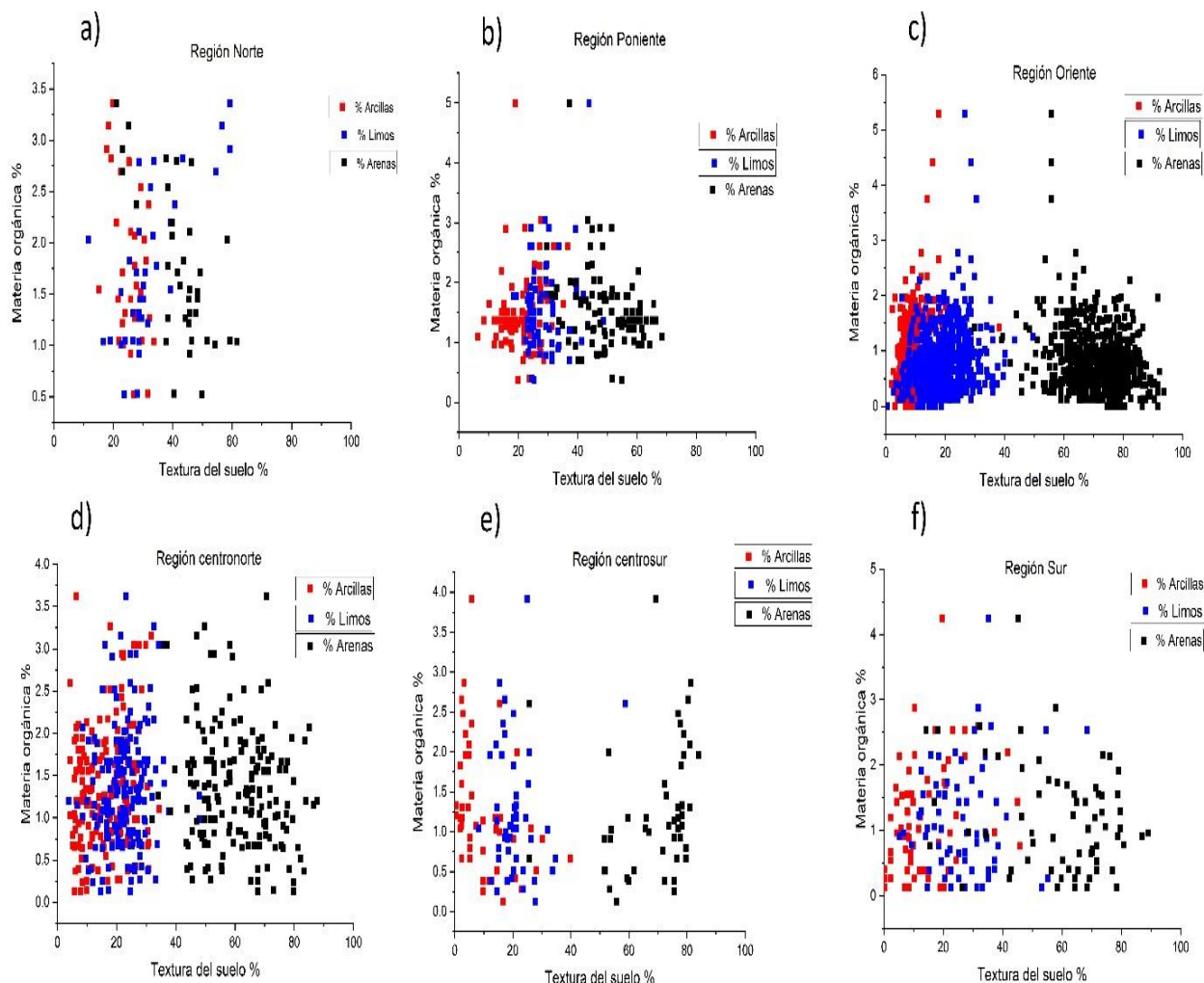


Figura 4. Relación de la MO y la textura del suelo en las regiones a) Norte, b) Poniente, c) Oriente, d) Centronorte, e) Centrosur y f) Sur, de Tlaxcala.

Para visualizar la distribución espacial de las muestras analizadas y observar su variabilidad en el porcentaje de MO, se utilizó como referencia la desviación estándar para observar la variabilidad del conjunto de datos de muestras analizadas. Para ello, en la figura 5, se muestra la relación en el porcentaje de MO y las regiones del estado de Tlaxcala. Cada punto representa una muestra de acuerdo con su región, aquellas muestras fuera de los bigotes

representan la variabilidad respecto a determinada región, se observa que las regiones con mayor variabilidad son las regiones Norte, Poniente, Centrosur y Sur donde el porcentaje de MO está por encima del 3%. No obstante, se observa que las regiones Oriente, Poniente, Centronorte no presentan variabilidad concentrándose la mayoría de los datos en la zona dentro de las cajas y bigotes.

En la figura 6, se observa la relación del

porcentaje de MO promedio respecto con cada región del estado de Tlaxcala, se observa que las regiones Norte y Poniente tienen un valor similar en el porcentaje de MO promedio con valores aproximados a 1.6%. Por otro lado, las regiones Centronorte, Centrosur y Sur siguen una tendencia similar con valores aproximados

en un rango entre 1.2-1.4% en el porcentaje de MO promedio. En última instancia, se observa que la región con menor porcentaje de MO promedio es la región Oriente debido a su alto porcentaje de arenas en los suelos de la región Oriente y su interacción con la MO (ver figura 3 y 4).

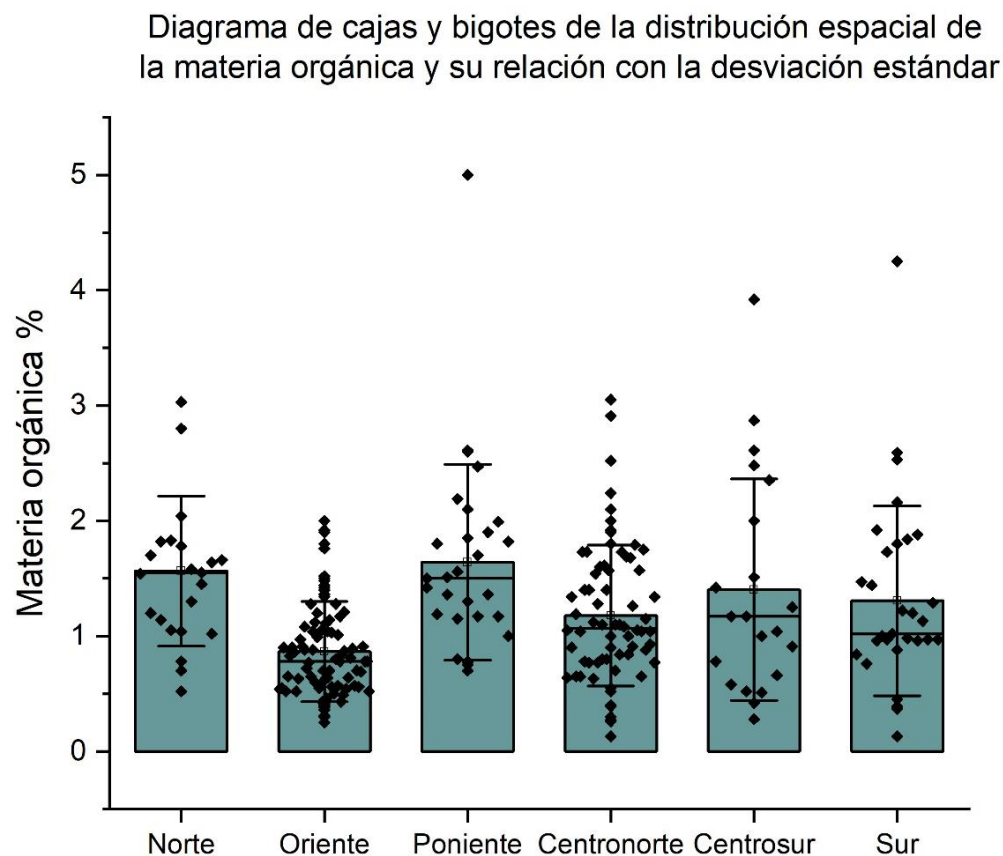


Figura 5. Relación en el porcentaje de MO y las regiones del estado de Tlaxcala.

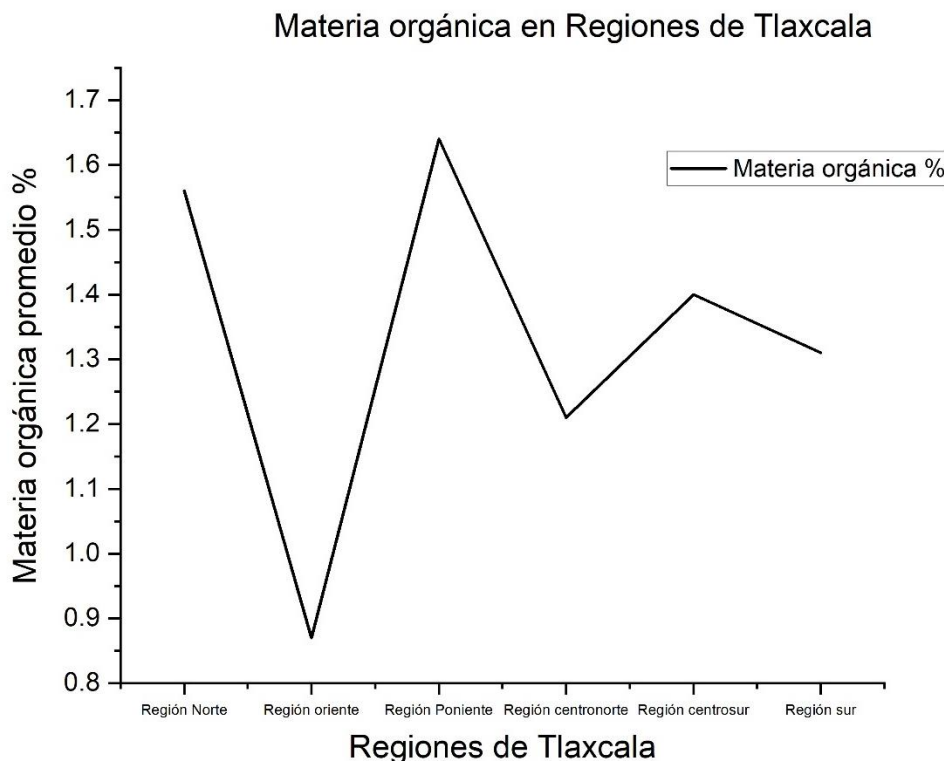


Figura 6. Relación entre el porcentaje de MO promedio y las Regiones de Tlaxcala.

En la figura 7 se visualiza la distribución de porcentajes del nivel de MO de acuerdo con el nivel de fertilidad en los suelos del estado de Tlaxcala. Aproximadamente, la mitad de las muestras analizadas con una representación del 49.2% están por debajo del 0.5% de MO, el cual se considera un nivel "muy bajo"; el 41.7% de los datos con un porcentaje de MO de 0.6-1.5% considerándose "bajo"; el 8% con un porcentaje de MO con valores entre 1.6-3.5% que se asocia a "medio", y tan solo el 1% de los datos con valores en el porcentaje de MO de 3.6-6% el cual se asocia a un nivel de fertilidad alto. Como puede observarse en la figura 6, las muestras analizadas en las distintas regiones de Tlaxcala nos pueden ofrecer un panorama

global del porcentaje de MO en Tlaxcala y cómo se comporta cada región (ver figura 6). Más de la mitad de las muestras analizadas con una representación del 90.9% del conjunto de datos se asocian a suelos con fertilidad asociada a "muy bajo" y "bajo" (esta distribución puede variar debido a que la mayor parte de las muestras analizadas se encuentran en la región Oriente del estado de Tlaxcala).

A pesar de que la mayor parte de los suelos del estado de Tlaxcala cuentan con baja fertilidad, debido a su bajo porcentaje en la MO del suelo, algunos métodos para incrementar el porcentaje de MO en el suelo son las enmiendas orgánicas, estas ayudan a mejorar, potenciar y a restaurar la estructura del suelo [28]. Las enmiendas

orgánicas o abonos, como se conocen comúnmente, son el resultado de procesos de descomposición y mineralización de residuos animales, vegetales e industriales, estos, al ser aplicados al suelo, pueden ayudar a mejorar las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo que logran aumentar el rendimiento de las cosechas [28, 29].

De acuerdo con la literatura, en la figura 8 se observa el comportamiento entre la relación de rendimiento y nutrimento de utilizar fertilizante químico y abono, se observa que, al utilizar abono como nutrimento en el suelo, se tiene mayor rendimiento a diferencia de utilizar fertilizante sintético. En resumen, los abonos potencian la capacidad de los suelos para

retener agua y sus procesos de infiltración promueven la actividad microbiana y control en el pH [28]. En suelos con bajo contenido de MO, es especialmente necesario incorporar abonos orgánicos para aumentar el porcentaje de MO y, de este modo, mejorar la fertilidad del suelo [30].

En la tabla 11 se muestra la clasificación de los abonos orgánicos sugeridos por la literatura para incrementar el porcentaje de MO en suelos con un bajo contenido de la misma. De igual manera, aplicar abonos orgánicos aumenta la fertilidad de los suelos, así como el rendimiento de la cosecha de los cultivos, como se muestra en la figura 6.

Distribución de porcentajes del nivel de materia orgánica de acuerdo a nivel de fertilidad en los suelos del estado de Tlaxcala

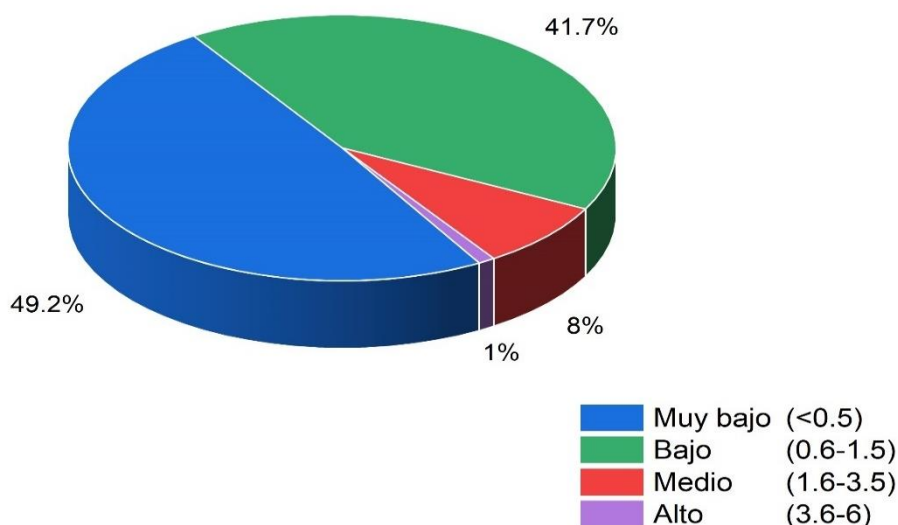


Figura 7. Distribución de porcentajes del nivel de MO de acuerdo con el nivel de fertilidad en los suelos del estado de Tlaxcala.

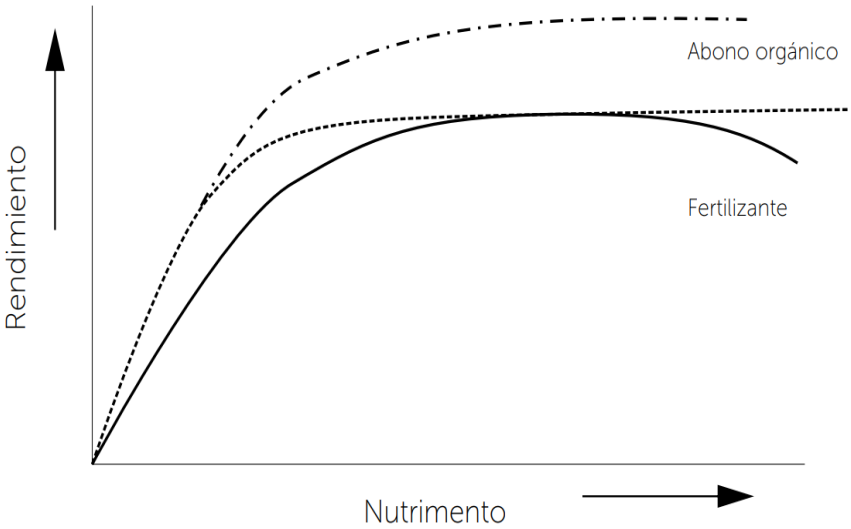


Figura 8. Relación entre el rendimiento y nutrimento de abono orgánico y fertilizante [29].

Tabla 11. Clasificación de los abonos orgánicos más comunes que se sugieren utilizar para incrementar el porcentaje de MO [29, 31, 32]

Abonos orgánicos	Especie	% MO
Estiércoles	Origen humano	
	Gallinaza	25-35
	Porqueraza	15.5
	Caprino	55
	Ovino	30.7
	Bovino	16.0
	Equino	27.0
Abonos verdes	Leguminosas	
	No leguminosas	
Residuos de cosechas	Rastrojos y pajas	
	Paja de arroz	7.7
Residuos orgánicos industriales	Pulpa de café	
	Bagazo de caña de azúcar	
	Cáscara de cacao	
	Cascarilla de arroz	
	Aserrín	
	Cachaza	
	Orujo de uva	
Lombricompost	Lombricompost	40
%MO= Porcentaje de materia orgánica		

CONCLUSIÓN

Este estudio reveló que las características texturales y los contenidos de MO del suelo en Tlaxcala muestran una notable variabilidad entre sus regiones. Se identificaron clases texturales predominantes, como el suelo franco en la región Norte, el franco arenoso en las regiones Poniente, Oriente, Centronorte y Sur, y el arenoso franco en la región Sur. La relación entre textura y MO indica que los suelos arenosos retienen menos MO. Aunque la variabilidad en el contenido de MO es mínima, las muestras con mayor variabilidad presentan un mayor contenido de MO, lo cual se asocia con buenas prácticas de manejo, como la incorporación de enmiendas orgánicas. Por lo tanto, se recomienda utilizar enmiendas orgánicas para mejorar la retención de MO y las propiedades del suelo, lo que favorecerá la calidad y fertilidad de los suelos en Tlaxcala.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no tienen ningún conflicto de intereses con el contenido de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Impulso Agropecuario por las instalaciones y equipos prestados. A los estudiantes de la Universidad del Bienestar Benito Juárez García, sede Cuapiaxtla por su apoyo. Sobre todo, a los productores tlaxcaltecas que buscan una mejora en los suelos agrícolas y obtener un mayor rendimiento en sus cultivos para garantizar la

seguridad alimentaria de las familias tlaxcaltecas, así como al Gobierno del estado de Tlaxcala.

REFERENCIAS

- [1]. Havlin JL. Fertility. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier; 2013. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780124095489051629>
- [2]. Chalbot MC, Kavouras I. Environmental solution-state NMR spectroscopy: Recent advances, potential, and impacts. Multidimensional Analytical Techniques in Environmental Research. 2020; 2020: 27–55. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128188965000028>
- [3]. Lal R. Soil organic matter and water retention. Agron J. 2020;112(5): 3265–77. Disponible en: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/agj2.20282>
- [4]. Dar GH, Bhat RA, Mehmood MA, Hakeem KR. Microbiota and Biofertilizers, Vol 2; 2021. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-61010-4>
- [5]. Neuman J. Soil Organic Matter Maintenance in No-Till and Crop Rotation Management Systems. In: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier; 2017. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780124095489051629>

[abs/pii/B9780124095489106530?via%3Dihub](https://doi.org/10.1016/j.scia.2023.105330)

[6]. Wang J, Zhen J, Hu W, Chen S, Lizaga I, Zeraatpisheh M, *et al*. Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. *International Soil and Water Conservation Research*; 2023; 11(3): 429–54. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209563392300014X>

[7]. Prescott CE, Frouz J, Grayston SJ, Quideau SA, Straker J. Rehabilitating forest soils after disturbance. *Developments in Soil Science*. 2019; 36: 309–43. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444639981000136>

[8]. Bullock P. Climate Change Impacts. *Encyclopedia of Soils in the Environment*. 2005; 2005: 254-262. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0123485304000898?via%3Dihub>

[9]. Bravo-Realpe I del S, Arboleda-Pardo CA, Martín-Peinado FJ. Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio, en sistemas altoandinos de Colombia. *Ciencias del suelo*. 2014; 63(2): 164–74. Disponible en: <http://scielo.org.co/pdf/acag/v63n2/v63n2a09.pdf>

[10]. Aguilar Silva SY. Validación del método de calcinación en la determinación del contenido de la materia orgánica del suelo. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2019. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/e66fd425-f325-4d2f-b295-85c7620b638a>

[11]. Docampo R. La importancia de la materia

orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. INIA Las Brujas – Estación Experimental “Wilson Ferreira Aldunate”. Serie Actividades de Difusión N° 687. 2012; 2012: 81-89. Disponible en: <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>

[12]. Marañón T, Madejón E. Funciones del suelo y servicios ecosistémicos: importancia de la materia orgánica. V Jornadas de la Red Española de Compostaje. 2016; 2016: 13-16. Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/152351/1/Funciones_suelo_servicios_VJorREC_2016.pdf

[13]. INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aspectos geográficos de Tlaxcala. 2021. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/>

[14]. Montiel Torres MA. Entre campesinos, obreros y comerciantes de ropa. La transformación económica de un municipio de Tlaxcala (México) en el contexto de la globalización. *Revista Latinoamericana de Antropología del Trabajo*. 2018; 3: 1-23. Disponible en: <https://colsan.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1013/673/1/Entre%20campesinos%20C%20obrereros%20y%20comerciantes%20de%20ropa.pdf>

[15]. Romero-Barrios C, García-Gallegos E, Hernández-Acosta E. Materia orgánica y densidad aparente en suelos del suroeste de La Malinche, Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 2015; 2(5): 63–70.

Disponible en:
<https://www.reibci.org/publicados/2015/septiembre/1200108.pdf>

[16]. NOM-021-RECNAT-2000: Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2000. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280.pdf>

[17]. USDA (United States Department of Agriculture). Soil Survey Manual. Handbook No. 18. Soil Science Division Staff, editor. 2017. Disponible en: <https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/soil-survey-manual>

[18]. Barrezueta-Unda S, Cervantes-Alava A, Ullauri-Espinoza M, Barrera-Leon J, Condoy-Gorotiza A. Evaluación del método de ignición para determinar materia orgánica en suelos de la provincia el oro-ecuador. FAVE Sección Ciencias Agrarias. 2020 Nov 11;19(2):25–36. Disponible en: <https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sciarttext&pid=S1666-77192020000200025>

[19]. Barman U, Choudhury RD. Soil texture classification using multi class support vector machine. Information Processing in Agriculture. 2020;7(2):318–32. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214317318301239>

[20]. Guo ZQ, Li P, Yang XM, Wang ZH, Lu BB, Chen WJ, *et al*. Soil texture is an important factor determining how microplastics affect soil hydraulic characteristics. Environ Int. 2022;

165 (107293): 1-11. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022002203>

[21]. Riaz U, Murtaza G, Saifullah, Farooq M. Comparable effect of commercial composts on chemical properties of sandy clay loam soil and accumulation of trace elements in soil-plant system. Int J Agric Biol. 2018;20(1):85–92. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318674044_Comparable_Effect_of_Commercial_Composts_on_Chemical_Properties_of_Sandy_Clay_Loam_Soil_and_Accumulation_of_Trace_Elements_in_Soil-Plant_System

[22]. Antúñez A, Felmer S, Vidal M, Morales R. Propiedades físico-hídricas del suelo en el cultivo del maíz grano. In: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Rayentue, editor. 312th ed. 2015. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/19314dbc-3274-4165-b176-b4370c91fe20/content>

[23]. Fernández RDR, Mueckay CM, Salto JRM, Intriago DAM. Effects of hydrogel on moisture volume in soils with different textures. Granja. 2021; 33(1): 67–75. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476065991006&tab=2>

[24]. Elizabeth D, Rojas C, Alayda L, Ramos B. Efecto del compost de residuos orgánicos y estiércol vacuno en suelo franco arenoso de la asociación vivienda la Bloquetera-Villa Maria del triunfo. Universidad Peruana Unión; 2020. Disponible en:

<https://agris.fao.org/search/en/providers/125046/records/67659e1f6784547a43e38ccc>

[25]. López Colonia AG, Mendoza Ríos CN. Efecto de las diferentes concentraciones de lodos secos dle PTAR-COVICORTI para el mejoramiento de suelos áridos. 2018. Disponible en:

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31520#:~:text=En%20el%20presente%20estudio%20se%20determin%C3%B3%20el%20mejoramiento,humedad%2C%20textura%2C%20materia%20org%C3%A1nica%2C%20densidad%20aparente%20y%20poro>

[26]. Matus FJ, Marie GCR. Interaction Between Soil Organic Matter, Soil Texture and the Mineralization Rates of Carbon and Nitrogen. Agric. Téc. 2000; 60(2): 112-126. Disponible en:

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072000000200003&lng=en

[27]. Carter MR, Stewart BA. Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. 1995. Disponible en:

<https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9781003075561/structure-organic-matter-storage-agricultural-soils-carter-stewart>

[28]. Murillo Montoya SA, Mendoza Mora A, Fadul Vásquez CJ. La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. La Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustrial. 2019 Dec 28;7(1):58–68. Disponible en: <https://doaj.org/article/9be5cffbb87b4db89a6a47ffcedecd9e>

[29]. Trinidad-Santos A, Velasco-Velasco J. Importancia de la materia orgánica en el suelo. Agroproductividad. 2016; 9 (8): 52-58. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/315114517_Importancia_de_la_materia_organica_en_el_suelo

[30]. Valdez-Ibañez AS, Domingo-Olivé F, Mateo-Marín N, Yagüe-Carrasco MR, Bosch-Serra ÁD, Tallada L, *et al*. Long-term fertilization with dairy cattle slurry in intensive production systems: effects on soil porosity and pore morphology. 2019. Disponible en:

<https://repositori.udl.cat/server/api/core/bitstreams/ee7ade40-434a-4546-af7e-31ba760d190a/content>

[31]. Sierra BC, Rojas WC. La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de los cultivos. 2002. Disponible en:

<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/102077ad-5b60-46b2-8b35-c0e8250a2965/content>

[32]. Moreno Morales M. Rehabilitación de la capacidad productiva del suelo con enmiendas orgánicas y manejo de la biodiversidad del suelo, en San Gabriel Chilac. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla. 2015. Disponible en:

<https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/aed63e86-4932-4572-98bd-eab60d34da55/content>