



Contemporânea

Contemporary Journal

Vol. 5 N°. 10: p. 01-22, 2025

ISSN: 2447-0961

Artigo

MATERIA ORGÁNICA Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO

ORGANIC MATTER AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF THE SOIL

MATÉRIA ORGÂNICA E ATIVIDADE BIOLÓGICA DO SOLO

DOI: 10.56083/RCV5N10-079

Receipt of originals: 9/9/2025

Acceptance for publication: 9/29/2025

Oscar Alejandro Sánchez-Gómez

Licenciado en Ingeniería Química

Institución: Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (FIQ-BUAP)

Dirección: Culiacán Rosales, Sinaloa, México

Correo electrónico: 12185434.sanchez@ms.uas.edu.mx

Walter Arturo Rubio-Aragón

Doctor en Ciencias Agropecuarias

Institución: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa (FMVZ-UAS)

Dirección: Guamúchil, Salvador Alvarado, Sinaloa, México

Correo electrónico: Walter_rubio30@hotmail.com

Jorge Alberto Edeza-Urías

Maestro en Ciencias Agropecuarias

Institución: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa (FMVZ-UAS)

Dirección: Culiacán Rosales, Sinaloa, México

Correo electrónico: edeza117@gmail.com

Laura Francisca Espinoza-Aguirre

Maestra en Ciencias Agropecuarias

Institución: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa (FMVZ-UAS)

Dirección: Culiacán Rosales, Sinaloa, México

Correo electrónico: lauraespinoza448@gmail.com

REVISTA



1

Revista Contemporânea, vol. 5, n°. 10, 2025. ISSN: 2447-0961



Juan Manuel Romo Valdez

Doctor en Ciencias Agropecuarias

Institución: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa (FMVZ-UAS).

Dirección: Culiacán Rosales, Sinaloa, México

Correo electrónico: romo_14@hotmail.com

Ana Mireya Romo Valdez

Doctora en Ciencias Agropecuarias

Institución: Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Baja California (IICUV-UABC)

Dirección: Culiacán Rosales, Sinaloa, México

Correo electrónico: e.ana.romo@uas.edu.mx

Javier Alonso Romo-Rubio

Doctor en Ciencias Pecuarias

Institución: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Colima (FMVZ-U de Col.)

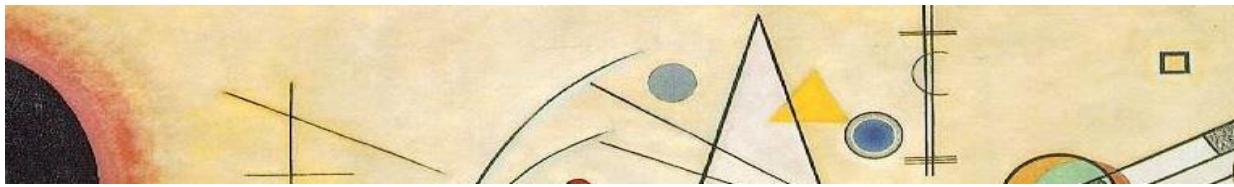
Dirección: Culiacán Rosales, Sinaloa, México

Correo electrónico: romo60@uas.edu.mx

RESUMEN: El suelo es un recurso fundamental para los ecosistemas terrestres, la producción de alimentos y la regulación de procesos ecológicos. Sin embargo, su degradación y la pérdida de materia orgánica del suelo (MOS), afecta su fertilidad y balance de carbono. Comprender la relación entre la MOS y la actividad biológica del suelo (ABS) es clave para mejorar su manejo y mitigar su degradación. La MOS es el principal sustrato energético para los microorganismos del suelo, íntimamente relacionado a la ABS, que en conjunto afectan la disponibilidad de nutrientes y los ciclos biogeoquímicos. La ABS, evaluada mediante respiración del suelo, actividad enzimática y otras metodologías, es un indicador clave de la salud edáfica. La interacción entre la MOS y la ABS influye en la resiliencia de los suelos y su capacidad de almacenamiento de carbono; por lo que, la implementación de estrategias de manejo que fomenten la conservación de la MOS y ABS podrían mitigar o incluso revertir la degradación del suelo y el calentamiento global.

PALABRAS CLAVE: suelo, materia orgánica, actividad biológica, fertilidad, carbono.

ABSTRACT: Soil is a fundamental resource for terrestrial ecosystems, food production, and the regulation of ecological processes. However, its degradation and the loss of soil organic matter (SOM) affect soil fertility and carbon balance. Understanding the relationship between SOM and soil biological activity (SBA) is key to improving its management and mitigating its degradation. SOM is the main energy substrate for soil microorganisms, closely related to SBA, which together affect nutrient availability and biogeochemical cycles. SBA, assessed through soil respiration, enzymatic



activity, and other methodologies, is a key indicator of soil health. The interaction between SOM and SBA influences soil resilience and carbon storage capacity; therefore, the implementation of management strategies that promote the conservation of SOM and SBA could mitigate or even reverse soil degradation and global warming.

KEYWORDS: soil, organic matter, biological activity, fertility, carbon.

RESUMO: O solo é um recurso fundamental para os ecossistemas terrestres, a produção de alimentos e a regulação dos processos ecológicos. No entanto, sua degradação e a perda de matéria orgânica do solo (MOS) afetam sua fertilidade e o balanço de carbono. Compreender a relação entre MOS e atividade biológica do solo (ABS) é fundamental para aprimorar seu manejo e mitigar sua degradação. A MOS é o principal substrato energético para os microrganismos do solo, intimamente relacionada à ABS, que, em conjunta, afetam a disponibilidade de nutrientes e os ciclos biogeoquímicos. A ABS, avaliada por meio da respiração do solo, atividade enzimática e outras metodologias, é um indicador-chave da saúde do solo. A interação entre MOS e ABS influencia a resiliência do solo e a capacidade de armazenamento de carbono; portanto, a implementação de estratégias de manejo que promovam a conservação da MOS e da ABS poderia mitigar ou até mesmo reverter a degradação do solo e o aquecimento global.

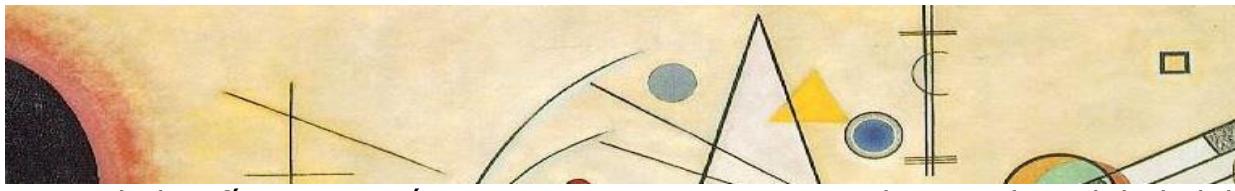
PALAVRAS-CHAVE: solo, matéria orgânica, atividade biológica, fertilidade, carbono.



Artigo está licenciado sob forma de uma licença
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

1. Introducción

El suelo es un recurso natural importante para las actividades humanas. Se compone de una mezcla de diferentes constituyentes; dentro de éstos, la materia orgánica del suelo (MOS) es uno de los que mayor impacto tiene en la salud de los ecosistemas y la productividad agrícola ([Lehmann y Kleber, 2015](#); [Soto-Mora et al., 2016](#); [Bhat et al., 2017](#)). Además de su influencia en la fertilidad, también tiene efectos en las



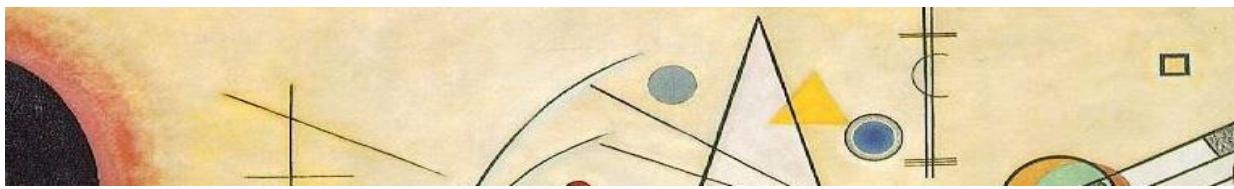
propiedades físicas y químicas, que mejoran integralmente la calidad del suelo ([Gerke, 2022](#)).

La MOS consiste en un conglomerado de muy diversas sustancias, producto de la descomposición de materia orgánica proveniente de restos de seres vivos ([Hoffland et al., 2020](#); [van der Voort et al., 2023](#)), que está íntimamente relacionada con la actividad biológica del suelo (ABS) ([Möller, 2015](#)). Los microorganismos presentes en el suelo (aunque también algunos macroorganismos como lombrices y artrópodos) están involucrados en diversos procesos biogeoquímicos del suelo ([Schmidt et al., 2011](#)).

A pesar de ser conocidos los beneficios de mantener o aumentar el contenido de MOS en suelos con vocación agropecuaria ([Soto-Mora et al., 2016](#)), las malas prácticas en su manejo han reducido su contenido hasta niveles donde la fertilidad se ve comprometida, fomentando la dependencia de los agroquímicos ([Huang et al., 2023](#)). El monocultivo, la remoción de la cobertura vegetal, la quema agrícola, el uso excesivo de pesticidas, entre otras, son actividades comunes que buscan incrementar el rendimiento pero fomentan la pérdida de la MOS y/o reducen la ABS, representando un problema para la sustentabilidad agropecuaria y la preservación de los ecosistemas ([Ghabbour et al., 2017](#)). El objetivo de la revisión fue conocer la relación entre la MOS y la ABS y su efecto en la calidad de los suelos agrícolas.

2. Materia Orgánica del Suelo (MOS)

El suelo constituye un enorme depósito de nutrientes y humedad, almacenados en su estructura; es soporte para la cobertura vegetal y un ecosistema *per se* ([Porta-Casanellas, 2019](#)). Se compone idealmente de minerales (45%), gases (25%), agua (25%) y materia orgánica (5%) ([Montaño-Arias et al., 2018](#)). Es un recurso natural valioso para todo tipo de



actividades antropológicas, además de contener una cuarta parte de la biodiversidad de la tierra (FAO, 2015).

La MOS, aunque representa la fracción de menor concentración en el suelo, presenta la mayor diversidad en su composición; en ella se pueden encontrar diversas sustancias orgánicas, de complejidad variable, en un estado de transformación permanente, por lo que su contenido puede variar en función de condiciones edafoclimáticas, residuos orgánicos (RO) recibidos, humedad relativa, actividades humanas, etc. (Soto-Mora et al., 2016). El contenido de MOS oscila en función del tipo de suelo; de menos de 1% en suelos arenosos y desérticos con baja irrigación; alrededor del 4-6% en los primeros 15 cm en suelos minerales agrícolas, pudiendo en algunos casos llegar a más del 50% en suelos orgánicos con gran cantidad de sustancias húmicas (Ayala-Niño et al., 2018). Según Hoffland et al. (2020), la MOS se puede clasificar de acuerdo con el tipo de biomoléculas y estado de agregación. En el primer caso, la diversidad de las sustancias encontradas en la MOS hace necesaria una clasificación general de estos componentes (carbohidratos, proteínas, sustancias aromáticas, ácidos orgánicos, entre otros). Con base en el estado de agregación, los componentes de la MOS pueden presentarse en forma disuelta o particulada. Las sustancias solubles como los contenidos líquidos de células animales o vegetales, sales, azúcares y otros, son arrastrados por los movimientos del agua en el suelo, mientras que los particulados, componentes degradados de estructuras biológicas, principalmente vegetales y microbianos, tienen menor movilidad y dinamismo.

La materia orgánica soluble, representa alrededor del 2% de la MOS total (von Lützow et al., 2007), pero es de importancia para la infiltración de sustancias orgánicas a capas más profundas del sub-suelo y para la mineralización a largo plazo del carbono orgánico del suelo (COS), representando hasta el 20% del COS mineralizado o incluso más, solamente superada por las raíces profundas por su capacidad de translocación de MOS

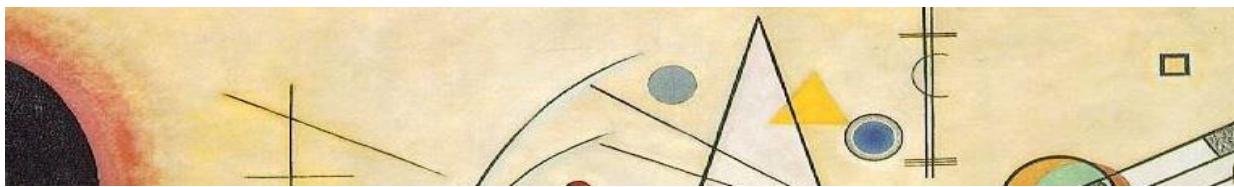


al subsuelo (Sanderman y Amundson, 2008), debido a que los residuos particulados de la superficie, rara vez penetran las capas inferiores en concentraciones considerables (Liebmann *et al.*, 2020). Los organismos unicelulares y fúngicos pueden considerarse como particulados bajo esta perspectiva, (Hoffland *et al.*, 2020). Los organismos unicelulares son de particular importancia para la MOS, ya que, además de fomentar una parte importante de los procesos biogeoquímicos que ocurren en el suelo, la necromasa microbiana conforma en ocasiones la mayoría de la MOS, pudiendo llegar a representar hasta el 62% del contenido de COS en algunos suelos (Liang *et al.*, 2019).

Según Montaño-Arias *et al.* (2018) y Hoffland *et al.* (2020), la MOS proviene de RO de diferentes fuentes; los que se describen a continuación.

Vegetal. Principal fuente de RO que recibe el suelo; se compone de todas las estructuras que conforman a las plantas como hojas, tallos y raíces, además de los exudados de éstas. Las raíces profundas tienen un alto impacto en las características del suelo, siendo el principal fomento de translocación de COS a capas más profundas del subsuelo en procesos mucho más largos que los superficiales; adicionalmente, favorecen la resistencia a la erosión y la formación de agregados. En suelos agrícolas, los restos vegetales conforman del 60 al 70% de todos los RO recibidos.

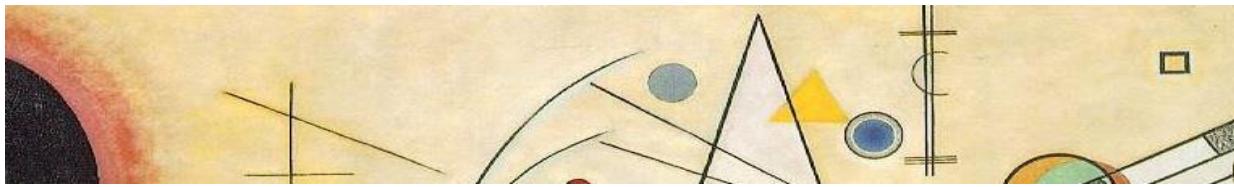
Animal. Incluye restos animales y sus heces. Algunos animales invertebrados participan activamente en la descomposición, degradación y transformación de los RO a otras formas de MOS como parte de los procesos biogeoquímicos del suelo, como las lombrices, nemátodos, coleópteros, termitas y hormigas, entre otros. Los animales aportan una menor proporción de RO que las plantas, y participan en menor medida que los microorganismos en los procesos de transformación, pero son parte integral de los ecosistemas y de las cadenas tróficas. En suelos agrícolas, los excrementos y restos animales pueden aportar del 20 al 30% de los RO recibidos.



Microbiano. Los organismos unicelulares representan la base sobre la que se fundamenta el ecosistema edáfico, y, por lo tanto, los ecosistemas terrestres. No solamente aportan una fracción importante de MOS mediante sus procesos metabólicos y necromasa, sino que, además, realizan funciones de transformación indispensables para la mineralización de nutrientes, volviéndolos biodisponibles para las plantas y otros microorganismos. En suelos forestales la proporción de la MOS que aportan los microorganismos al suelo es mucho mayor (hasta un 20% extra de materia orgánica nueva generada por microorganismos) que en suelos agrícolas (porcentajes mucho menores en la mayoría de los suelos agrícolas), debido al pobre manejo y a la remoción de la MOS, junto con otras prácticas que reducen la actividad microbiana.

3. Componentes Biológicos del Suelo

Como parte de la MOS una gran cantidad de seres vivos habitan los suelos integrando el ecosistema edáfico. Fragoso y Rojas (2010), con base en suelos forestales mexicanos, estimaron que por cada m^2 de suelo existen 350 millones de especies de bacterias, 63 especies de protozoarios, 4.5 millones de amebas, 50 ciempiés, 500 lombrices, 1.9 millones de nematodos, 745 termitas y hasta 2,150 hormigas. En conjunto, todos los seres vivos que viven debajo de la superficie del suelo, es decir, los componentes biológicos del suelo, conforman uno de los ecosistemas más complejos y con mayor biodiversidad de la naturaleza, con la mayor concentración de especies diferentes que existen en la tierra (FAO, 2015). En suelos agrícolas, la diversidad y cantidad de organismos es muy variable en función del cultivo, manejo del suelo, uso de agroquímicos, tipo de suelo, contenido de MOS, etcétera; pero, existe una relación directa entre el cambio de uso de suelo con la reducción de la diversidad de la mayoría de los taxones biológicos de los ecosistemas edáficos (Chiappero et al., 2024), debido a acciones como la



labranza, el uso excesivo de fertilizantes, la aplicación de cal y otros reguladores de pH, el uso indebido de pesticidas y los monocultivos (FAO, 2021). La gran diversidad de organismos del ecosistema edáfico crea una red compleja de intercambio de sustancias químicas, acumulando en sus niveles tróficos grandes cantidades de COS (FAO, 2015).

4. Actividad Biológica del Suelo (ABS)

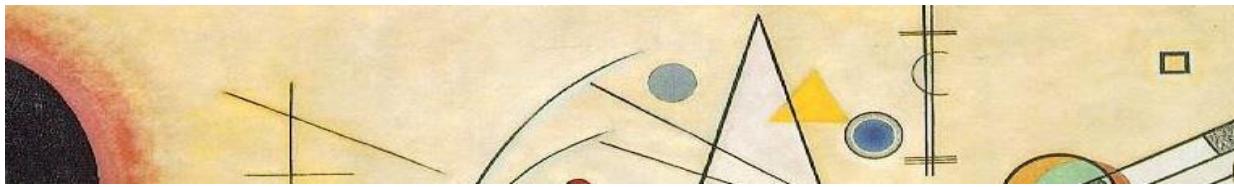
Los componentes biológicos del suelo en conjunto (principalmente microorganismos) producen cambios físicos y químicos en la estructura y composición de la MOS como parte de sus necesidades metabólicas (Gunina *et al.*, 2017). La ABS es el conjunto de todas las actividades y procesos metabólicos de los organismos que habitan el suelo, así como las interacciones entre sí y con el contenido de la MOS; representa no solamente la presencia de organismos vivos en el suelo, sino también la capacidad de los mismos de formar un ciclo dinámico de intercambio de nutrientes que tiene efectos positivos para la fertilidad de los suelos naturales y agrícolas (FAO, 2015), por lo que su cuantificación es un parámetro importante en la caracterización de suelos y en estudios de calidad de suelos (o salud de suelos) (Samuel *et al.*, 2018). La ABS agrupa una cantidad muy diversa de procesos y reacciones químicas imposibles de medir individualmente, por lo tanto, para su cuantificación, se han desarrollado metodologías que determinan la cantidad de transformaciones bioquímicas que el ecosistema edáfico es capaz de realizar en un periodo de tiempo determinado. Dentro de las metodologías más importantes se encuentran:

Respiración del suelo. Proceso de liberación de CO₂ del suelo como paso final de la oxidación metabólica de MOS por acción de la ABS. Representa de forma directa la transformación total de sustratos orgánicos en CO₂ (Ryan *et al.*, 2018), la cual puede ser cuantificada mediante cámaras de captura o muestreo *in situ* y correlacionado con la ABS. La liberación de



CO₂ por respiración del suelo representa una de las fuentes más importantes de emisiones de carbono inorgánico a la atmósfera. Hashimoto et al. (2015), estimaron ≈91 Gt anuales de CO₂ emitidos por el suelo a nivel global (cantidad entre 9 y 10 veces mayor a la producida por la quema de combustibles fósiles), las cuales se distribuyen entre la respiración heterótrofa (liberado por acción directa de la ABS de microorganismos interactuando con la MOS) y autótrofa (actividad metabólica de las raíces de las plantas), con 51 y 40 Gt/año de CO₂, respectivamente; así mismo, estimaron un aumento promedio de 0.09 Gt/año desde 1966. Finalmente, los mismos autores agregaron que las emisiones de CO₂ del suelo aumentan 3.3 Gt/año por cada 1°C de incremento en la temperatura media del aire, lo que resalta su sensibilidad al calentamiento global y la gran importancia que tiene el suelo como sumidero de carbono.

Actividad enzimática del suelo. La actividad enzimática (AE) del suelo, se refiere a la capacidad que poseen las enzimas presentes en el suelo, producidas por microorganismos (principalmente), hongos y plantas, para catalizar reacciones bioquímicas como parte de los procesos de transformación y degradación metabólica de los RO (Vélez-Azañero et al., 2024); debido a que determinar el contenido de enzimas en el suelo es impráctico, se realizan ensayos de AE con sustratos específicos (Samuel et al., 2017). La AE es un indicador indirecto de la ABS y esta asociada a la calidad del suelo; esta medición tiene relevancia técnica y científica a pesar de las limitaciones derivadas de su carácter indirecto y la sensibilidad a contaminantes, temperatura y precipitaciones (Vélez-Azañero et al., 2024). Las mediciones enzimáticas han sido ampliamente utilizadas para establecer índices de fertilidad del suelo debido a su alta sensibilidad a las prácticas de manejo, ya que se ha demostrado que la degradación del suelo afecta en primer lugar a los indicadores biológicos (Samuel et al., 2018). Los organismos del suelo requieren diversas enzimas para metabolizar la diversidad de sustancias que componen a la MOS, por lo que las



cuantificaciones de AE del suelo se realizan en función a enzimas o grupos de enzimas específicos relacionados a sustratos concretos como la celulasa, fosfatasa, ureasa y lignasa, por mencionar las más utilizadas. Aunque es un indicador indirecto de la ABS, proporciona información sobre la dinámica del COS, la diversidad del ecosistema edáfico y la capacidad del suelo para renovar nutrientes esenciales para plantas y otros seres vivos (Vélez-Azañero et al., 2024).

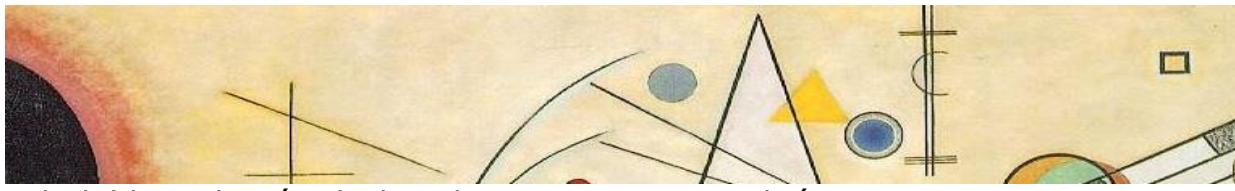
La cuantificación de ABS (usualmente junto a otros parámetros físicos y químicos como textura, estructura, porcentaje de MOS, relación C:N, contenido de P, S, etcétera) es un estimador de la capacidad de un suelo de brindar servicios bioecológicos para los ecosistemas y los sistemas de producción primarios (Ferreras et al., 2009), ya que los indicadores químicos por sí solos no representan la capacidad real del suelo de brindar nutrientes (Franzluebbers, 2016). Existe una relación íntima de codependencia entre la cantidad de MOS y la ABS, debido a que ambas son fundamentales para las funciones del suelo y los procesos de estabilización de COS en las diferentes fracciones orgánicas del suelo (Galantini y Suñer, 2008), por lo que las funciones de la MOS integran implícitamente los efectos de la ABS.

5. Funciones de la Materia Orgánica del Suelo

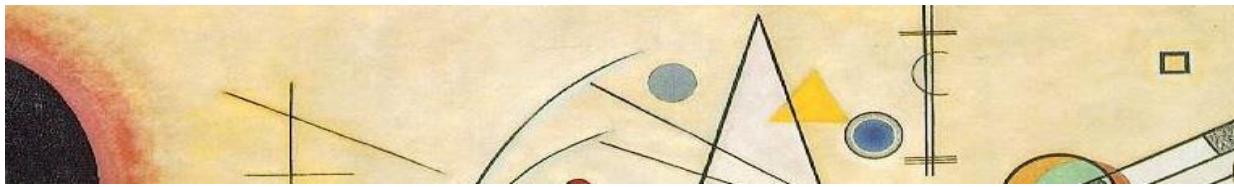
Hoffland et al. (2020), describieron las funciones bioecológicas de la MOS y las relacionaron con los procesos y componentes del suelo que las permiten o de los que derivan (ver Figura 1). Estos autores sugirieron que la MOS está asociada con tres factores principales que influyen en la calidad y función del suelo: 1) La estructura del suelo, que se refiere a la forma en que las partículas del suelo se organizan o agrupan para formar (o no formar) estructuras, que se relaciona con la porosidad y compactación; 2) El ecosistema edáfico, que incluye a todos los organismos que viven en el suelo y las interrelaciones entre ellos y con los elementos físicos y químicos de su



entorno y 3) Los ciclos biogeoquímicos; procesos mediante los cuales elementos químicos se mueven y cambian a través de diferentes partes del medio ambiente como la atmósfera, biosfera, cuerpos de agua y/o suelos. Estos factores, a su vez, se asocian con las funciones que cumple la MOS; así, a) La retención de humedad se asocia con la estructura del suelo, existiendo una relación directa entre el porcentaje de MOS y la capacidad de retención de humedad. La humedad del suelo es uno de los factores que evitan la erosión eólica, además de aumentar la capacidad de soporte de cobertura vegetal. b) La formación de agregados está asociada con la estructura y el ecosistema edáfico; en esta relación, la MOS funciona como un aglomerante que favorece la formación de estructuras en el suelo mediante la agrupación de partículas minerales. Los agregados protegen al suelo de la erosión hídrica y eólica y de su desplazamiento. Los agregados también favorecen la retención y estabilización de COS y otros nutrientes, con beneficios para la producción primaria y el medio ambiente. c) La aireación se asocia con la estructura del suelo; también está relacionada con la formación de agregados, ya que éstos permiten la porosidad y permeabilidad del suelo, mejorando su aeración. Esta propiedad es importante para la producción del sector primario y la salud de los ecosistemas. d) La retención y transformación de compuestos está asociada a la estructura del suelo y los ciclos biogeoquímicos. Así, el suelo tiene la capacidad de retener sustancias orgánicas e inorgánicas mediante interacciones minerales que favorecen la permanencia de éstas el tiempo suficiente para ser transformadas, lo que impacta positivamente en la calidad del suelo al retener nutrientes necesarios para la producción primaria y el soporte de los ecosistemas. Además, puede favorecer la calidad del agua al retener contaminantes orgánicos y salinos mediante agregados e interacciones minerales, e incluso degradar contaminantes mediante la AE de microorganismos como consecuencia de la ABS. e) El fomento de la salud y desarrollo vegetal está asociado con el ecosistema edáfico. Un suelo



saludable, además de brindar nutrientes, también contiene un ecosistema equilibrado que ayuda a proteger a las plantas contra patógenos y plagas. f) La mineralización de la materia orgánica se asocia con el ecosistema edáfico y los ciclos biogeoquímicos. El proceso de mineralización permite renovar los nutrientes del suelo para evitar su agotamiento. Este proceso es altamente dependiente de la ABS, que transforma sustancias orgánicas complejas de la MOS en formas inorgánicas asimilables por plantas y otros microrganismos, brindando nitratos, sulfatos, fosfatos y otros nutrientes. Este proceso es vital para un suelo saludable, pero se ha visto gravemente afectado por prácticas agrícolas perjudiciales como la remoción de la MOS y de la cobertura vegetal, lo que ha fomentado la dependencia del sector agropecuario de agroquímicos, como alternativa para agregar nutrientes asimilables al suelo, pero que tienen efectos adversos para los ecosistemas y reducen la rentabilidad y resiliencia del sector. g) La capacidad de retención de carbono del suelo (sumidero de carbono) también está asociada con el ecosistema edáfico y los ciclos biogeoquímicos. La materia orgánica se caracteriza por estar constituida principalmente por carbono que en el suelo se encuentra en forma de COS. Al respecto, la FAO (2015), indicó que, en el primer metro de profundidad, el suelo contiene 1,500 Gt de COS equivalentes al 36% del total terrestre, además de otras 950 Gt de carbono inorgánico. En comparación con esta capacidad de retención de carbono del suelo, la materia viva en su conjunto contiene unas 550 Gt de carbono orgánico, la atmósfera almacena alrededor de 880 Gt de carbono, mientras que los océanos almacenan unas 38,000 Gt. Aunque la capacidad de almacenamiento de carbono de los océanos es muy superior en valores absolutos, si se toma en cuenta la proporción de carbono orgánico y otros elementos accesibles para los seres vivos, el suelo representa la mayor fuente de nutrientes biodisponibles en la tierra. Esta propiedad tiene un enorme impacto ambiental, al contribuir a la regulación climática y a mitigar los efectos de los gases de efecto invernadero; lamentablemente, el cambio



de uso de suelos y las prácticas agrícolas insostenibles están reduciendo la cantidad de carbono almacenado en el suelo.

6. Estabilidad de la Materia Orgánica del Suelo

Es conocido que la materia orgánica es fisicoquímicamente “inestable”, como es el caso de los azúcares simples, aminoácidos libres y algunos otros compuestos de bajo peso molecular; en los cuales, la vida media en el suelo es de algunos minutos, o incluso menos, al ser rápidamente transformados en el ecosistema edáfico (Gunina et al., 2017). También se ha encontrado, que diversos componentes de la MOS pueden participar en los ciclos biogeoquímicos, que pueden abarcar miles de años (Schmidt et al., 2011). Con base en ello, Hedges et al. (2000), articularon por primera vez el enigma sobre cómo este proceso era posible, llegando a la conclusión que las propiedades intrínsecas del carbono y sus compuestos no eran suficientes para formular una solución. En la actualidad, se han dilucidado parcialmente los procesos que permiten la estabilización de materiales orgánicos en el suelo por períodos mucho más prolongados a la vida media de la sustancia orgánica por sí misma; éstos fueron recopilados por Kleber et al. (2021), indicando que esto es posible, no como una propiedad de la MOS por sí misma, sino como una propiedad del ecosistema edáfico, de sus componentes físicos, químicos y biológicos, que permiten una interacción mineral-orgánica que estabiliza e inmoviliza compuestos orgánicos de la MOS, siendo el fundamento de la capacidad de sumidero de COS a largo plazo.

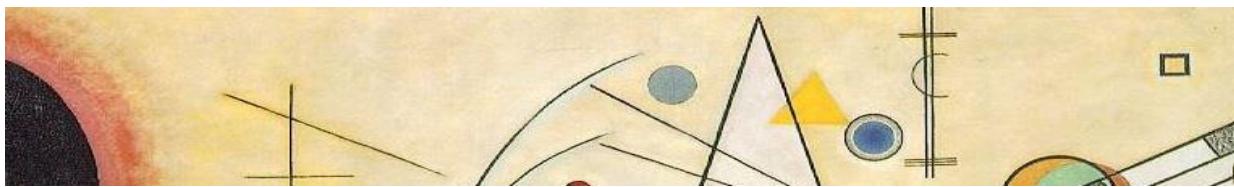
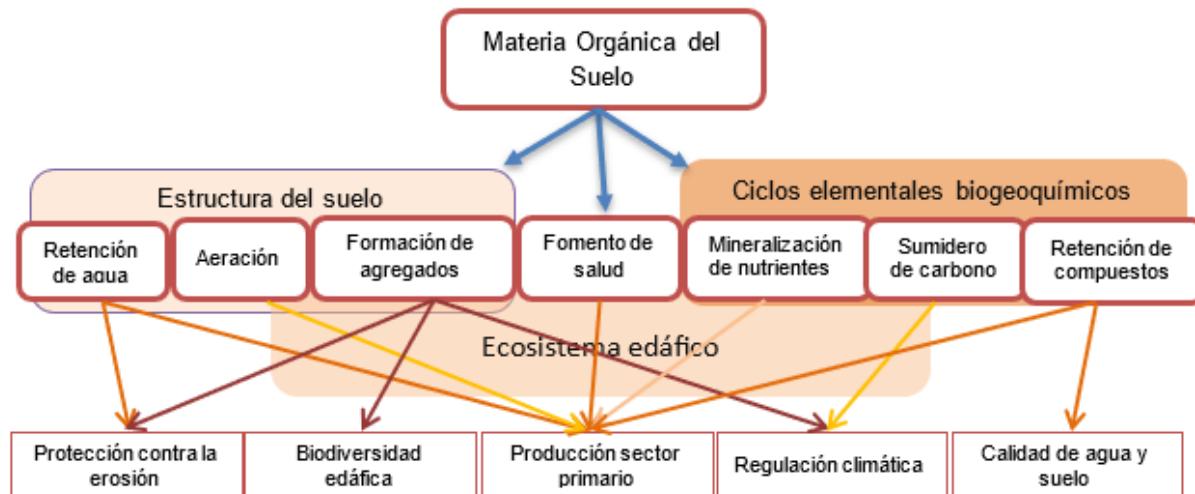


Figura 1. Esquema de relaciones entre el suelo y su materia orgánica, agrupando su influencia en tres grandes grupos superpuestos parcialmente, y los efectos o funciones ambientales derivados de ellos.

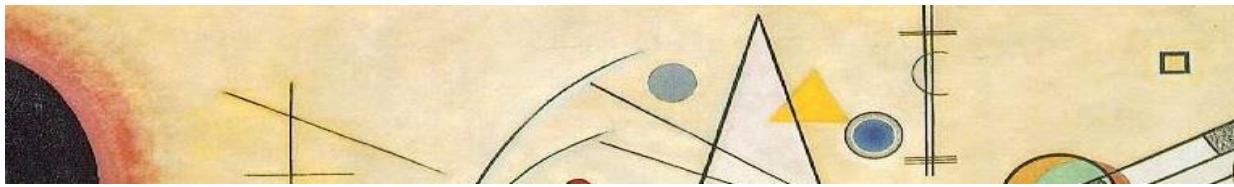


Fuente: Hoffland et al. (2020)

7. Fracciones Orgánicas del Suelo

Como se mencionó previamente, la MOS está compuesta por una diversidad de sustancias orgánicas, que sufren diferentes procesos biogeoquímicos en el suelo (Soto-Mora et al., 2016), con duración variable (Schmidt et al., 2011; Gunina et al., 2017), lo que resulta en la formación de fracciones orgánicas en el suelo, en función de su estabilidad y sus interacciones mineral-orgánico-biológicas (Hedges et al. 2000). La fracción lábil, llamada también ligera, joven, libre o activa; se compone principalmente de particulados y otros RO de reciente adición al suelo (Zagal et al., 2002). Tiene una vida media corta y su rápida transformación brinda la mayor parte de los nutrientes que consume el ecosistema edáfico; representa del 10 al 30% de la MOS, y se caracteriza

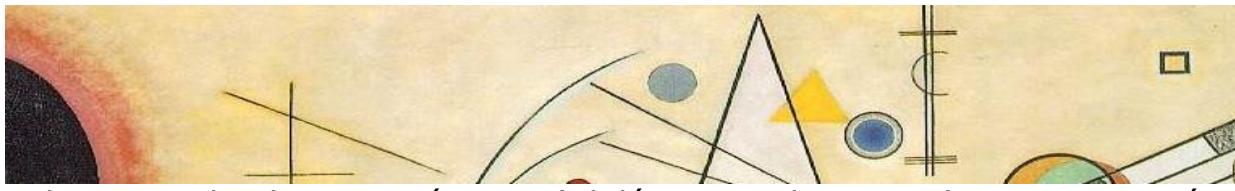
por estar en forma libre, sin interacciones minerales, en un estado intermedio entre los RO y la MOS estabilizada en el suelo (Galantini y Suner, 2008). La fracción húmica comprende la MOS que ha pasado por un proceso de estabilización mineral con mediación biológica, como el descrito por



Kleber et al. (2021); se encuentra en formas químicas más simples y estables en conjugados órgano-minerales, por lo que también es llamada fracción pesada (Zagal et al., 2002). Son sustancias de gran estabilidad que requieren decenas o cientos de años para llegar a las formas húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina) que se relacionan con las tierras oscuras o negras (Galantini y Suner, 2008). Aunque no son rápidamente asimilables por los organismos vivos, su presencia tiene influencia en las propiedades físicas y químicas del suelo, la disponibilidad de nutrientes, la retención de humedad y en general en la calidad del suelo. El contenido de sustancias húmicas varía mucho de acuerdo con el tipo de suelo, en un rango que va, típicamente, del 50 al 80% en tierras negras (Zagal et al., 2002). El contenido orgánico del suelo presente en forma de microorganismos activos metabólicamente, representan alrededor de 5% de la MOS, pero es a partir de esta biomasa que proceden las enzimas que fomentan las trasformaciones de la MOS desde la fracción ligera a la pesada (Galantini y Suner, 2008).

8. Materia Orgánica del Suelo, Actividad Biológica del Suelo y Calidad del Suelo

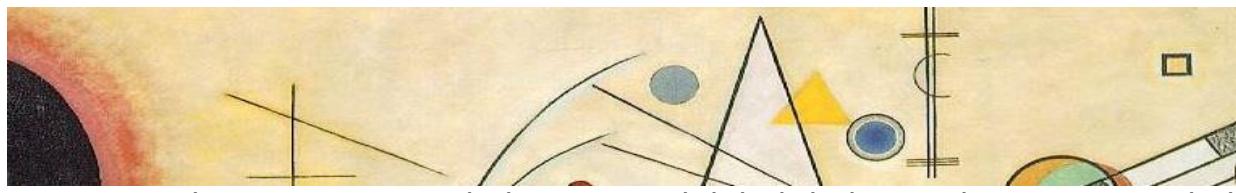
El interés por estudiar y caracterizar científicamente las propiedades que hacen a un “buen suelo” es un tema que ha ocupado a científicos desde hace más de un siglo; por ejemplo, los trabajos de Bernard Augustus Keen (1890-1981), recopilados por Pereira (1982), tuvieron, primeramente, un enfoque en las características físicas del suelo (textura, estructura y humedad). Con el advenimiento de la revolución verde, los avances propiciaron un cambio de enfoque que favoreció el análisis químico de los suelos, con una perspectiva positivista de “consumo y reemplazo de nutrientes”; reemplazo que se obtenía mediante la aplicación directa de tales nutrientes con fertilizantes químicos, circunstancia que llevó a graves daños ecológicos y riesgos para la salud humana y en los ecosistemas, por el uso



indiscriminado de agroquímicos (Chilón-Camacho, 2017). Esta situación, hizo patente la necesidad de un enfoque más holístico, que involucrara en los estudios de suelo todos los componentes y sus interrelaciones (Molina-Zapata, 2021). A finales del siglo pasado, se introdujeron criterios biológicos en los estudios, como se evidencia en los indicadores de suelo recomendados por la Sociedad Americana de Ciencia del Suelo (Karlen et al., 1992), al mismo tiempo que tomaba fuerza el concepto de calidad del suelo; pero no sería hasta la publicación del libro “Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture” en 1993 por la Academia Nacional de Ciencias, que el término tomó relevancia para la creación de políticas públicas con una perspectiva ecológica, donde se reconocía al suelo como un ecosistema, así como la importancia de la MOS, el ecosistema edáfico y la ABS para el aseguramiento de la seguridad alimentaria y la protección del medio ambiente (Karlen et al., 1997). Los parámetros biológicos son hoy en día reconocidos como las mejores aproximaciones al estado de calidad y fertilidad del suelo, gracias a los numerosos avances que han dilucidado la importancia que tiene la MOS, los componentes biológicos del suelo y la ABS para la mineralización de nutrientes, la transformación y estabilización de los RO a formas bioasimilables, la salud del ecosistema edáfico, la protección contra plagas y organismos patógenos, entre otras funciones fundamentales para proporcionar el sustento necesario para la producción primaria y los ecosistemas terrestres (Karlen et al., 1997; Ferreras et al., 2009; Franzluebbers, 2016; Gerke, 2022).

9. Conclusiones

La MOS y la ABS son componentes fundamentales para la calidad y funcionalidad del ecosistema edáfico. Su interrelación influye directamente en la fertilidad del suelo, el ciclo de nutrientes y la estabilidad del COS. La disminución de la MOS y de la ABS, provocadas por prácticas agrícolas



intensivas, han comprometido la sustentabilidad de los suelos, su capacidad para retener COS y la salud de los ecosistemas, incrementando la dependencia de insumos químicos. Para mejorar la salud del suelo y mitigar los efectos del cambio climático, es esencial adoptar estrategias de manejo que favorezcan la conservación y acumulación de la MOS y estimulen la actividad biológica, asegurando así la resiliencia de los ecosistemas agropecuarios. Futuros estudios deberían centrarse en evaluar cómo el manejo del suelo y el cambio climático afectan la interrelación existente entre la MOS y la ABS.



Referencias

1. AYALA-NIÑO, F., Maya-Delgado, Y. y Troyo-Diéquez, E. (2018). Almacenamiento y flujo de carbono en suelos áridos como servicio ambiental: Un ejemplo en el noroeste de México. *Terra Latinoamericana*. 36(2):93-104. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.334>
2. BHAT, N. A., Riar, A., Ramesh, A., Iqbal, S., Sharma, M. P., Sharma, S. K. and Bhullar, G. S. (2017). Soil biological activity contributing to phosphorus availability in vertisols under long-term organic and conventional agricultural management. *Frontiers in Plant Science*. 8:1523. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01523>
3. CHIAPPERO, M. F., Rossetti, M. R., Moreno, M. L. and Pérez-Harguindeguy, N. (2024). A global meta-analysis reveals a consistent reduction of soil fauna abundance and richness as a consequence of land use conversion. *The Science of the Total Environment*. 946:173822. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173822>
4. CHILÓN-CAMACHO, E. (2017). "Revolución Verde" Agricultura y suelos, aportes y controversias. *Aphapi*. 3(3):844–859. http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-93822017000300019&lng=es&nrm=iso
5. FERRERAS, L., Toresani, S., Bonel, B., Fernández, E., Bacigalupo, S., Faggioli, V. y Beltrán C. (2009). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del Suelo (Argentina)*. 27(1):103–114. <https://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v27n1/v27n1a11.pdf>
6. FRAGOSO, C. y Rojas, P. (2010). La biodiversidad escondida: la vida microcósrica en el suelo. *La biodiversidad en México. Inventarios, manejos, usos, informática, conservación e importancia cultural*; 90-134. https://www.researchgate.net/publication/288528690_La_biodiversidad_es_condida_la_vida_microcosmica_en_el_suelo
7. FRANZLUEBBERS, A. J. (2016). Should soil testing services measure soil biological activity? *Agricultural & Environmental Letters*. 1(1):1150009. <https://doi.org/10.2134/ael2015.11.0009>
8. GALANTINI, J. A. y Suñer, L. (2008). Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*. 25(1):41-55 https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2008000100006&lng=es&nrm=iso



9. GERKE, J. (2022). The central role of soil organic matter in soil fertility and carbon storage. *Soil Systems*. 6(2):33.
<https://doi.org/10.3390/soilsystems6020033>
10. GHABBOUR, E. A., Davies, G., Misiewicz, T., Alami, R. A., Askounis, E. M., Cuozzo, N. P., Filice, A. J., Haskell, J. M., Moy, A. K., Roach, A. C. and Shade, J. (2017). National comparison of the total and sequestered organic matter contents of conventional and organic farm soils. *Advances in Agronomy*. 146:1-35 <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2017.07.003>
11. GUNINA, A., Smith, A. R., Kuzyakov, Y. and Jones D. L. (2017). Microbial uptake and utilization of low molecular weight organic substrates in soil depend on carbon oxidation state. *Biogeochemistry*. 133(1):89-100
<https://doi.org/10.1007/s10533-017-0313-1>
12. HASHIMOTO, S., Carvalhais, N., Ito, A., Migliavacca, M., Nishina, K. and Reichstein, M. (2015). Global spatiotemporal distribution of soil respiration modeled using a global database. *Biogeosciences*. 12(13):4121-4132. <https://doi.org/10.5194/bg-12-4121-2015>
13. HEDGES, J. I., Eglinton, G., Hatcher, P. G., Kirchman, D. L., Arnosti, C., Derenne, S., Evershed, R. P. I., Kögel-Knabner, I., de Leeuw, J. W., Littke, R., Michaelis, W. and Rullkötter, J. (2000). The molecularly-uncharacterized component of nonliving organic matter in natural environments. *Organic Geochemistry*. 31:945-958 [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00096-6](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00096-6)
14. HOFFLAND, E., Kuyper, T. W., Comans, R. N. J. and Creamer, R. E. (2020). Eco-functionality of organic matter in soils. *Plant Soil*. 455:1-22. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04651-9>
15. HUANG, B., Zhang, L., Cao, Y., Yang, Y., Wang, P., Li, Z. and Lin, Y. (2023). Effects of land-use type on soil organic carbon and carbon pool management index through arbuscular mycorrhizal fungi pathways. *Global Ecology and Conservation*. 43:e02432.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02432>
16. KARLEN, D. L., Eash, N. S. and Unger, P. W. (1992). Soil and crop management effects on soil quality indicators. *American Journal of Alternative Agriculture*. 7(1-2):48-55.
<https://doi.org/10.1017/s0889189300004458>
17. KARLEN, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F. and Schuman, G. E. (1997). Soil Quality: A concept, definition, and



framework for evaluation (A guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*. *Soil Science Society of America*. 61(1): 4-10.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>

18. KLEBER, M., Bourg, I. C., Coward, E. K., Hansel, C. M., Myneni, S. B. and Nunan, N. (2021). Dynamic interactions at the mineral–organic matter interface. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2(6):402-421
<https://doi.org/10.1038/s43017-021-00162-y>

19. LEHMANN, J. and Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*. 528(7580):60–68.
<https://doi.org/10.1038/nature16069>

20. LIANG, C., Amelung, W., Lehmann, J. and Kästner, M. (2019). Quantitative assessment of microbial necromass contribution to soil organic matter. *Global Change Biology*. 25(11):3578–3590.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14781>

21. LIEBMANN, P., Wordell-Dietrich, P., Kalbitz, K., Mikutta, R., Kalks, F., Don, A., Woche, S. K., Dsilva, L. R. and Guggenberger, G. (2020). Relevance of aboveground litter for soil organic matter formation – a soil profile perspective. *Biogeosciences*. 17(12):3099–3113
<https://doi.org/10.5194/bg-17-3099-2020>

22. MOLINA-ZAPATA, J. E. (2021). Revolución verde como revolución tecnocientífica: Artificialización de las prácticas agrícolas y sus implicaciones. *Revista colombiana de filosofía de la ciencia*. 21(42):175-204 <https://doi.org/10.18270/rcfc.v21i42.3477>

23. MÖLLER, K. (2015). Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 35(3):1021–1041.
<https://doi.org/10.1007/s13593-015-0284-3>

24. MONTAÑO-ARIAS, N. M., Navarro-Rangel, M. del C., Patricio-López, I. C., Chimal-Sánchez, E. y Miguel-de la Cruz, J. (2018). El suelo y su multifuncionalidad: ¿qué ocurre ahí abajo?. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*. 25(3)
<https://doi.org/10.30878/ces.v25n3a9>

25. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). (2015). Suelos y biodiversidad.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a5f11714-3d0b-47d9-a3e4-4aeb19fdad6a/content>



26. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). (2021). Estado del conocimiento sobre la biodiversidad del suelo - Situación, desafíos y potencialidades. Resumen para los formuladores de políticas. <https://doi.org/10.4060/cb1929es>
27. PEREIRA, H. C. (1982). Bernard Augustus Keen, 5 September 1890 - 5 August 1981. Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. Royal Society (Great Britain). 28:205-223.
<https://doi.org/10.1098/rsbm.1982.0010>
28. PORTA-CASANELLAS, J., López-Acevedo, R. M. y Poch-Claret, R, M. (2019). Edafología: uso y protección de suelos. Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 8484767507
29. RYAN, E. M., Ogle, K., Kropp, H., Samuels-Crow, K. E., Carrillo, Y. and Pendall, E. (2018). Modeling soil CO₂ production and transport with dynamic source and diffusion terms: testing the steady-state assumption using DETECT v1.0. Geoscientific Model Development. 11(5):1909–1928.
<https://doi.org/10.5194/gmd-11-1909-2018>
30. SAMUEL, A. D., Brejea, R., Domuta, C., Bungau, S., Cenusu, N. and Tit, D. M. (2017). Enzymatic indicators of soil quality. Journal of Environmental Protection and Ecology. 18(3):871–878.
https://www.researchgate.net/profile/Delia-Mirela-Tit/publication/320617256_Enzymatic_Indicators_of_Soil_Quality/links/5c717401a6fdcc471595c2ce/Enzymatic-Indicators-of-Soil-Quality.pdf
31. SAMUEL, A. D., Bungau, S., Tit, D. M., Melinte, C. E., Purza, L. and Badea, G. E. (2018). Effects of long term application of organic and mineral fertilizers on soil enzymes. Revista de Chimie. 69(10):2608–1612.
<https://doi.org/10.37358/rc.18.10.6590>
32. SANDERMAN, J. and Amundson, R. (2008). A comparative study of dissolved organic carbon transport and stabilization in California forest and grassland soils. Biogeochemistry. 89(3):309–327.
<https://doi.org/10.1007/s10533-008-9221-8>
33. SCHMIDT, M. W. I., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I. A., Kleber, M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D. A. C., Nannipieri, P., Rasse, D. P., Weiner, S. and Trumbore, S. E. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. Nature. 478(7367):49–56. <https://doi.org/10.1038/nature10386>



34. SOTO-MORA, E. S., Hernández-Vázquez, M., Luna-Zendejas, H. S., Ortiz-Ortiz, E. y García-Gallegos, Y. E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 3(5):898–905. <http://reibci.org/publicados/2016/oct/1800105.pdf>
35. VAN DER VOORT, T. S., Verweij, S., Fujita, Y. and Ros, G. H. (2023). Enabling soil carbon farming: presentation of a robust, affordable, and scalable method for soil carbon stock assessment. *Agronomy for Sustainable Development*. 43(1):22. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00856-7>
36. VÉLEZ-AZAÑERO, A. J. E., Vera-Riega, M. A., Valdez-Chávez, S., Martínez-Caja, D. K. and Cutipa-Gutiérrez, F. D. (2024). Métodos para determinar la actividad enzimática en suelos contaminados. *South Sustainability*; 5(1):e092–e092. <https://doi.org/10.21142/ss-0501-2024-e092>
37. VON LÜTZOW, M., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Flessa, H., Guggenberger, G., Matzner, E. and Marschner, B. (2007). SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. *Soil Biology & Biochemistry*. 39(9):2183–2207. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.03.007>
38. ZAGAL, E., Rodríguez, N., Vidal, I. y Flores, A. B. (2002). La fracción Liviana de la materia orgánica de Un suelo volcánico Bajo distinto manejo agronómico Como índice de cambios de la materia orgánica lábil. *Agricultura Técnica*. 62(2):284–296. <https://doi.org/10.4067/s0365-28072002000200011>