



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO”

**TENDENCIAS EN LAS INVESTIGACIONES SOBRE
MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO Y SUSTANCIAS
HÚMICAS EN ZONAS ÁRIDAS Y SUBHÚMEDAS**

Previo a la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Evelyn Mariuxi Plua Chele

LA LIBERTAD, 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO”

**TENDENCIAS EN LAS INVESTIGACIONES SOBRE
MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO Y SUSTANCIAS
HÚMICAS EN ZONAS ÁRIDAS Y SUBHÚMEDAS**

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Evelyn Mariuxi Plua Chele

Tutor: Ing. Daniel Antonio Ponce de León Lima, PhD.

LA LIBERTAD, 2025

TRIBUNAL DE GRADO

Componente práctico de examen complejo presentado por **Evelyn Mariuxi Plua Chele** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniera Agropecuaria de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 07/07/2025.

Ing. Zoot. Verónica Cristina Andrade
Yucailla, Ph.D.
DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Agrop. Johnny Danny Chóez
Baque, M.Sc.
PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Agr. Daniel Antonio Ponce De León
Lima, Ph.D.
PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Agr. Nadia Rosaura Quevedo Pinos,
Ph.D.
PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Com. Washington Vidal Perero
Vera, Mgtr.
ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo Práctico de Examen de Grado de carácter complejo Titulado **“TENDENCIAS EN LAS INVESTIGACIONES SOBRE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO Y SUSTANCIAS HÚMICAS EN ZONAS ÁRIDAS Y SUBHÚMEDAS”** y elaborado por **Evelyn Mariuxi Plua Chele**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

Firma del estudiante

AGRADECIMIENTOS

Agradecida con Dios por la resiliencia que me ha brindado para salir adelante a diario, a pesar de todo lo bueno y lo malo hasta el momento. Brindo mis sinceros agradecimientos al Ingeniero Daniel Ponce de León que a pesar de todo ha sido un excelente docente durante toda la carrera, también, por su dedicación, paciencia y guía durante este proceso de titulación. A mis padres, por su sacrificio y esfuerzo por hacer posible este logro. También, a mis compañeros que durante todo este camino me han brindado su apoyo.

Evelyn Plua

DEDICATORIA

*En primer lugar, dedico este trabajo al creador de todas las cosas,
por brindarme salud y vida, y por permitirme cumplir este logro.
A mamá, papá y hermanos por cada una de las cosas buenas que
me han brindado y enseñado a lo largo de mi pequeña existencia.*

*A mi compañero de vida por su apoyo y amor en todo momento y a
su familia por haberme brindado su apoyo durante toda esta etapa.*

*A mi ángel Carlos, quién, aunque no se encuentre físicamente, lo llevo
siempre en mi corazón.*

También, a cada uno de mis compañeros peluditos.

- *Je les Aime* 

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó un estudio bibliométrico con objetivo de “Identificar las principales tendencias actuales sobre materia orgánica del suelo (MOS) y sustancias húmicas en condiciones secas y sub- húmedas”. La recolección de información se llevó a cabo utilizando descriptores como “húmicas”, “aridez” y “clima tropical” en español e inglés. Se documentó la información con el gestor bibliográfico Zotero 7.0.15, en formato RIS, desde la base de datos Scopus, considerando un periodo de 2009–2025. Se recuperaron 1,418 documentos y fueron devueltos 452 artículos habilitados para esta investigación. Así mismo, se realizó un conteo exhaustivo de datos empleando un tesaurus, que partió de 15 coocurrencias de palabras claves. El análisis bibliométrico se ejecutó mediante el software VOSviewer versión 1.6.20. Este análisis hace evidencia a cuatro áreas principales de estudios en tendencia: el ciclo del carbono y su influencia en la estructura y calidad del suelo; la influencia agronómica de la MOS en productividad y calidad de cultivos; la mediación microbiana de la materia orgánica; y las interacciones químicas de nutrientes (N y P) con la MOS y el agua. Los hallazgos de este estudio reflejan líneas de investigación clave desde enfoques físicos, químicos, biológicos y agronómicos que pueden orientar futuras investigaciones sobre la materia orgánica del suelo y las sustancias húmicas en los suelos áridos de la Península de Santa Elena.

Palabras clave: Suelos áridos, Fertilidad del suelo, Agricultura tropical, Calidad del suelo.

ABSTRACT

In this research, a bibliometric study was conducted to identify the main current trends related to soil organic matter (SOM) and humic substances in dry and sub-humid conditions. Data collection was conducted using descriptors such as "humic," "aridity," and "tropical climate," both in spanish and english. The information was documented using zotero version 7.0.15, in ris format, based on the scopus database, covering the period from 2009 to 2025. A total of 1,418 documents were retrieved, of which 452 met the inclusion criteria for this study. In addition, a comprehensive data count was performed using a thesaurus, based on a minimum of 15 keyword co-occurrences. The bibliometric analysis was performed using vosviewer version 1.6.20. This analysis revealed four main areas of study: (1) the carbon cycle and its influence on soil structure and quality; (2) the agronomic impact of (SOM) on crop productivity and quality; (3) microbial mediation in the transformation of organic matter; and (4) the chemical interactions of nutrients (n and p) with som and soil water. The findings of this study reflect key lines of research from physical, chemical, biological, and agronomic perspectives that can guide future research on soil organic matter and humic substances in the arid soils of the santa elena peninsula.

Keywords: arid soils, soil fertility, tropical agriculture, soil quality.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
Problema	2
Objetivos	2
Objetivo general:	2
Objetivos Específicos:	2
Hipótesis	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Materia orgánica del suelo (MOS)	3
2.2. Clasificación de la Materia Orgánica	4
2.2.1. Sustancias no – húmicas.....	4
2.2.2. Sustancias húmicas.....	4
2.3. Composición física – química de la MOS	5
2.4. Grupos funcionales en la MOS	5
2.4.1. Principales grupos funcionales.....	6
2.5. Importancia y estado actual en zonas áridas y subhúmedas	6
2.6. Factores que afectan la MOS en zonas áridas	7
2.7. Demanda global de la materia orgánica del suelo	7
2.8. Impacto en la agricultura	8
2.9. Procesos de la materia orgánica	9
2.9.1. Mineralización.....	9
2.9.2. Humificación.....	9
2.10. Fuentes de materia orgánica	9
2.10.1. Residuos vegetales	10
2.10.2. Residuos animales	10
2.10.3. Exudados radiculares.....	10
2.10.4. Microorganismos del suelo	10
2.10.5. Compost y enmiendas orgánicas	11
2.11. Fraccionamiento de la materia orgánica en condiciones secas	12
2.11.1. Extracción de sustancias húmicas (método de Nagoya)	12
2.11.2. Hidrólisis ácida.....	12
2.11.3. Fraccionamiento físico	13
2.11.4. Fraccionamiento bioquímico.....	13

2.12. Tendencias científicas actuales	13
3. MÉTODOLÓGÍA DEL ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO.....	14
3.1. <i>Fuentes de datos</i>	14
3.2. <i>Redefinición de la búsqueda</i>	14
3.3. <i>Análisis de datos</i>	14
3.4. <i>Análisis Bibliométrico</i>	15
3.5. <i>Obtención de salidas gráficas e Interpretación de resultados</i>	15
3.6. <i>Generación de propuestas de sublíneas y temáticas de investigación</i>	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1. <i>Análisis de resultados</i>	16
4.2. <i>Descripción de agrupamientos</i>	17
4.2.1. Clúster 1	17
4.2.2. Clúster 2	19
4.2.3. Clúster 3	20
4.2.4. Clúster 4	21
4.3. <i>Propuesta de temáticas de investigación</i>	22
5. CONCLUSIONES	27
6. RECOMENDACIONES	27
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
8. ANEXOS	32

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: clasificación los organismos presentes en el suelo según su tamaño aproximado.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2: Palabras clave por conglomerados obtenidas del mapa en base a coocurrencias en datos bibliográficos procesados en VOSviewer. Los colores de la tabla identifican los colores del mapa.....</i>	<i>17</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Instituciones científicas destacadas en la investigación y datos fundamentales que aportan.</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2: Visualización de la coocurrencia de palabras claves.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3: Visualización de la relación del conglomerado clúster 1.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4: Visualización de la relación del conglomerado clúster 2.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 5: Visualización de la relación del conglomerado clúster 3.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 6: Visualización de la relación del conglomerado clúster 4.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 7: Diagrama de red que muestra las relaciones entre las líneas de investigación propuestas propuestas, obtenida mediante inteligencia artificial generativa con el modelo ChatGPT o4-mini-hight.</i>	<i>26</i>

ÍNDICE DE ANEXOS

1. **Tesaurus anexoado para la interpretación de resultados**

1. INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) es fundamental en los ecosistemas terrestres, su composición se origina de la descomposición y transformación de residuos de plantas y animales en diversas etapas complejas, así como la biomasa microbiana, está estrechamente relacionada con las características biológicas, físicas y químicas del suelo (Zagal and Córdova, 2005).

A nivel global especialmente en zonas áridas y subhúmedas, los desafíos del manejo de la materia orgánica del suelo implican tanto comprender sus procesos biogeoquímicos como implementar soluciones. Entre las tendencias emergentes se destacan la agricultura regenerativa (uso de abonos orgánicos, biochar, siembras de cobertura) y la aplicación de tecnologías avanzadas (teledetección, inteligencia artificial en modelos de SOM) para mejorar el contenido y comprensión de la MOS (Poppiel *et al.*, 2025).

La bibliometría se centra en el recuento de publicaciones existentes en bases de datos bibliográficas con el fin de extraer conclusiones objetivas sobre tendencias del tiempo dentro de un campo de investigación, y que considere parámetros como artículos, citas, coautorías y términos descriptores. Además, permite identificar las principales líneas de investigación, llenar vacíos en lo que confiere el conocimiento de la literatura y observar cambios científicos durante el paso del tiempo (Ge *et al.*, 2024).

Pese a que en zonas templadas o de alta productividad agrícola la MOS ha sido ampliamente estudiada, para ecosistemas áridos tropicales sigue existiendo un vacío del conocimiento. Los suelos de las tierras secas de América Latina en general caen dentro de la “baja salud”, por contaminación de partículas finas y por el contenido de materia orgánica, según estudios recientes, los cuales, además, refuerzan la propuesta de realizar investigaciones locales (Nwaogu *et al.*, 2025).

En el caso de la Península de Santa Elena, existen muy pocos estudios enfocados en la calidad funcional de la MOS bajo los usos de suelo típicos de la región. Este vacío de información es lo que motivó el desarrollo del presente trabajo bibliométrico, cuyos objetivos son Identificar las tendencias actuales de investigación más relevantes en materia orgánica del suelo y sustancias húmicas en ambientes secos y subhúmedos de acuerdo con la bibliografía existente, en las últimas décadas, dentro del intervalo de años (2009-2025) y su relación con el uso del suelo.

Problema

¿Cuál es la tendencia en las investigaciones sobre la materia orgánica y sustancias húmicas en condiciones secas y subhúmedas en los últimos quince años?

Objetivos

Objetivo general:

Identificar las tendencias actuales en la investigación sobre materia orgánica y sustancias húmicas en condiciones secas y subhúmedas mediante un estudio bibliométrico.

Objetivos Específicos:

1. Realizar una revisión bibliográfica general sobre materia orgánica y sustancias húmicas.
2. Identificar las tendencias actuales en la investigación de la materia orgánica del suelo y sustancias húmicas en zonas secas y subhúmedas.
3. Proponer líneas de investigación de la materia orgánica del suelo y sustancias húmicas para la Península de Santa Elena.

Hipótesis

La identificación de temáticas de investigación sobre materia orgánica del suelo y las sustancias húmicas para las condiciones secas y subhúmedas de la Península de Santa Elena es posible a partir de estudios bibliométricos.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En la última década, las prácticas agrícolas y el clima han ejercido una influencia considerable sobre la materia orgánica del suelo, incidiendo tanto en su calidad como en su cantidad. El presente análisis bibliométrico tiene como finalidad examinar las tendencias científicas relacionadas con la influencia de la calidad de la materia orgánica en condiciones secas y subhúmedas de la península de Santa Elena, a partir de la recopilación de la literatura existente.

2.1. Materia orgánica del suelo (MOS)

Durante los últimos diez años, el estudio de la materia orgánica del suelo (MOS) ha experimentado un notable crecimiento, reconociendo su papel crucial en la mitigación del cambio climático. Este auge de interés ha dado lugar a múltiples estudios bibliométricos y revisiones temáticas. Por ejemplo, una revisión reciente muestra un significativo aumento en la investigación sobre el carbono orgánico del suelo (COS) entre 2000 y 2023 (Ge *et al.*, 2024).

Según el estudio de Quiroga, *et al.*, (2017) la transformación de la materia orgánica en el suelo es un proceso constante y en evolución. Sus propiedades cambian de manera sistemática con el tiempo. Los materiales más recientes tienen una función biológica a diferencia de aquellos de edad intermedia los cuales contribuyen de manera significativa al estado físico edáfico, y los más antiguos determinan en gran medida su actividad físico-química del suelo.

El estudio de Mihai *et al.*, (2023) destaca la importancia de los suelos costeros de Ecuador para la producción agroalimentaria, ya que son ricos en nutrientes y materia orgánica, esenciales para cultivos rentables como el cacao y el banano. No obstante, en regiones como Santa Elena, el clima que va de semiárido a árido provoca niveles muy reducidos de materia orgánica, lo cual no solo ralentiza el proceso de humificación, sino que también acelera la descomposición de los restos orgánicos sin permitir la formación de un humus estable (Suárez *et al.*, 2024).

2.2. Clasificación de la Materia Orgánica

2.2.1. Sustancias no – húmicas

Bot *et al*, (2005) recalcan que las sustancias no húmicas comprenden compuestos orgánicos que provienen de restos vegetales o animales frescos. En este grupo se hallan lípidos, ácidos orgánicos de bajo peso molecular, carbohidratos simples y polisacáridos, aminoácidos, aminoazúcares, proteínas, ácidos nucleicos y lignina. Constituyen la fracción más activa de la materia orgánica del suelo debido a su rápida descomposición y a su sensibilidad frente a factores como el clima, la disponibilidad hídrica del suelo, el estado fenológico de la vegetación, el aporte de residuos orgánicos y las prácticas agrícolas

Dentro de las sustancias no húmicas, se identifican las siguientes subcategorías:

La Materia orgánica particulada (POM): está formada por fragmentos de origen vegetal o animal que se encuentra en las etapas tempranas de descomposición y aún conservan la integridad de sus células. Estos elementos son cruciales por que proporcionan carbono y nutrientes esenciales, a los microorganismos del suelo. Sin embargo, su vida útil es corta, generalmente de diez años.

Materia orgánica disuelta (DOM): moléculas solubles, tales como azúcares simples, aminoácidos y ácidos orgánicos que los microorganismos pueden incorporar con facilidad y cuya residencia en el suelo no supera un año.

Residuos frescos: restos biológicos de origen vegetal o animal, que aún no han comenzado a descomponerse de manera significativa.

Compuestos específicos: incluyen lípidos, proteínas, carbohidratos y ácidos nucleicos, que al incorporarse al suelo conforman el reservorio no húmico.

2.2.2. Sustancias húmicas

Las sustancias húmicas tienden a ser compuestos de alta complejidad estructural y alta resistencia a la degradación microbiana. Aunque predominan en suelo, también están distribuidas ríos, océanos y en formaciones geológicas. No poseen una estructura química definida, ya que su composición depende del tipo de material original, del ambiente de

formación y de los métodos de extracción (Lobartini and Orioli, 1996). Debido a que las sustancias húmicas carecen de una estructura química específica, se definen en tres fracciones principales según su solubilidad en agua a distintos valores de pH: los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y las Huminas.

2.3. Composición física – química de la MOS

La materia orgánica está compuesta por una mezcla de compuestos químicos que incluyen principalmente carbonatos, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, fosforo y azufre. Estos elementos forman moléculas orgánicas como carbohidratos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos y compuestos fenólicos, entre otros. En su estado natural suele encontrarse en forma de residuos vegetales, microorganismos muertos y productos de su descomposición o físicamente, donde puede presentarse como material sólido, semisólido o en suspensión en el suelo o en otros medios.

Julca *et al.*, (2006) describen que la presencia de sustancias húmicas, grupos funcionales con carga y compuestos polares, determina propiedades físicas clave como la estructura, retención de agua, color, temperatura y estabilidad del suelo. Las cuales, son esenciales para la fertilidad, conservación y funcionamiento del suelo.

2.4. Grupos funcionales en la MOS

La materia orgánica del suelo (MOS) contiene grupos funcionales ricos en oxígeno y carbono derivados de la materia vegetal y microbiana. El estudio espectroscópico presentado por Margenot *et al.*, (2015) identifica las principales estructuras:

- a) Alquílicas (C–C, C–H saturados),
- b) O-alquílicas (C–O–C de carbohidratos)
- c) Aromáticas (anillos bencénicos, fenoles)
- d) Carbonílicos (C=O, carboxilos).

Otro estudio enfoca los grupos funcionales más referenciados que incluyen carboxilos, fenoles, éteres/alcoholes (hidroxilos), amidas/amidas, lignina/derivados aromáticos y polisacáridos, todos detectables por técnicas espectroscópicas (Ikeya, 2015).

2.4.1. Principales grupos funcionales

Grupo hidroxilo (-OH): se halla en carbohidratos, alcoholes, lípidos y proteínas. Es polar y soluble en agua, además, está implicado en las reacciones de síntesis y degradación de las biomoléculas.

Carbonilo (C=O): presente en aldehídos, cetonas, ésteres y amidas. Contribuye a la polaridad y reactividad de las moléculas, determinando la interacción química de la materia orgánica.

Grupo carboxilo (-COOH): propio de ácidos orgánicos como los ácidos húmicos y fúlvicos. Es ácido, puede ionizar y liberar protones contribuyendo a la capacidad de intercambio catiónico y a la acidificación del suelo.

Grupo Amino (-NH₂): Se encuentran aminoácidos y proteínas. Es básico y polar, participa de enlaces peptídicos y de interacción con otras sustancias inorgánicas y orgánicas.

Grupo fosfato (-PO₄): fundamental en ácidos nucleicos y fosfolípidos, aporta carga negativa y reactividad química a la materia orgánica.

Grupo sulfhídrico (-SH): son menos abundantes, aunque lo encontramos en compuestos sulfurados. También altera la reactividad y estabilidad de ciertas moléculas orgánicas.

2.5. Importancia y estado actual en zonas áridas y subhúmedas

La importancia de la materia orgánica (MO) es un importante componente para la salud del suelo, por su influencia en la retención de agua, la fertilidad y el clima. Para varios estudios, incrementar la MOS, incrementa la capacidad de los suelos para almacenar agua útil, mejora el acceso al agua para las plantas, y, por tanto, la resiliencia de los suelos ante la falta de agua o sequías (Lal, 2020). De igual manera, la MOS libera nutrientes de lenta disponibilidad que elevan la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Robert, 2002).

Estudios en regiones áridas de América: por ejemplo, en los bosques secos de Argentina donde el uso intensivo de las prácticas agrícolas reduce notablemente la MOS y las fracciones húmicas. Vázquez *et al.*, (2016) señalaron que el cambio de bosque

nativos a áreas destinadas a la ganadería redujo entre un 50% y un 75% los niveles de ácidos húmicos y fúlvicos en el suelo, lo que evidencia la alta vulnerabilidad de estos ecosistemas frente a alteraciones humanas.

Las regiones áridas y semiáridas tropicales se caracterizan por tener niveles naturalmente bajos de materia orgánica en el suelo. En el caso de la Península de Santa Elena, predomina un clima muy seco; Espinosa and Lima (2019) clasificaron sus suelos como Typic Haplocambids de textura franco- arcillo- arenosa y con bajo contenido de materia orgánica. Diferentes estudios recalcan que las zonas áridas de América latina acumulan poca materia orgánica y pueden perderla fácilmente bajo uso intensivo, señalando lo crucial que es la gestión adecuada para su conservación.

2.6. Factores que afectan la MOS en zonas áridas

La materia orgánica del suelo está condicionada por el tipo de suelo y las prácticas de manejo agrícola. Según estudios reciente, el cambio de bosques nativos hacia usos agropecuarios, como cultivos o pastizales, genera una pérdida significativa de carbono, lo cual afecta la estabilidad de las fracciones orgánicas del suelo (Vázquez *et al.*, 2016). Del mismo modo, señalaron que el riego controlado y la acumulación de materia orgánica en los horizontes atribuyen a mayor presencia de residuos orgánicos en la capa superior del perfil edáfico.

La presencia de sales y la baja fertilidad son también limitantes comunes en los suelos de Santa Elena. Mediante la evaluación cualitativa de suelos en la parroquia colonche se vieron reflejados bajos contenidos de MOS y presencias de sales, lo que afecta negativamente la estructura y fertilidad del suelo. Como también, reflejó una baja actividad biológica, siendo este otro factor que afecta la formación de la MOS (Cercado Quiñónez, 2021).

2.7. Demanda global de la materia orgánica del suelo

El interés científico por la materia orgánica del suelo dentro del ámbito agrícola ha experimentado un notable crecimiento en la última década, observándose un aumento casi exponencial en el número de publicaciones anuales desde 2020. En la actualidad, se publican más de 80 artículos al año sobre este tema, en contraste con los escasos trabajos registrados en el año 2000. China encabeza la investigación en MOS, con alrededor de 367 publicaciones entre 2000 y 2023. Le siguen Estados Unidos e India, aunque este

último país tiene una menor participación en colaboraciones internacionales ((Ge *et al.*, 2024).

Las instituciones más activas son chinas, encabezadas por la Academia China de Ciencias y otras universidades agrícolas destacadas; también figuran entidades estadounidenses como el USDA-ARS y la Universidad Estatal de Iowa. En cuanto a autores, sobresalen Yakov Kuzyakov (Alemania), Ge Tida y Wu Jinshui (ambos de China), siendo Kuzyakov un nodo clave en las redes de coautoría centradas en estudios sobre mineralización y manejo del carbono en suelos (Zhang *et al.*, 2023).

La producción científica sobre materia orgánica del suelo específica de la provincia de Santa Elena es muy escasa. Sólo se identificaron unos pocos trabajos relevantes en 2015- 2025, con un ligero repunte en años recientes (sobre todo en tesis locales de 2022) (Peña, 2022). Por ejemplo, Espinosa and Lima, (2019) publicaron un artículo sobre suelos de Río Verde, Santa Elena, y en 2022 se defendieron al menos tres trabajos de grado sobre reservas de carbono en cuencas locales (Tumbaco, 2022).

Rank	Institute	Articles	Percentage	Centrality [†]	Country
1	Chinese Academy of Sciences	395	12.0%	0.43	China
2	Chinese Academy of Agricultural Sciences	88	2.6%	0.04	China
3	USDA-agricultural research service	79	2.4%	0.07	USA
4	Northwest A&F University of China	75	2.2%	0.04	China
5	Agriculture & Agri-Food Canada	72	2.1%	0.09	Canada
6	China Agricultural University	62	1.8%	0.07	China
7	Iowa State University	41	1.2%	0.02	USA
8	Spanish National Research Council (CSIC)	40	1.2%	0.04	Spain
9	University of California Davis	39	1.1%	0.04	USA
10	Zhejiang University	38	1.1%	0.01	China

Figura 1: Instituciones científicas destacadas en la investigación y datos fundamentales que aportan.

2.8. Impacto en la agricultura

La presencia de materia orgánica en el suelo es crucial al estimular la formación y estabilización de agregados, que varían en tamaño y se clasifican como particulares, colinarios y granulares. Las prácticas de manejo, como la labranza, la rotación de cultivos, la aplicación de fertilizantes y la gestión de residuos, ejercen influencia en las transformaciones de la materia orgánica del suelo (MOS). Estas prácticas no solo determinan la cantidad y calidad de los residuos que ingresan al suelo, sino también su distribución en la superficie y su destino ya sea en la capa superficial o en las capas más profundas del suelo (Zagal and Córdova, 2005).

2.9. Procesos de la materia orgánica

La transformación de la materia orgánica implica dos procesos simultáneos: La mineralización y la humificación.

2.9.1. Mineralización

La descomposición de restos vegetales que se transforman en materia orgánica, se la considera como mineralización. Este proceso es muy importante, ya que, al transformarse en compuestos inorgánicos, es decir, sales minerales pueden ser utilizado de nuevo por las plantas. Es el proceso por el cual la materia orgánica se descompone en compuestos inorgánicos simples, como nitratos, fosfatos y sulfatos, que son fácilmente absorbidos por las plantas.

Yu *et al.*, (2022) plantean que se encuentra una mayor concentración de mineralización en altos niveles de carbono del sustrato cuando aumenta la temperatura. Es más intensa en regiones con clima cálidos y húmedos y suelos bien aireados. Sin embargo, es poco intensa en climas fríos donde la vegetación suele ser abundante debido a la acumulación de humus, el cual suele tornarse de color negro.

2.9.2. Humificación

La humificación es un proceso de transformación de residuos orgánicos en compuestos humificados estables que determina en gran medida la calidad de la MOS mediante descomposición microbiana y reacciones químicas. Se la considera un proceso lento, que puede tardar semanas hasta varios años, esto depende mucho de las condiciones ambientales y el tipo de residuos orgánicos.

Según Alcaraz, (2016) durante la humificación, la materia orgánica se convierte en sustancias húmicas, que se agrupan en Huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Además, la humificación es un proceso que contribuye al secuestro de carbono en el suelo, disminuyendo la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, lo que tiene implicaciones positivas para la sostenibilidad ambiental.

2.10. Fuentes de materia orgánica

En la última década, la investigación científica sobre las fuentes de materia orgánica (MO) en suelos agrícolas ha identificado diversas prácticas y materiales que contribuyen significativamente al contenido de carbono orgánico del suelo (COS), mejorando así la

fertilidad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas. A continuación, se presentan las fuentes más destacadas, respaldadas por estudios recientes:

2.10.1. Residuos vegetales

La incorporación de residuos de cosecha, como rastrojos y raíces, contribuye al aumento del COS. Mediante el análisis planteado por Ge *et al.*, (2024) en sistemas de rotación arroz-trigo, el retorno de residuos al campo ha incrementado significativamente el carbono microbiano y la materia orgánica disuelta.

2.10.2. Residuos animales

El estiércol es una fuente rica en nutrientes y carbono. Su aplicación ha demostrado aumentar significativamente el COS en diferentes tipos de suelos. Por ejemplo, Bai *et al.*, (2023) señalan que en suelos limosos de China, la combinación de fertilizantes minerales (NPK) con estiércol de vaca o cerdo elevó el COS a 20.3 y 12.9 g C kg⁻¹ respectivamente, en comparación con 8.3 g C kg⁻¹ usando solo NPK.

2.10.3. Exudados radiculares

Según la investigación de muchos estudios se dio a conocer que la exudación radicular influye en la disponibilidad y movilización de nutrientes del suelo. Aunque no está del todo resuelto como se controla la exudación y en como benefician al suelo, la mayoría de los exudados como azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos, se liberan de forma pasiva y son aprovechados por los microorganismos de la rizosfera (Canarini *et al.*, 2019).

2.10.4. Microorganismos del suelo

Un caso sobre esta temática es el estudio realizado por Mora *et al.*, (2019) donde recalca que el suelo es un organismo vivo por que alberga una amplia diversidad de macro y microorganismos que interactúan entre sí y desempeñan múltiples funciones esenciales para los ciclos globales de la naturaleza, considerándose como uno de los ecosistemas más complejo. En la **Tabla 1** se muestran los organismos presentes en el suelo clasificados según su tamaño aproximado.

Tabla 1: clasificación los organismos presentes en el suelo según su tamaño aproximado

Categoría	Subcategoría	Tamaño aproximado	Ejemplos representativos
Microorganismos	Microflora	Menor a 5 μm	Bacterias, hongos
	Microfauna	Menor a 100 μm	Protozoarios, nematodos
Meso organismos		100 μm – 2 mm	Ácaros, rotíferos, tardígrados, colémbolos y gusanos de primavera
Macroorganismos		Mayor de 2 mm	Lombrices, milpiés, caracolas, babosas, termitas, hormigas y escarabajos.
Plantas		Algas: 10 μm Raíces: mayor a 10 μm	Algas microscópicas y raíces de plantas.

Los microorganismos son fundamentales para asegurar la fertilidad de los suelos, el crecimiento vegetal y, en consecuencia, la sostenibilidad de la agricultura. Son importantes en la conversión de residuos orgánicos en nutrientes, fijación de nitrógeno, producción de enzimas y ácidos orgánicos. Sintetizan, además, hormonas que promueven el desarrollo vegetal, control biológico y contribuyen a la formación de agregados estables del suelo, facilitando el crecimiento radicular.

2.10.5. Compost y enmiendas orgánicas

Estudios indican que el compost tiende a aumentar la diversidad y abundancia de microbios beneficiosos (bacterias y hongos) que a su vez mejoran la disponibilidad de nutrientes y suprimen plagas y enfermedades, se establece como una alternativa para el manejo de residuos orgánicos para obtener un producto higienizado y estable, apto para su aplicación como enmienda orgánica al suelo (Tahseen *et al.*, 2020).

Varios autores descubrieron mediante una investigación que los cultivos (maíz y trigo) presentan rendimientos más altos cuando el contenido de carbono orgánico del suelo (SOC) es mayor. De hecho, los autores estiman que elevar el SOC hasta aproximadamente 2 % puede aumentar el rendimiento en un 10–20 % para maíz y más aún para trigo (Oldfield, et al, 2019). Para lo cual, sugieren que prácticas como la aplicación de compost ayudan a cerrar brechas de rendimiento y pueden reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos ahorrando hasta un 5–10 % del N.

Ouyang, et al (2022) al igual que muchos estudios, señalan que fertilizar con compost produce aumentos de rendimiento significativos en cultivos, con promedio del 30–40 % en el primer año tras la enmienda orgánica.

2.11. Fraccionamiento de la materia orgánica en condiciones secas

En suelos áridos como la Península de Santa Elena (Ecuador), la materia orgánica del suelo (MOS) presenta baja concentración, y su calidad funcional es un factor crítico para mantener la fertilidad edáfica y promover el secuestro de carbono. Para caracterizar sus distintos grados de estabilidad, se aplican técnicas de fraccionamiento de la MOS, que permiten separar sus componentes en fracciones lábiles y recalcitrantes mediante procedimientos físicos, químicos o bioquímicos (Landriscini *et al.*, 2020).

2.11.1. Extracción de sustancias húmicas (método de Nagoya)

El fraccionamiento químico de la MOS mediante soluciones alcalinas y ácidas es uno de los métodos más documentado en la literatura sobre estudios de calidad de la materia orgánica (MO). En este enfoque, se extraen compuestos solubles e insolubles en función de su comportamiento en medios con distinto pH y constituye una técnica estándar para evaluar el estado y la calidad funcional de la MO, especialmente en suelos áridos y semiáridos (Valencia, *et al.*, 2022).

2.11.2. Hidrólisis ácida

Técnica que implica el tratamiento de las muestras con ácido diluido (por ejemplo, HCl 6 N) bajo condiciones de reflujo. Disuelve y elimina los compuestos orgánicos de fácil degradación, como proteínas, carbohidratos y ácidos orgánicos, dejando como residuo una fracción orgánica no hidrolizable, altamente recalcitrante. Este procedimiento, según permite calcular el denominado índice de recalcitrancia, que

expresa la proporción del carbono total que no es susceptible de hidrólisis ácida, proporcionando así una estimación del potencial de estabilización del carbono frente a perturbaciones ambientales o prácticas de manejo.

2.11.3. Fraccionamiento físico

Este método se basa en la separación de la MO en función del tamaño de partícula o de la densidad, mediante técnicas como tamizado húmedo, sedimentación y flotación en líquidos pesados. Son técnicas menos invasivas que las químicas y permiten conservar parcialmente la estructura del suelo, facilitando así la interpretación de los procesos de estabilización del carbono (Martínez *et al.*, 2008).

2.11.4. Fraccionamiento bioquímico

En base al estudio de Galantini and Suñer, (2008) este es el método menos empleado en estudios de campo. Su principal característica es medir el carbono lábil a corto plazo, constituyendo una reserva energética clave para la actividad microbiana. En condiciones áridas donde la biomasa microbiana es naturalmente baja, estos métodos son más bien indicadores de la condición, presencia y actividad biológica y funcional del suelo, que herramientas de evaluación de las más estables y de larga persistencia fracciones de carbono del suelo.

2.12. Tendencias científicas actuales

Según el análisis de Corsi *et al.*, (2022) recalcan en como los bioestimulantes basados en ácidos húmicos y fúlvicos ha crecido notablemente en la última década. Por ejemplo, en el año 2017 se generaron 69 artículos, 132 en 2018 y 164 en 2019, alcanzando 298 en 2021. Los países líderes en este ámbito son Italia (18%), seguido de Polonia (13), Brasil (8%), España (7%) y Estados Unidos (6%).

En el ámbito local de la provincia de Santa Elena, un estudio de campo reportó que la fertilización foliar con ácido fúlvico y húmico aumentó el rendimiento de maíz, donde el mejor tratamiento (6 cc por planta) alcanzó ~249,7 qq/ha Ángel, (2023). Otro ejemplo, es una de las investigaciones de la Universidad Estatal península de Santa Elena (UPSE) donde han evidenciado que la aplicación conjunta de compuestos húmicos y hongos micorrizas favorecen al aumento de la biomasa y mejora de absorción de nutrientes en plantas de maíz (Pinos *et al.*, 2019).

3. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

Para realizar el análisis bibliométrico se tuvieron en cuenta las siguientes etapas:

- a) Selección de la fuente de información.
- b) Definición de Indicadores Bibliométricos.
- c) Análisis Estadístico.
- d) Interpretación y Presentación de Resultados.
- e) Otras consideraciones: La investigación se define en el contexto de los estudios realizados fundamentalmente en zonas áridas y subhúmedas, mediante la definición de criterios de búsqueda con una etapa final de validación de la información.

3.1. Fuentes de datos

Con el fin de lograr un alcance amplio, se realizó una búsqueda en fuentes bibliográficas publicadas en **Scopus**, con el propósito de recopilar bases de datos en la rama de **Agricultura y Ciencias biológicas**, así como en **Ciencias Ambientales** que comprendieran los términos de suelos de sustancias **húmicas, aridez y clima tropical**.

3.2. Redefinición de la búsqueda

La búsqueda se restringió en base a los siguientes criterios: 1,418 artículos (Agricultural and Biological Sciences) y 983 (Environmental Science) abarcando un período de análisis de los últimos quince años (2009-2025). Anexando artículos publicados en revistas de acceso abierto según la introducción de búsqueda avanzada: TITLE-ABS-KEY (soil) AND ("humic substance") AND (arid) AND (tropical) AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2026 AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SRCTYPE, "j")) AND (LIMIT-TO (OA, "all")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE, "final")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "AGRI")) OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENVI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")), lo cual devolvió 452 documentos habilitados para esta investigación.

3.3. Análisis de datos

La recolección de documentos fue exportado al gestor bibliográfico Zotero 7.0.15, en formato RIS con el siguiente contenido: Información de la cita: autor(es); título del documento; año; EID; título de la fuente; volumen, número, páginas; número de citas; fuente y tipo de documento; etapa de publicación; DOI; acceso abierto. Por otra parte, los

criterios de Información bibliográfica fueron: afiliaciones; identificadores seriados (por ejemplo, ISSN); ID de PubMed; editorial; editor(es); idioma del documento original; dirección para correspondencia; título abreviado de la fuente.

Resumen y palabras clave: resumen; palabras clave del autor; palabras clave indexadas.

3.4. *Análisis Bibliométrico*

El análisis bibliométrico se realizó mediante el software VOSviewer Versión 1.6.20, a partir de las fuentes bibliográficas de la base de datos en Scopus. (RIS). El tipo de análisis y método de conteo fue a partir de 15 coocurrencias de palabras claves por conteo exhaustivo utilizando el tesauro. Se quitaron palabras como “artículo”, “química”, “China”, “no humano” y “estudio controlado”. VOSviewer agrupa estas palabras por temas según el color. La densidad en términos de aparición de palabras clave queda representada por el tamaño de las burbujas o cuadrados, mientras que el tamaño de las líneas o curvas definen la intensidad de la relación entre conceptos.

3.5. *Obtención de salidas gráficas e Interpretación de resultados*

Un tesauro fue creado para el análisis, que agrupó las palabras clave con el mismo significado, utilizando sinónimos y homólogos. Se concentraron los hiperónimos en términos que designan clases, conceptos, relaciones o funciones afines.

Las palabras clave que representan el mismo significado semántico se agrupan en uno solo, por ejemplo, sustancias húmicas y humus. Sin embargo, se separan ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

3.6. *Generación de sublíneas y temáticas de investigación*

Para la generación de sublíneas y temáticas de investigación se organizó la base bibliográfica resultado de la búsqueda en el gestor Zotero versión 7.0.15 realizando búsquedas por conceptos mediante palabras clave identificada en cada clúster formado.

Luego se utilizó inteligencia artificial generativa (IAG: ChatGPT modelo o4-mini-high) para agrupar y establecer un orden lógico en las propuestas acordes a los clústeres formados mediante una gráfica de redes.

Tabla 2: Palabras clave por conglomerados obtenidas del mapa en base a coocurrencias en datos bibliográficos procesados en VOSviewer. Los colores de la tabla identifican los colores del mapa.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
<ul style="list-style-type: none"> -Agregados del suelo -Agricultura -Biogeoquímica -Bosques -C. Lábil -Cambio climático -Captura de C -COS -Ecosistemas -Estructura del suelo -MOS -RMN -Suelos -Uso del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> -Biochar -Calidad del suelo -Compost -Contaminación del suelo -Cultivo -Estiércol -Fertilidad del suelo -Fertilizante -Mejoramiento del suelo -Propiedades del suelo -Rendimiento -SH -Ácidos fúlvicos -Ácidos húmicos 	<ul style="list-style-type: none"> -Actividad biológica -Actividad enzimática -Bacterias -CBM -CO2 -Microorganismos 	<ul style="list-style-type: none"> -Agua del suelo -N -Nutrientes -P -Química del suelo
<p>Parámetros: unidad de análisis de palabras clave; método de conteo completo; número mínimo de ocurrencias 15. De las 786 palabras clave; 26 alcanzan el umbral; 39 ítems; 4 grupos; 636 enlaces; fuerza total del enlace: 3177.</p>			

4.2. Descripción de agrupamientos

4.2.1. Clúster 1

La **Figura 3** detalla las relaciones del conglomerado uno. Este agrupamiento representa el complejo edáfico relacionado al ciclo biogeoquímico del carbono y su estrecha relación con la estructura del suelo, en conceptos como “suelos”, “biogeoquímica”, “estructura del suelo” y “agregados del suelo”, así como su papel en el ecosistema y el cambio climático, a través de investigaciones predominantemente dedicada a la captura de carbono.

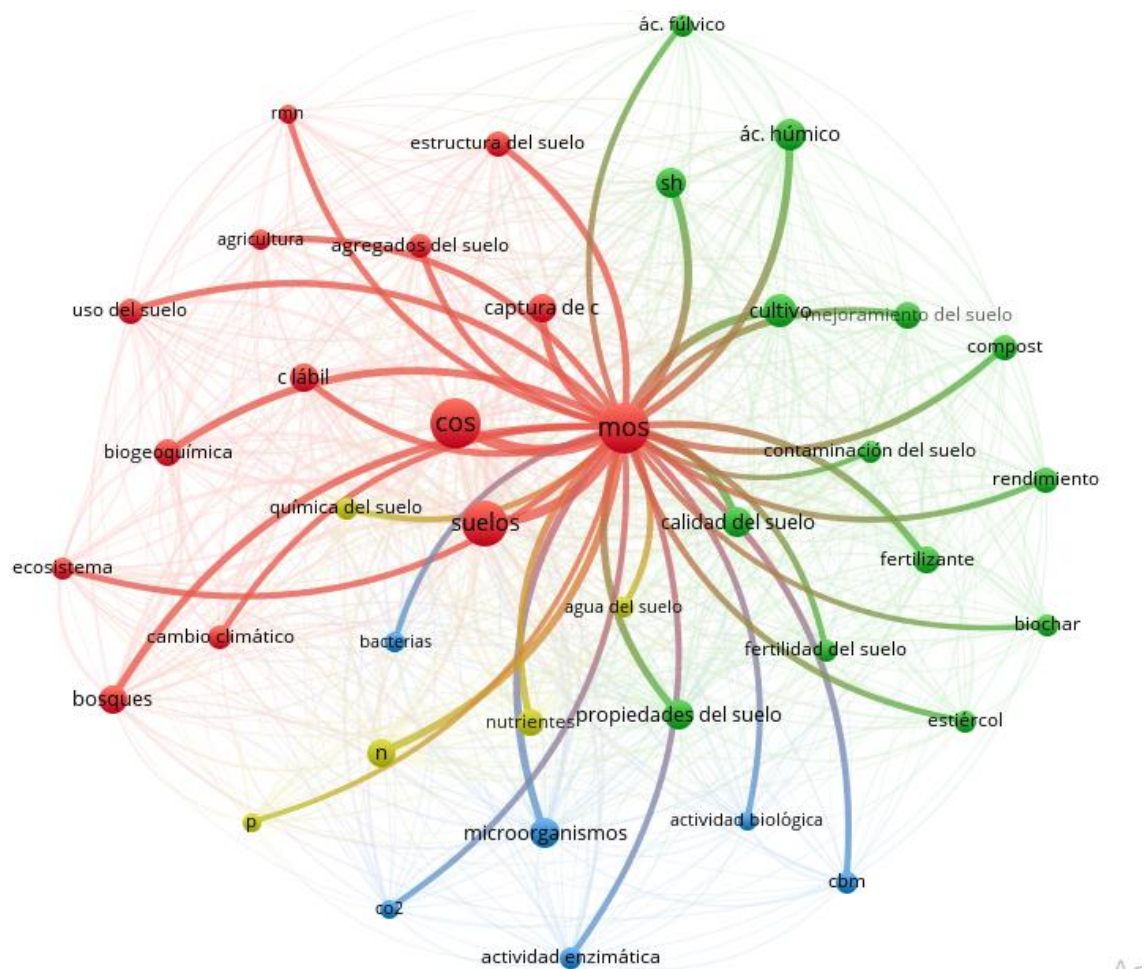


Figura 3: Visualización de la relación del conglomerado clúster 1.

Las relaciones dentro de este grupo se pueden observar en investigaciones como la de Du *et al.* (2017), en donde se estudió la transición entre un sistema de labranza convencional y uno de labranza cero, y se pudo determinar que la estratificación del COS y la composición química del mismo mejora cuando no se aplica un labrado y además se complementa con la adición de materia orgánica. Siguiendo bajo esta misma línea, la relación entre la captura de carbono y las reservas de carbono se evidencia en el estudio de Cardoso *et al.* (2015), donde se comparó un cultivo de mango con una parcela compuesta por vegetación nativa y se halló que, en el cultivo irrigado de mango las fracciones de ácido fúlvico, ácido húmico, Huminas y sustancias húmicas se vieron incrementadas.

encontrados demostraron que la aplicación de fertilizantes orgánicos implica el aumento de glomalinas las cuales son sustancias producidas por hongos micorrícicos y que se demostró su concentración es proporcional a la cantidad de materia orgánica en suelo.

4.2.3. Clúster 3

La **Figura 5** detalla las relaciones del conglomerado tres. Este agrupamiento demuestra la actividad microbiológica en conjunto con los “microorganismos”, “la actividad biológica” y “enzimática” vinculadas con la materia orgánica del suelo y sustancias húmicas, a través de procesos microbianos responsables de la descomposición y transformación orgánica.

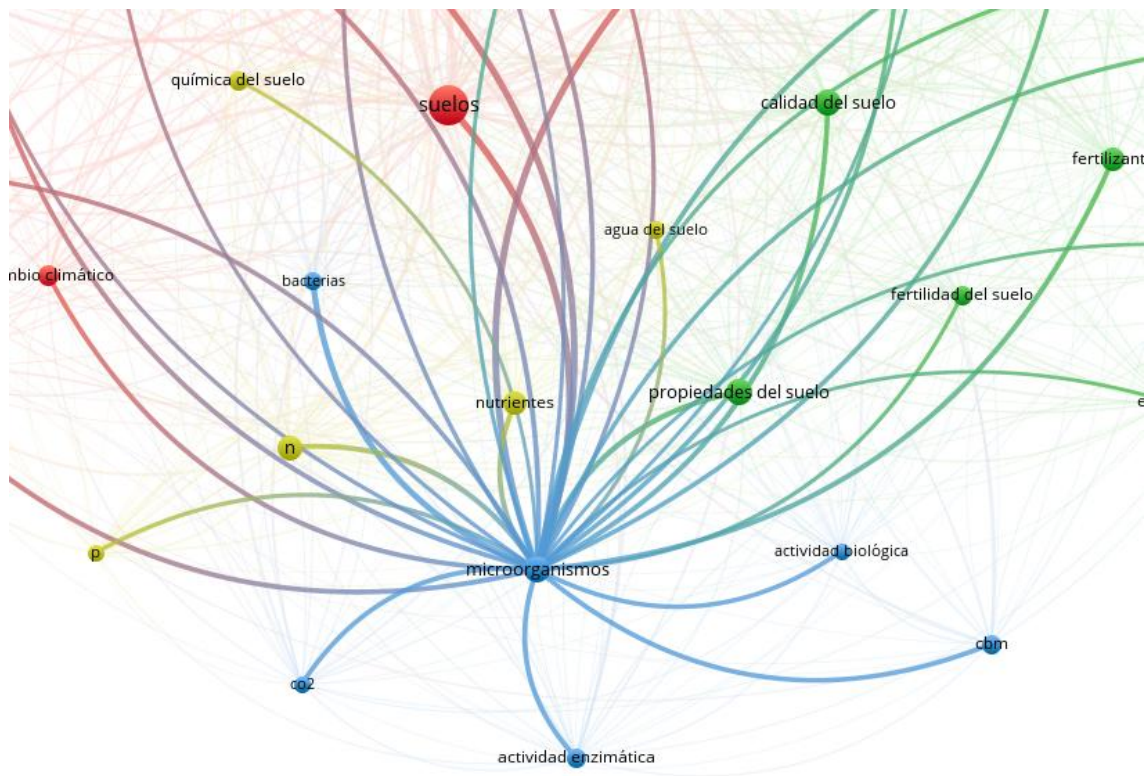


Figura 5: Visualización de la relación del conglomerado clúster 3

Entre las relaciones biológicas encontradas resalta la expuesta por Santos *et al.* (2021), entre el carbono y la acción de las lombrices de tierra en una región semiárida, las cuales contribuyen a generar mayores concentraciones de Carbono, Carbono orgánico total y carbono lábil; mas no modifica la cantidad ni el tipo de arcillas en suelo. Paralelamente Malik *et al.* (2021), encontró que la comunidad microbiana en suelos inceptisoles de Pakistan se ve recuperada cuando los mismos se someten a aplicaciones de enmiendas

orgánicas las cuales a su vez reducen la concentración de metales pesados los cuales disminuyen la población microbiana.

4.2.4. Clúster 4

En la **Figura 6** detalla las relaciones del conglomerado cuatro. En el último clúster identificado, los términos "nitrógeno" y "fósforo" emergen como ejes centrales, revelando una fuerte conexión con la temática del suelo, tanto desde una perspectiva química como funcional. Este grupo de términos refleja el interés sostenido de la comunidad científica por estudiar el comportamiento y la disponibilidad de estos nutrientes esenciales en distintos contextos edáficos. Las relaciones que se trazan con conceptos como "propiedades del suelo", "química del suelo" y "agua del suelo" sugieren un enfoque integral en el análisis de los ciclos biogeoquímicos, especialmente en lo que respecta a la dinámica de los nutrientes y su interacción con factores fisicoquímicos del medio. La presencia de este clúster refuerza la importancia del estudio del nitrógeno y el fósforo no solo como indicadores de fertilidad, sino también como elementos clave en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y en la comprensión de los procesos que regulan la calidad del suelo y del agua.

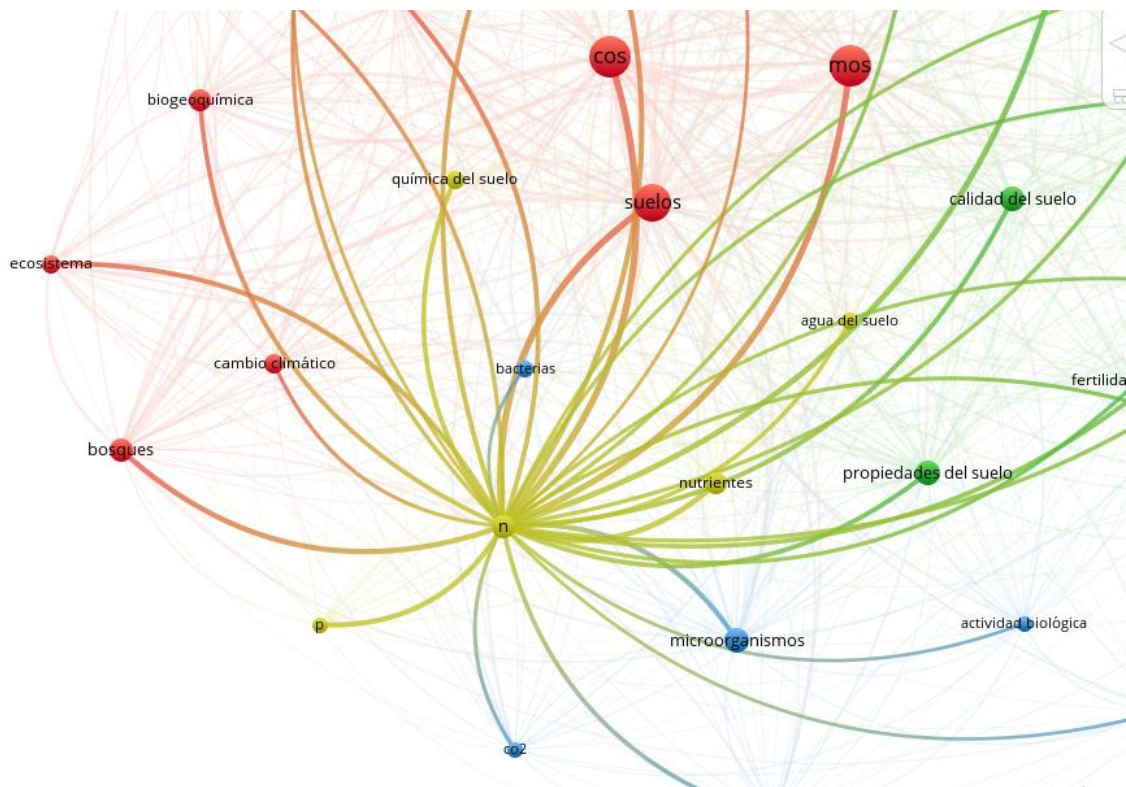


Figura 6: Visualización de la relación del conglomerado clúster 4

Esta línea de investigación está respaldada por estudios como el de Yin *et al.* (2016), quienes demostraron que la adición de nitrógeno puede alterar significativamente la estequiometría elemental dentro de los agregados del suelo, lo que tiene implicaciones directas en la estabilidad estructural y la dinámica de nutrientes. Del mismo modo, Anwar *et al.* (2018), destacan cómo la enmienda de suelos con compost a base de estiércol bovino y residuos vegetales influye en la disponibilidad de nutrientes extractables en agua, como el nitrógeno y el fósforo, afectando la fertilidad inmediata del suelo. Estos hallazgos concuerdan con las conexiones observadas en el clúster entre los nutrientes clave y variables como la química y el contenido de agua del suelo, subrayando la importancia de comprender estos procesos para una gestión sostenible del recurso edáfico.

4.3. Propuesta de temáticas de investigación

Las siguientes propuestas se fundamentan en las temáticas abordadas en las fuentes utilizadas en el estudio bibliométrico.

Línea: Producción agrícola sustentable.

Sublíneas: Evolución de la materia orgánica y sustancias húmicas en condiciones edafoclimáticas áridas y subhúmedas de la Península de Santa Elena.

Temáticas:

1. Complejo edáfico y ciclo biogeoquímico del carbono.
 - 1.1. Procesos de captura de carbono en suelos áridos.
 - 1.2. Dinámica del carbono orgánico e inorgánico.
2. Estructura y propiedades físicas del suelo.
 - 2.1. Formación y estabilidad de agregados del suelo.
 - 2.2. Relación entre textura, porosidad y retención de carbono.
3. Biogeoquímica del suelo.
 - 3.1. Transformaciones químicas del carbono en el perfil edáfico.
 - 3.2. Interacción entre nutrientes y materia orgánica.
4. Papel del suelo en el ecosistema y el cambio climático.
 - 4.1. Contribución del suelo árido a la mitigación del cambio climático.
 - 4.2. Impacto de la degradación edáfica en los servicios ecosistémicos.
 - 4.3. Modelación de flujos de carbono suelo-atmósfera.

Sublínea: Dimensión agronómica de la MOS

Temáticas:

1. Relación entre MOS y rendimiento de cultivo.
 - 1.1. Efecto de la materia orgánica del suelo en la productividad de diferentes cultivos.
 - 1.2. Curvas de respuesta de rendimiento asociadas a niveles crecientes de MOS.
2. Influencia de la MOS en la fertilidad del suelo.
 - 2.1. Indicadores químicos (N, P, K) y su disponibilidad en suelos con distinto contenido de MOS.
 - 2.2. Cambios en capacidad de intercambio catiónico y pH relacionados con MOS.
3. Calidad del suelo como función de la MOS.
 - 3.1. Relaciones entre MOS y estructura (porosidad, agregación).
 - 3.2. MOS y capacidad de retención de agua y nutrientes.
4. Manejo agrícola para potenciar la MOS.
 - 4.1. Rotación y asociación de cultivos para mantenimiento y aumento de MOS.
 - 4.2. Labranza cero y mínima labranza: efectos sobre MOS y propiedades físicas.
5. Enmiendas orgánicas y fertilizantes para mejorar la MOS y la fertilidad.
 - 5.1. Aplicación de compost y estiércol: dosis, frecuencia y efectos en MOS.
 - 5.2. Uso de biochar y otras enmiendas orgánicas: estabilidad del carbono y mejora de la calidad del suelo.
 - 5.3. Integración de fertilizantes verdes y cultivos de cobertura para incrementar MOS.
6. Modelación agronómica del impacto de la MOS.
 - 6.1. Simulación de escenarios de manejo que optimicen MOS, rendimiento y fertilidad.
 - 6.2. Indicadores de sostenibilidad agrícola basados en MOS y calidad de suelo.

Sublínea: Actividad microbiológica y MOS.

Temáticas:

1. Diversidad y estructura de la comunidad microbiana.
 - 1.1. Composición de bacterias y hongos en suelos áridos con distinto contenido de MOS y SH.
 - 1.2. Métodos de caracterización (secuenciación, PLFA, cultivo clásico).
2. Biomasa y actividad biológica del suelo.

- 2.1. Determinación de la biomasa microbiana (C microbial, extracción fumigación-extracción).
- 2.2. Tasa de respiración basal e inducida (emisión de CO₂ como indicador).
3. Actividad enzimática asociada a la degradación orgánica.
 - 3.1. Enzimas hidrolíticas (β -glucosidasa, celulasas, proteasas).
 - 3.2. Enzimas de ciclo de nutrientes (fosfatasa, ureasa, arilsulfatasa).
4. Procesos microbianos de descomposición y humificación.
 - 4.1. Rutas de mineralización de carbono y nitrógeno.
 - 4.2. Formación de fracciones húmicas y fúlvicas.
5. Interacción entre MOS, sustancias húmicas y microbioma.
 - 5.1. Efecto de SH en la solubilidad y disponibilidad de MOS para los microorganismos.
 - 5.2. Moduladores químicos de la actividad microbiana: papel bioestimulador de los ácidos húmicos y fúlvicos.
6. Impacto de enmiendas orgánicas en la actividad microbiana.
 - 6.1. Respuesta microbiana a compost, estiércol y biochar.
 - 6.2. Efectos de enmiendas en la estabilidad de la MOS y la EPS microbiana.

Sublínea: Relaciones químicas de la MOS en el suelo.

Temáticas:

1. Dinámica de nitrógeno (N) en suelos ricos en MOS.
 - 1.1. Mineralización y disponibilidad de N en función del contenido de MOS.
 - 1.2. Transformaciones microbianas del N: nitrificación y desnitrificación.
 - 1.3. Efecto de la MOS sobre indicadores de calidad del N (NH₄⁺, NO₃⁻).
2. Ciclo del fósforo (P) y su interacción con la MOS.
 - 2.1. Solubilidad y adsorción de P en presencia de diferentes niveles de MOS.
 - 2.2. Papel de la MOS en la movilización de P: liberación y fijación.
 - 2.3. Relación entre fracciones orgánicas (fúlvicas, húmicas) y P disponible.
3. Propiedades químicas del suelo moduladas por la MOS.
 - 3.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y reservas de bases.
 - 3.2. Influencia de la MOS en el pH y la salinidad del suelo.
 - 3.3. Relación MOS–CEC–movilidad de macro y micronutrientes.
4. Propiedades químicas del agua en suelos con alto contenido de MOS.
 - 4.1. Concentraciones de nitrógeno y fósforo en lixiviados y aguas subsuperficiales.

- 4.2. Carbono orgánico disuelto (COD) como indicador de calidad del agua.
- 4.3. Efecto de la MOS en la retención y transporte de iones en el perfil.
- 5. Manejo integrado de nutrientes en sistemas agrarios áridos.
 - 5.1. Estrategias de enmiendas (compost, biochar) para optimizar N y P.
 - 5.2. Sistemas agroecológicos y rotaciones para mejorar la eficiencia de uso de N y P.
 - 5.3. Modelos predictivos de balance de nutrientes en suelos con distintos niveles de MOS.
- 6. Monitoreo y modelación de la calidad química suelo-agua.
 - 6.1. Técnicas analíticas (espectroscopía, ensayos de extracción) para N, P y carbono disuelto.
 - 6.2. Herramientas de modelado para simular flujo de nutrientes en suelos áridos.
 - 6.3. Indicadores de sostenibilidad química en sistemas de riego y fertirriego.

La **Figura 7** se muestra un diagrama de red que intenta de manera simplificada mostrar las relaciones entre las líneas propuestas, obtenida mediante inteligencia artificial generativa con el modelo ChatGPT o4-mini-high.

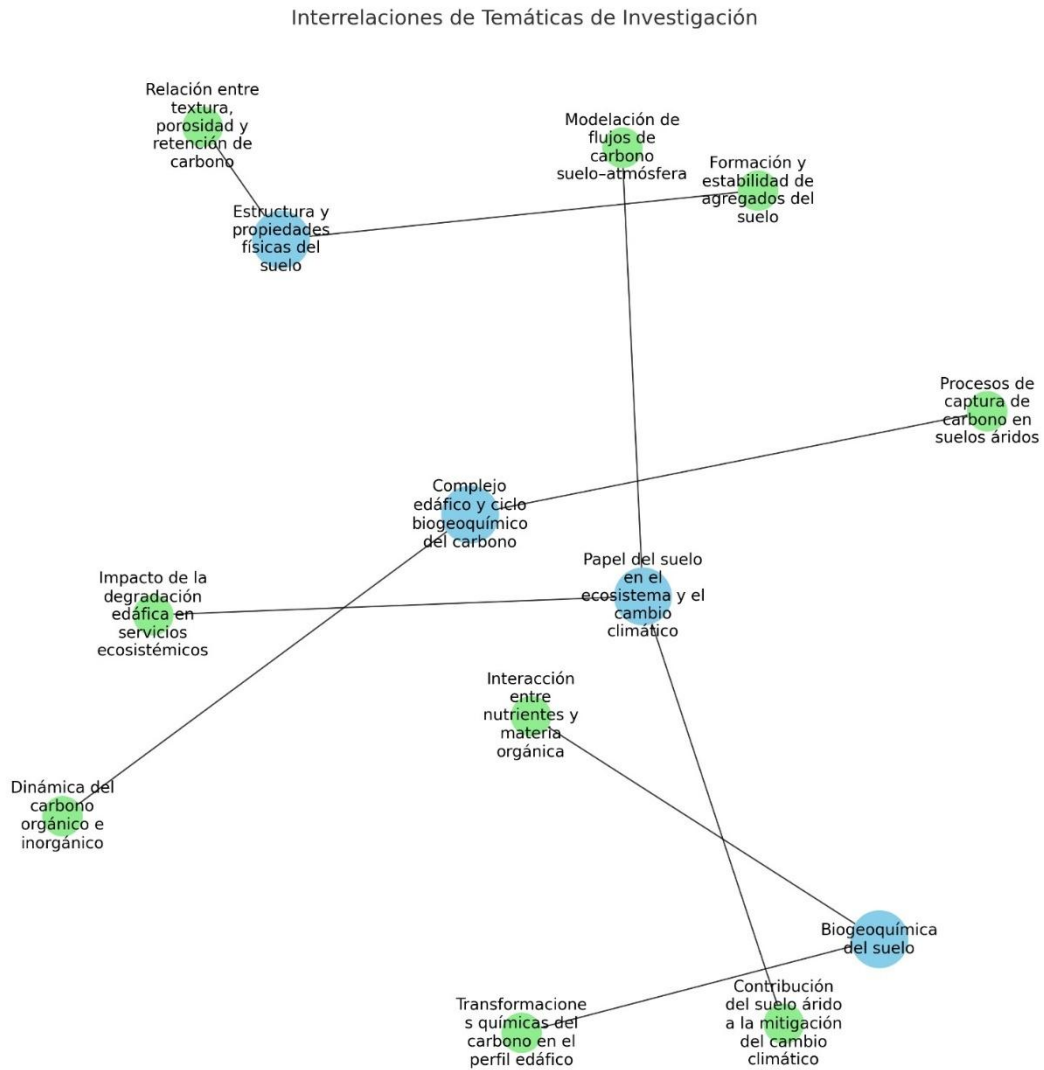


Figura 7: Diagrama de red que muestra las relaciones entre las líneas de investigación propuestas, obtenida mediante inteligencia artificial generativa con el modelo ChatGPT o4-mini-high.

5. CONCLUSIONES

En conclusión, los resultados obtenidos mediante el análisis de las publicaciones científicas de las principales tendencias sobre materia orgánica y sustancias húmicas en condiciones secas y subhúmedas de los últimos quince años han revelado resultados significativos. En primer lugar, se enfatiza la materia y el carbono orgánico como ejes principales de múltiples fuentes de líneas de investigación.

A partir, del análisis de coocurrencias utilizada, se evidenciaron cuatro áreas principales de estudio: (1) el ciclo del carbono y su influencia en la estructura y calidad del suelo, (2) la influencia agronómica de la MOS en productividad y calidad de cultivos, (3) la mediación microbiana de la materia orgánica y (4) las interacciones químicas de nutrientes (N y P) con la MOS y el agua.

En conjunto, mediante los hallazgos de este estudio, se proponen líneas y temáticas de enfoques de investigación tanto físicos, químicos, biológicos y agronómicos, sobre la materia orgánica del suelo y sustancias húmicas para la Península de Santa Elena en suelos áridos.

6. RECOMENDACIONES

Completar la presente investigación con la definición de procedimientos, protocolos y métodos de estudios para las temáticas propuestas.

Confeccionar un programa escalonado de prioridades de investigaciones temáticas fundamentales y aplicadas para el estudio de la materia orgánica del suelo y las sustancias húmicas.

Ampliar la presente investigación con la consideración del papel que juegan la fauna edáfica en el ciclo del carbono.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaraz, R.B. (2016) 'Humificación', *Tiloom*, 7 October. Available at: <https://www.tiloom.com/humificacion> (Accessed: 26 May 2025).
- Ángel, M., Maria, Gabriela (2023) 'UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR'. Available at: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ANGEL%20MALAVE%20MARIA%20GABRIEL A.pdf>.
- Anwar, Z. *et al.* (2018) 'Water extractable plant nutrients in soils amended with cow manure co-composted with maple tree residues', *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(5), pp. 167–173. Available at: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181105.3494>.
- Bai, X. *et al.* (2023) 'Organic amendment effects on cropland soil organic carbon and its implications: A global synthesis', *CATENA*, 231, p. 107343. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107343>.
- Balík, J. *et al.* (2022) 'The Influence of Organic and Mineral Fertilizers on the Quality of Soil Organic Matter and Glomalin Content', *Agronomy*, 12(6). Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061375>.
- Bot, A., Benites, J. and Division, L. and W. (2005) *The importance of soil organic matter*. 1st edn. (FAO Soils Bulletin, 0253–2050). Available at: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/a0100e> (Accessed: 9 June 2025).
- Canarini, A. *et al.* (2019) 'Root Exudation of Primary Metabolites: Mechanisms and Their Roles in Plant Responses to Environmental Stimuli', *Frontiers in Plant Science*, 10. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00157>.
- Cardoso, J.A.F. *et al.* (2015) 'Organic matter fractions in a quartzipsamment under cultivation of irrigated mango in the lower São Francisco valley region, Brazil', *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 39(4), pp. 1068–1078. Available at: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140498>.
- Cercado Quiñónez, E.A. (2021) *Evaluación cualitativa de suelos de la parroquia Colonche mediante cromatografía de pfeiffer*. bachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6362> (Accessed: 6 June 2025).
- Corsi, S. *et al.* (2022) 'A Bibliometric Analysis of the Scientific Literature on Biostimulants', *Agronomy*, 12(6), p. 1257. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061257>.
- Du, Z. *et al.* (2017) 'Changes in soil organic carbon concentration, chemical composition, and aggregate stability as influenced by tillage systems in the semi-arid and semi-humid area of north China', *Canadian Journal of Soil Science*, 98(1), pp. 91–102. Available at: <https://doi.org/10.1139/cjss-2017-0045>.

- Espinosa, P.C.B. and Lima, D.P. de L. (2019) 'CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DEL CENTRO DE PRODUCCIÓN Y PRÁCTICAS RÍO VERDE, SANTA ELENA, ECUADOR', *Journal of Science and Research*, 4(3), pp. 18–26.
- Galantini, J.A. and Suñer, L. (2008) 'Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina', *AgriScientia*, 25(1), pp. 41–55. Available at: <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v25.n1.2740>.
- Ge, G. *et al.* (2024) 'Bibliometric analysis of research trends in agricultural soil organic carbon components from 2000 to 2023', *Frontiers in Plant Science*, 15. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1457826>.
- Ikeya, K. (2015) 'Comprehensive View of Chemical Structure of Soil Organic Matter, a Review', 12.
- Julca, O. *et al.* (2006) 'LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA', *Idesia (Arica)*, 24(1), pp. 49–61. Available at: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>.
- Lal, R. (2020) 'Soil organic matter and water retention', *ResearchGate*, 112(5), pp. 3265–3277. Available at: <https://doi.org/10.1002/agj2.20282>.
- Landriscini, M.R. *et al.* (2020) 'Cambios en las fracciones orgánicas resistentes en suelos de la región pampeana', *Ciencia del suelo*, 38(2), pp. 203–211.
- Laub, M. *et al.* (2024) 'Shifting focus from external to in situ organic resources – The redesign of four tropical long-term experiments', *European Journal of Agronomy*, 157. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127194>.
- Lobartini, J.C. and Orioli, G.A. (1996) 'Las sustancias húmicas y la nutrición vegetal', *Revista de la Facultad de Agronomía*, 101, no. 2, pp. 201–209.
- Malik, K.M. *et al.* (2021) 'Immobilization of cd, pb and zn through organic amendments in wastewater irrigated soils', *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.3390/su13042392>.
- Margenot, A.J. *et al.* (2015) 'Soil Organic Matter Functional Group Composition in Relation to Organic Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Fractions in Organically Managed Tomato Fields', *Soil Science Society of America Journal*, 79(3), pp. 772–782. Available at: <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.02.0070>.
- Martínez H, E., Fuentes E, J.P. and Acevedo H, E. (2008) 'CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO', *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), pp. 68–96. Available at: <https://doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>.
- Mihai, R.A. *et al.* (2023) 'The Panoramic View of Ecuadorian Soil Nutrients (Deficit/Toxicity) from Different Climatic Regions and Their Possible Influence on the Metabolism of Important Crops', *Toxics*, 11(2), p. 123. Available at: <https://doi.org/10.3390/toxics11020123>.
- Mora Delgado, J., Silva Parra, A. and Escobar, N. (2019) *Bioindicadores en suelos y abonos orgánicos*. Sello Editorial Universidad del Tolima. Available at:

https://0410n0swb-y-https-elibro-net.dossierp.museknowledge.com/es/ereader/upse/120999?as_all=Microorganismos_d el_suelo&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as (Accessed: 21 May 2025).

Nwaogu, C. *et al.* (2025) 'Conceptualizing core aspects of circular economy in soil: A critical review and analysis', *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 55(11), pp. 805–835. Available at: <https://doi.org/10.1080/10643389.2025.2454689>.

Oldfield, E.E., Bradford, M.A. and Wood, S.A. (2019) 'Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields', *SOIL*, 5(1), pp. 15–32. Available at: <https://doi.org/10.5194/soil-5-15-2019>.

Ouyang, Y., Reeve, J.R. and Norton, J.M. (2022) 'The quality of organic amendments affects soil microbiome and nitrogen-cycling bacteria in an organic farming system', *Frontiers in Soil Science*, 2. Available at: <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.869136>.

Peña Alcívar, G.E. (2022) *Reserva de carbono orgánico en suelos de la cuenca Zapotal en la provincia de Santa Elena*. bachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/7562> (Accessed: 6 June 2025).

Pinos, N.Q. *et al.* (2019) 'Combination of Humic Substances and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Affecting Corn Plant Growth', *Journal of Environmental Quality*, 48(6), pp. 1594–1604. Available at: <https://doi.org/10.2134/jeq2019.01.0035>.

Poppiel, R.R. *et al.* (2025) 'Soil health in Latin America and the Caribbean', *Communications Earth & Environment*, 6(1), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02021-w>.

Quiroga, A., Galantini, J. and Studdert, G. (2017) 'La materia orgánica como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por el manejo', in *Manejo y conservación de suelos con especial énfasis en situaciones argentinas*. (capítulo 5), pp. 139–159. Available at: https://www.researchgate.net/publication/333996668_La_materia_organica_como_indicador_de_cambios_en_la_calidad_de_los_suelos_influenciados_por_el_manejo.

Robert, M. (2002) *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Roma. Available at: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/y2779s> (Accessed: 5 June 2025).

Santos, E.P.S. *et al.* (2021) 'Physical, chemical, and mineralogical attributes and organic fractions of biogenic aggregates of earthworms and toposequence of inceptisol in semi-arid region', *Ciencia e Agrotecnologia*, 45. Available at: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145014721>.

Suárez, A.J.C. *et al.* (2024) 'Manejo y conservación de suelos en el Ecuador como medida de mitigación al cambio climático', *RECIMUNDO*, 8(2), pp. 422–436. Available at: [https://doi.org/10.26820/recimundo/8.\(2\).abril.2024.422-436](https://doi.org/10.26820/recimundo/8.(2).abril.2024.422-436).

Tahseen, S. *et al.* (2020) 'Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture', *Agronomy*, 10(11), p. 1838. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111838>.

Tumbaco Chavarria, A.J. (2022) *Evaluación de la calidad de suelos de sistemas productivos de cultivos ciclo corto empleando la Cromatografía de Pfeiffer*. bachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2022. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8806> (Accessed: 6 June 2025).

Valencia, V.A.M., Hurtado, F.M. and Jaramillo, D.F.J. (2022) 'Impacto del uso de suelo sobre el secuestro del carbono orgánico en un área natural de Medellín, Colombia', *Acta Agronómica*, 71(1), pp. 39–46.

Vázquez, C. *et al.* (2016) 'Land use impact on chemical and spectroscopical characteristics of soil organic matter in an arid ecosystem', *Environmental Earth Sciences*, 75(10), p. 883. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5655-9>.

Yin, J. *et al.* (2016) 'Nitrogen addition alters elemental stoichiometry within soil aggregates in a temperate steppe', *Solid Earth*, 7(6). Available at: <https://doi.org/10.5194/SE-2016-129>.

Yu, H. *et al.* (2022) 'Soil Organic Carbon Mineralization and Its Temperature Sensitivity under Different Substrate Levels in the Mollisols of Northeast China', *Life*, 12(5), p. 712. Available at: <https://doi.org/10.3390/life12050712>.

Zagal, E. and Córdova, C. (2005a) 'Indicadores de Calidad de la Materia Orgánica del Suelo en un Andisol Cultivado', *Agricultura Técnica*, 65(2), pp. 186–197. Available at: <https://doi.org/10.4067/S0365-28072005000200008>.

Zagal, E. and Córdova, C. (2005b) 'Soil Organic Matter Quality Indicators in a Cultivated Andisol', *Agricultura Técnica*, 65(2), pp. 186–197. Available at: <https://doi.org/10.4067/S0365-28072005000200008>.

Zhang, F., Liu, Y. and Zhang, Y. (2023) 'Bibliometric Analysis of Research Trends in Agricultural Soil Organic Carbon Mineralization from 2000 to 2022', *Agriculture*, 13(6), p. 1248. Available at: <https://doi.org/10.3390/agriculture13061248>.

8. ANEXOS

1. Tesouro anexo para la interpretación de resultados

Label	Replace by
soil	suelos
soils	suelos
humic substance	SH
humic substances	SH
organic acids	Ác. orgánicos
humic acids	Ác. húmico
humic acid	ác. húmico
humus	SH
soil organic matter	MOS
organic matter	MOS
soil organic matters	MOS
dissolved organic matter	C lábil
dissolved organic matters	C lábil
soil carbon	COS
soil organic carbon	COS
organic carbon	COS
organic compounds	COS
carbon sequestration	captura de C
carbon storage	captura de C
fulvic acid	Ác. fúlvico
fulvic acids	Ác. fúlvico
bacterium	bacterias
bacteria	bacterias
bacteria (microorganisms)	bacterias

compost compost
 composting compost
 crop cultivo
 crops cultivo
 crop production cultivo
 manure estiércol
 manures estiércol
 poultry manure estiércol
 fertilizer fertilizante
 fertilizers fertilizante
 fertilizer application fertilizante
 fertilization fertilizante
 enzyme activity actividad enzimática
 enzymes actividad enzimática
 microorganisms microorganismos
 soil microorganism microorganismos
 microbiota microorganismos
 microbial community microorganismos
 microbial biomass CBM
 microbial biomass carbon CBM
 biomass MOS
 soil structure estructura del suelo
 soil aggregation estructura del suelo
 soil aggregates estructura del suelo
 aggregate stability estructura del suelo
 soil aggregate agregados del suelo
 aggregate agregados del suelo

aggregates agregados del suelo

soil chemistry química del suelo

soil pollutant contaminación del suelo

soil pollutants contaminación del suelo

soil texture textura del suelo

soil health salud del suelo

soil fertility fertilidad del suelo

soil conservation conservación del suelo

soil management gestión del suelo

soil pollution contaminación del suelo

soil quality calidad del suelo

carbon COS

carbon dioxide CO₂

carbon cycle ciclo del C

particulate organic carbon MOS particulada

labile carbon C lábil

carbon emission CO₂

carbon isotope C

nutrients nutrientes

nutrient availability nutrientes

nutrient cycling ciclo biogeoquímico

soil nutrient nutrientes

soil nitrogen N

nitrogen N

nitrogen cycle ciclo del N

soil moisture agua del suelo

soil water agua del suelo

soil erosion erosión del suelo
soil type tipo de suelo
soil depth profundidad del suelo
soil property propiedades del suelo
soil properties propiedades del suelo
physicochemical property propiedades del suelo
physicochemical properties propiedades del suelo
plant growth cultivo
growth cultivo
"growth development and aging" cultivo
fungi hongos
fungus hongos
legumecultivo
forest bosques
forests bosques
forest soils bosques
forest soil bosques
forest ecosystem bosques
forestry bosques
terrestrial ecosystem ecosistemas terrestres
terrestrial ecosystems ecosistemas terrestres
water agua
calcium Ca
potassium K
phosphorus P
ph ph
biological materials MOS

microbial activity actividad microbiana
 soil acidity acidez del suelo
 vegetation vegetación
 yield rendimiento
 crop yield rendimiento
 grain yield rendimiento
 oxidation oxidación
 adsorption adsorción
 dissolved organic carbon C lábil
 particulate organic carbon COP
 nuclear magnetic resonance RMN
 nuclear magnetic resonance spectroscopy RMN
 electrical conductivity CE
 risk assessment evaluación de riesgos
 bioremediation mejoramiento del suelo
 soil remediation mejoramiento del suelo
 decomposition descomposición
 humification humificación
 particle size textura
 crop rotation rotación de cultivos
 erosion erosión
 stability estabilidad
 sustainability sostenibilidad
 species diversity biodiversidad
 land use uso del suelo
 land use change uso del suelo
 agricultural land agricultura

agriculture agricultura
soil amendment mejoramiento del suelo
organic amendment enmiendas orgánicas
organic amendments enmiendas orgánicas
biogeochemistry biogeoquímica
ecosystems ecosistema
climate change cambio climático
soil respiration actividad biológica
chemical composition química
microbiology microorganismos
soil degradation degradación de suelos
metabolism metabolismo
semiarid region semiárido
maize cultivo
zea mays cultivo