

JUAN F. GALLARDO LANCHO

LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

Residuos orgánicos, *Humus*, compostaje y captura de Carbono

SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE FÍSICA Y QUÍMICA AMBIENTAL



JUAN FERNANDO GALLARDO LANCHO

LA MATERIA
ORGÁNICA DEL SUELO

Residuos orgánicos, *humus*,
compostaje y captura de carbono

SOCIEDAD IBEROAMERICANA
DE FÍSICA Y QUÍMICA AMBIENTAL

<www.sifyqa.org.es>

SALAMANCA (ESPAÑA)

Índice

ABREVIATURAS.....	17
PRESENTACIÓN.....	19
PRÓLOGO.....	21
INTRODUCCIÓN: EL <i>HUMUS</i> DEL SUELO.....	37
1. Breve definición de la materia orgánica del suelo (MOS).....	37
2. Concepto de suelo (perfil edáfico).....	37
3. Importancia de la materia orgánica del suelo (MOS).....	39
4. Aproximaciones al estudio de la MOS.....	42
5. El sistema terrestre.....	43
6. Consideraciones del suelo como subsistema.....	45
7. Estados del carbono en el sistema terrestre.....	46
8. El ciclo terrestre del carbono.....	48
9. La estequiometría de los bioelementos: Relaciones carbono/nitrógeno..	50
10. Consideraciones preliminares.....	55
CAPÍTULO I: BASE BIOLÓGICA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.....	57
1. El suelo como ecotono.....	57
2. Los compartimentos y flujos de los sistemas.....	59
3. Composición bioquímica del suelo y biológica edáfica.....	62
4. Composición microbiológica del medio edáfico.....	64
5. Acciones que desempeña la microbiología edáfica.....	65
6. Descomposición aeróbica y anaeróbica microbianas.....	67

ÍNDICE

7. Composición faunística del medio edáfico.....	68
8. Funciones de la mesofauna y macrofauna.....	72
9. Otras consideraciones biológicas.....	72
CAPÍTULO II: BASE BIOQUÍMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.....	75
1. Introducción.....	75
2. Génesis de las sustancias húmicas (SSH).....	77
3. Composición de los residuos vegetales.....	80
4. La humificación.....	82
5. Mecanismos de humificación.....	86
6. El sistema enzimático del suelo.....	88
7. Estructura de las sustancias húmicas (SSH).....	89
8. Ácidos fúlvicos (AF) y ácidos húmicos (AH).....	92
9. Consideraciones finales sobre los aspectos bioquímicos de la MOS.....	94
CAPÍTULO III: INTERACCIONES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.....	97
1. Introducción.....	97
2. Acidez de la MOS.....	98
3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	98
4. Minerales del suelo.....	98
5. Conformación del complejo arcillo-húmico.....	101
6. Contribución de la actividad biológica a la estructura.....	104
7. Estructura del suelo.....	104
8. De la escala molecular a la escala visible.....	106
9. Estabilidad de la estructura.....	107
10. Relación entre contenido de arcilla y MOS.....	108
11. Fenómenos de óxidoreducción (red-ox) en el suelo.....	110
12. Anaerobiosis.....	110
13. Potencial de oxidoreducción (red-ox) y acumulación orgánica.....	112
14. El manejo edáfico y la anaerobiosis.....	113
15. Estructura, densidad aparente (D_{ap}) y permeabilidad.....	114
16. Aplicación práctica: Agricultura con labranza reducida.....	115

ÍNDICE

CAPÍTULO IV: LAS SUSTANCIAS HÚMICAS DEL SUELO.....	117
1. Introducción.....	117
2. Definiciones.....	118
3. Acciones positivas de la MOS.....	119
4. Fracciones húmicas.....	125
CAPÍTULO V: FACTORES QUE AFECTAN A LAS SUSTANCIAS HÚMICAS EDÁFICAS.....	129
1. Suelo, perfil edáfico y horizontes.....	129
2. Zonalidad edáfica.....	130
3. Agrosistemas.....	135
4. Factores condicionantes de la MOS.....	137
5. Materia orgánica edáfica (MOS) y zonalidad.....	138
6. Calidad del material orgánico de origen: Relación C/N.....	140
7. Influencia de la pluviometría y la temperatura sobre la MOS.....	140
8. Influencia de la pluviometría y la temperatura sobre el contenido de N edáfico (N _e).....	144
9. Acciones para incrementar o disminuir el contenido de MOS.....	145
10. Formas de <i>humus</i>	146
11. Características generales de las formas de <i>humus</i>	150
12. Carbono orgánico del suelo (COS), Nitrógeno total del suelo (N _t) y materia orgánica del suelo (MOS).....	154
13. Influencia de la MOS sobre la génesis y propiedades del suelo.....	155
14. Predicción de cantidad o calidad de la MOS.....	156
15. Los fenómenos de retroalimentación (<i>feedback</i>).....	158
16. Procesos edáficos e influencia de las sustancias húmicas (SSHH).....	160
17. Importancia de la MOS en las clasificaciones de suelos.....	162
18. Tipos de suelos y fracciones húmicas.....	163
CAPÍTULO VI: MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.....	165
1. Introducción.....	165
2. Análisis elemental de la MOS y las fracciones húmicas.....	166
3. Análisis de carbono.....	167
4. Determinación de N.....	168

ÍNDICE

5. Relación C/N edáfica y de las sustancias húmicas (SSHH).....	168
6. Otros bioelementos.....	168
7. Sustancias húmicas hidrosolubles (FHS): El carbono orgánico disuelto (COD).....	169
8. La extracción de la MOS.....	169
9. La purificación del <i>humus</i>	172
10. Diferencia de composición elemental entre fracciones.....	172
11. Métodos de fraccionamiento de la MOS.....	173
12. Métodos colorimétricos de estudio de la MOS.....	177
13. Medida de la respiración del suelo (respirometría edáfica).....	180
14. Biomasa microbiana (BMM) y actividad enzimática.....	183
15. Termogravimetría y análisis termodiferencial.....	183
16. Los estudios integrados de la MOS: Perfiles orgánicos.....	185
17. Edades de las fracciones húmicas: carbono marcado.....	186
18. Otras metodologías.....	187
CAPÍTULO VII: ESTIÉRCOLES Y COBERTURA DEL SUELO.....	189
1. Introducción.....	189
2. Prácticas de manejo que incrementan la MOS.....	191
3. Mantenimiento del nivel de MOS.....	192
4. Estiércol (o abonado orgánico clásico).....	195
5. Procedencia de estiércoles y su relación C/N.....	199
6. Estiércoles y residuos ganaderos.....	200
7. La inmovilización biológica de nitrógeno.....	203
8. Control de la inmovilización biológica de nitrógeno.....	204
9. La contaminación orgánica.....	206
10. Beneficios e inconvenientes de los abonos orgánicos.....	207
11. Influencia de la fertilización inorgánica sobre los contenidos de MOS.....	208
12. Prácticas de manejo agrícola y conservación de los niveles de MOS.....	210
13. Impacto de los estiércoles sobre la física del suelo.....	211
14. Efecto de la aplicación del riego en el contenido de MOS.....	212
15. Estiércoles y nutrición vegetal.....	213
16. Rastrojo, mantillo artificial o ' <i>mulch</i> '.....	217

ÍNDICE

CAPÍTULO VIII: COMPOSTAS Y VERMICOMPOSTAS.....	221
1. Introducción: El suelo como ente depurador.....	221
2. Los residuos sólidos urbanos (RSU).....	221
3. Las basuras urbanas.....	224
4. El reciclaje.....	229
5. El compostaje: Preparación de las pilas.....	229
6. El compostaje: El proceso.....	231
7. El proceso microbiológico de compostaje.....	233
8. Técnica del compostaje.....	235
9. Factores que influyen en el compostaje.....	236
10. Los parámetros de la maduración.....	237
11. Composición de las compostas.....	239
12. Las compostas comerciales.....	242
13. El <i>vermicompost</i> o vermicompostas.....	245
14. Carbonilla o ' <i>black carbon</i> '.....	248
CAPÍTULO IX: LODOS Y FANGOS CLOCALES.....	249
1. Introducción.....	249
2. Los lodos cloacales o fangos de aguas servidas.....	249
3. El proceso de purificación de las aguas servidas.....	250
4. Características de los fangos o lodos cloacales.....	251
5. El manejo de los lodos.....	255
6. Los lodos como activador del compostaje.....	258
7. Medio urbano <i>versus</i> medio rural.....	261
CAPÍTULO X: MODELIZACIÓN DE LA DINÁMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO...	263
1. Introducción.....	263
2. Los equilibrios en ecosistemas y del subsistema edáfico.....	264
3. El equilibrio del compartimento orgánico edáfico.....	265
4. Ritmo de descomposición de las sustancias orgánicas frescas (MOF).....	267
5. Relación del suelo a adiciones esporádicas de residuos orgánicos (RROO)..	269
6. Otros modelos de descomposición.....	271

ÍNDICE

7. Experimentos de descomposición.....	271
8. La modelización de los ecosistemas.....	275
9. Estudios de ciclos en ecosistemas.....	277
10. Cálculo de los ritmos de descomposición y tiempos: Ejemplos prácticos..	279
11. Factores influyentes de la mineralización de RROO y contenidos de MOS..	282
12. Cuantificación de entradas al ecosistema.....	285
13. Modelización aplicada a la agricultura “ecológica”.....	296
14. Consideraciones finales.....	298
CAPÍTULO XI: <i>HUMUS</i> Y FÍSICA DE SUELOS.....	299
1. Introducción.....	299
2. Conceptos de Física del suelo.....	301
3. Porosidad y permeabilidad edáficas.....	302
4. Macroporosidad y microporosidad edáficas.....	303
5. Las estructuras edáficas.....	304
6. La degradación de tierras.....	304
7. Procesos de degradación del suelo (DS).....	304
8. El ciclo vicioso de la degradación del suelo (DS).....	307
9. La erosión del suelo.....	308
10. Los deslizamientos de tierras (derrumbes).....	314
11. Efectos negativos de la erosión.....	315
12. Las medidas antierosivas.....	315
13. Seguimiento de las propiedades estructurales edáficas: La densidad aparente (D_{ap}).....	317
CAPÍTULO XII: CICLO DE CARBONO, CAMBIO CLIMÁTICO Y CAPTURA DE CARBONO...	321
1. Introducción.....	321
2. El ciclo del carbono.....	322
3. El desequilibrio de ciclo del carbono.....	324
4. Los comportamientos de carbono de los ecosistemas.....	325
5. Comportamientos de carbono edáfico.....	325
6. Los flujos del C terrestre.....	330
7. El tiempo medio de transferencia o residencia (TMR) del C terrestre...	331

ÍNDICE

8. Las discusiones internacionales sobre las emisiones de CO ₂	332
9. Los gases con efecto invernadero (GEI).....	335
10. El metano (CH ₄) como gas invernadero.....	337
11. El cambio climático.....	339
12. El protocolo de Kioto.....	341
13. Consideraciones socioeconómicas de las emisiones de CO ₂	344
14. La captura natural de carbono.....	344
15. El proceso de captura de carbono y su disyuntiva.....	346
16. Técnicas de captura de carbono.....	347
17. El Proyecto de captura de carbono.....	349
18. Los costos de los Proyectos.....	354
19. La captura edáfica de carbono edáfico.....	355
20. La implementación futura del mercado de bonos de carbono.....	356
CAPÍTULO XIII: EL MANEJO DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.....	361
1. Introducción.....	361
2. Sistemas y objetivos.....	361
3. Manejos de MOS en un ecosistema forestal.....	365
4. Manejos de MOS en un agrosistema.....	366
5. Manejo de la MOS en un ecosistema pascícola.....	368
6. Manejo de la MOS en un sistema agroforestal.....	369
7. Manejo de la MOS en un sistema silvopastoril.....	370
8. Implementación de los manejos.....	371
9. Nuevos manejos del suelo y sostenibilidad.....	372
10. Algunos ejemplos prácticos.....	372
CAPÍTULO XIV: EPILOGO: CONSIDERACIONES FINALES.....	377
1. Introducción.....	377
2. La evolución del déficit de MOS en el futuro.....	320
3. Causas y consecuencias de las emisiones de CO ₂	380
4. La base del problema (última causa).....	382
5. El futuro de las investigaciones sobre la materia orgánica del suelo (MOS).....	384
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	385
SÍMBOLOS Y FÓRMULAS MÁS COMUNES UTILIZADAS EN ESTA OBRA.....	389

Presentación

Este libro es un intento para abordar el estudio de la **Materia Orgánica del Suelo** (en adelante **MOS**) o edáfica a nivel de alta divulgación, dirigido pues al público en general que, obviamente, debe tener alguna formación técnica, agrícola o ambiental.

Se huye a propósito de redactar un libro con formato estrictamente científico, dado que ese segmento ya está sobradamente cubierto por la bibliografía de lengua inglesa; además, ello significaría entrar en terrenos complicados de *copy-rights* que sólo puede editarse a través de una Editorial internacional. Por ello se observará que el origen de las figuras y tablas expuestas son, en algún caso, procedentes de citas antiguas (en no pocos casos lo son de trabajos propios). En todo caso se han seleccionado tablas y figuras a propósito más buscando lo didáctico del posible el discurso que la última primicia con lo que con ello (sin duda) se ha ganado en comprensión del texto. Consecuentemente, pueden tener razón las posibles críticas en este sentido, pero así ha sido realizado intencionadamente, lográndose, de esta manera, sortear complicados permisos a Editoriales para incluir tablas o figuras (que pudieran tener establecidos *copy-rights*, aunque sean de autoría personal) y que hubieran retrasado (y encarecido) más aún la aparición de este libro.

Es posible que a medida que se progresa en el desarrollo del libro se requiera un lenguaje más científico; por esta razón, se procurará dar la formación básica suficiente en la Introducción y en los primeros capítulos para que, posteriormente, la lectura sea siempre comprensible (al menos en los conceptos o mensajes más importantes). Sin embargo, en todo momento se intentará dar el máximo rigor al discurso, apartándose de cualquier prejuicio que no esté bien basado en trabajos científicos previos o actuales; cuando hay dudas se señalan. Pero mucho de lo que se dice aquí ha sido refrendado por experiencia ajena (literatura científica internacional) o propia durante años del modesto quehacer científico que he tenido la suerte desarrollar.

Esta obra se inicia con una **Introducción** que debe facilitar la comprensión de los **catorce capítulos** siguientes que contiene el libro, ordenados de tal manera que los primeros contengan la información básica; en dichos capítulos se irán describiendo los diferentes aspectos de la MOS considerados desde diferentes aproximaciones o

puntos de vista. Al final se presentará un **Epílogo** (o capítulo final) que enlazará los diferentes capítulos previos y establecerá las conclusiones finales.

Como se indica, la estructura del libro permite que se aborden primeramente los conceptos más fáciles, elementales y básicos, para luego pasar paulatinamente a los más complejos. Por esta razón aquellas personas que no tengan suficiente formación básica deben leer ordenadamente cada capítulo expuesto (para poder entenderlo) antes de pasar al siguiente. Aquellas otras personas que ya tienen la formación básica pueden permitirse el lujo de iniciar la lectura directamente en el capítulo o apartado que le resulte de mayor interés, pero deben conocer la estructura del libro en caso que aparezcan dudas o dificultades en algún aspecto concreto.

Un buen índice de si se tiene (o no) la suficiente formación básica para entender el libro es primeramente leer el **Prólogo** de la reconocida autoridad en el campo de las **sustancias húmicas** Prof. Dr. **Gonzalo ALMENDROS**. Si se logra seguir sin problemas su discurso, entonces se puede abordar el libro en el orden que se desee; pero si no fuera el caso lo recomendable es, en todo caso, que se siga linealmente la lectura desde el primer capítulo hasta el último. Quede patente mi **agradecimiento** al Dr. **ALMENDROS** por haber encontrado un siempre difícil hueco para mostrar el estado del problema en cuanto a aproximaciones metodológicas y a los últimos avances por donde apuntan las investigaciones sobre el *humus*.

Aprovecho para indicar también mi **total agradecimiento** al Dr. **José A. ESPINOSA**, pues su aparición ha sido posible a su machacona insistencia de que lo escribiera y publicara, dándome ánimos en el progreso de la redacción y habiéndolo (en parte) revisado personalmente.

Se espera que esta obra sea útil en el contexto iberoamericano, no por lo que se dice, sino más bien por la forma como se exponen los conceptos (lo más accesibles y claros posibles). Este sería el único mérito de este libro frente a otros mucho más profundos o especializados; es decir, la plusvalía de este libro debe ser la facilidad de lectura de un tema tan complejo y difícil como es la temática relativa a la MOS y sobre el cual es frecuente escuchar conceptos totalmente erróneos.

Salamanca, uno de Septiembre de 2016.