



MANEJO DEL SUELO EN LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS DE PRODUCCIÓN ECOLÓGICA

Juana Labrador
Dra. Ciencias Biológicas
Sociedad Española de Agricultura Ecológica
(SEAE)
Oficina permanente SEAE
Cami del Port, s/n. Km 1 Edif. ECA, Patio Int
1º Apdo 397
E-46470 Catarroja (Valencia)
E-mail: seae@agroecologia.net
<http://www.agroecologia.net>

Índice

1. Introducción	3
2. Un ambiente complejo.	5
3. La vida en el suelo. Breve aproximación a los organismos y sus interacciones	8
4. La dinámica de la materia orgánica en el suelo.	21
5. La fertilidad como expresión agrícola de las propiedades del sistema suelo	26
6. Marco teórico para el manejo de la fertilidad del suelo en agricultura ecológica.	29
8. Bibliografía	43
9. Anejo 1 Fertilización y balance de nutrientes en sistemas agroecológicos.....	45
10. Anejo 2 Reg. 889/2008 Anexo 1.	59

1. Introducción

La mayoría de procesos que ocurren en los agrosistemas tienen al suelo como el centro regulador crítico; en esta percepción confluyen aspectos ligados con su vulnerabilidad¹, con su lenta formación y renovación y con el reconocimiento de los múltiples servicios que presta el suelo al ser humano; el suelo contiene no sólo una proporción grande de la biodiversidad de la tierra sino también proporciona el sustrato físico para la mayoría de las actividades humanas resultando un componente crítico de la biosfera

Algunos servicios que presta el suelo al ser humano (adaptado de Blum y Santelises 1994):

- Producción de biomasa (alimento, fibra y energía) por su actuación como sustrato del desarrollo vegetal
- Reactor que filtra, regula y transforma la materia para proteger de la contaminación el ambiente, las aguas subterráneas y la cadena alimentaria
- Hábitat biológico y reserva genética de muchas plantas, animales y organismos, que estarían protegidos de la extinción.
- Medio físico que sirve de soporte para estructuras industriales y técnicas, así como actividades socioeconómicas
- Fuente de materias primas que proporciona agua, arcilla, arena grava, minerales, etc.
- Elemento de nuestra herencia cultural, que contiene restos paleontológicos y arqueológicos importantes para conservar la historia de la tierra y de la humanidad

El estudio del suelo ha estado ligado tradicionalmente a las necesidades de la agronomía, por lo que no nos debe extrañar que su concepción y su proyección posterior en la gerencia agrícola hayan tenido una aplicación mayoritariamente productivista. Aumentar los rendimientos agrícolas era el primer objetivo que guiaba el manejo del suelo en un modelo agrario basado en principios similares a los de cualquier actividad industrial ².

Las consecuencias de esta forma de actuar se han mostrado como refleja la comunicación denominada “Hacia una estrategia temática para la protección del suelo” COM(2002) 179 en amenazas como: erosión, disminución de la materia orgánica y la biodiversidad, contaminación, salinización, compactación, inundaciones y deslizamientos de tierras y sellado (ocupación del suelo por actividades antrópicas).

De la misma manera que se promovió la Directiva Marco en el Sector del Agua (2000/60/CE), la Comisión Europea elaboró y publicó esta comunicación con la intención de equiparar las políticas de protección del suelo con las existentes en el entorno del agua y la atmósfera.

1 Bennet, (1939) califica al suelo como “un recurso natural en gran parte no renovable y vulnerable”

2 Fertilizantes inorgánicos como medio mayoritario de aporte de nutrientes a la planta, monocultivo, maquinaria pesada, pesticidas para la eliminación de plagas y enfermedades y herbicidas para la eliminación de malas hierbas. El modelo industrial no termina sólo en la utilización de insumos impactantes o de técnicas no compatibles con la ecología de sistemas sino que va más allá y deja su impronta en la cadena de valor de los productos desde la finca hasta el mercado y es el responsable de la crisis social que afecta al medio rural.

En el documento mencionado la Comisión Europea **define y contextualiza al suelo** como:

"La capa superficial de la corteza terrestre que desempeña una serie de funciones clave, tanto medioambientales como sociales y económicas, para el desarrollo de la vida. La agricultura y la silvicultura dependen de los suelos para el suministro de agua y nutrientes, así como para su soporte físico. La capacidad de almacenamiento, filtración, retención y transformación convierten al suelo en uno de los principales elementos para la protección de las aguas y el intercambio de gases con la atmósfera. Además constituye un hábitat y una reserva genética, un elemento del paisaje y del patrimonio cultural así como una fuente de materias primas".

Las medidas más relevantes propugnadas en dicho documento en relación con la protección y uso sostenible del suelo fueron las siguientes:

- Revisar la Política Ambiental y la Política Agraria Común en la Unión Europea, además del resto de las políticas relacionadas, especialmente la forestal.
- Apoyar la propuesta de una legislación sobre vigilancia del suelo
- Diversas medidas y comunicaciones para la protección del suelo, afrontando cada una de las amenazas y finalmente la publicación de una "Directiva Marco sobre el suelo"

Cómo vemos estas medidas aunque necesarias no abordan verdaderamente la causa más importante de la degradación del suelo, que es la actividad agraria intensiva.

En los últimos años han surgido en nuestro país nuevos modelos de gestión que tratan de minimizar la intensificación de la agricultura industrial - como la agricultura de conservación o la integrada- sin embargo, se basan en los mismos planteamientos productivistas que la agricultura convencional aunque "suavizando" técnicas de manejo –mínimo o ningún laboreo en el primero con aporte de restos de cosecha y control biológico más tratamientos químicos más controlados en el segundo-.

La complejidad del suelo como sistema, y la aplicación de este conocimiento al diseño de modelos agrarios sostenibles sólo es abordada de forma integral por modelos de gestión agraria basados en premisas agroecológicas.

Para la agroecología la sostenibilidad del agrosistema depende de las sinergias entre un modelo concreto de uso de los recursos –agricultura tradicional, agricultura ecológica³- la diversidad de plantas cultivo y no cultivo y el funcionamiento continuo de una comunidad macro y microbiana en el suelo, estando estas últimas, como no podía ser de otra manera sustentadas por la materia orgánica en todas sus formas.

³ La agricultura ecológica es un modelo de gestión agraria que utiliza alternativas de manejo capaces de unir producción sostenible y de calidad, conservación de los recursos naturales y desarrollo rural. Sus bases teóricas y técnicas se fundamentan, por una parte en el conocimiento tradicional agrícola y ganadero local, y por otra en una disciplina científica, la agroecología

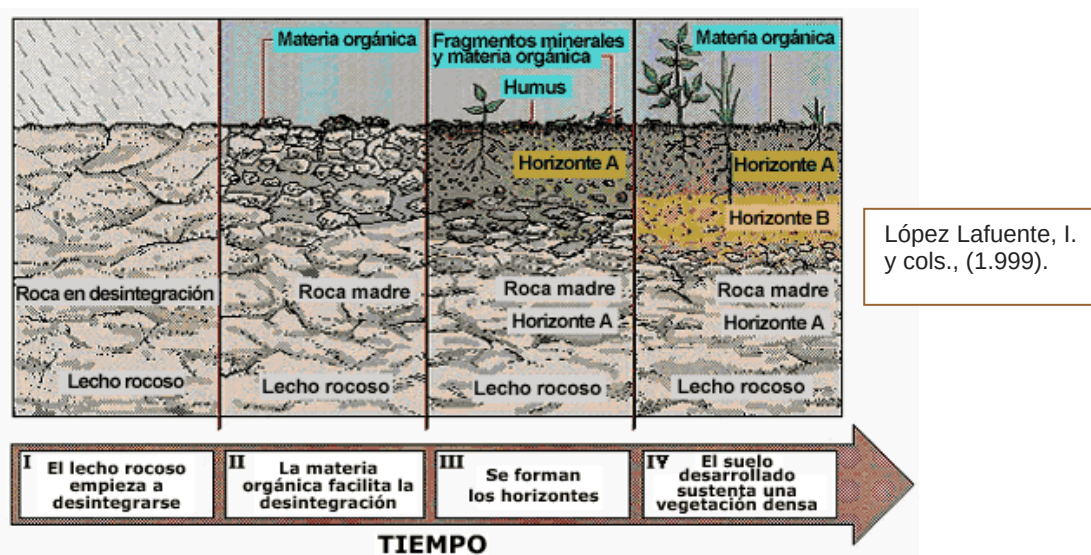
Sin embargo, la falta de conocimiento o las dificultades de la interpretación ecosistémica tanto para agricultores, como para técnicos en relación a los componentes ambientales, las propiedades emergentes y los puntos críticos generados por la intervención agrícola puede llevar a situaciones en las que, el diseño de técnicas para el manejo ecológico del suelo no tenga el éxito esperado, llevando al agrosistema a estados de mayor inestabilidad, con las consiguientes pérdidas económicas para el productor y la posible disminución de la credibilidad en el modelo ecológico.

En este contexto, el conocimiento del suelo de cultivo que suma el saber tradicional con los avances en todas las disciplinas que participan en la gerencia de los sistemas agrícolas, supone uno de los objetivos que nos hemos planteado a la hora de desarrollar este trabajo.

2. Un ambiente complejo.

El suelo es un sistema autoorganizado y heterogéneo que posee una gran complejidad estructural y funcional, debido a la gran diversidad de sus componentes (abióticos y bióticos), y a los procesos que tienen lugar en su seno. Como todo sistema, evoluciona en el tiempo condicionado por factores ambientales que están presentes en un escenario concreto y en general, en los suelos de cultivo, mantiene una dinámica determinada por un sistema de uso impuesto por condicionantes socioeconómico y cultural.

Gascó, (2001) lo define como “un ente natural que se forma mediante procesos de alteración de los minerales meteorizables, evolución de las materias orgánicas humificables, estructuración de las partículas agregables y migración de algunos componentes finos o de iones desplazables. En definitiva, un medio vivo y dinámico, en el cual se libra un diálogo biológico complejo entre plantas, organismos y el medio mineral que los acoge.



Los factores que van a influir en la formación y diferenciación van a ser externos e internos: climáticos –humedad, temperatura, etc.-, bióticos –

vegetación y organismos vivos-, litológicos –rocas-, geomorfológicos –procesos geológicos, topografía-, cronológicos –tiempo o duración de éstos factores-. Añadido a los anteriores y no sólo para los suelos de cultivo, las alteraciones debidas a la acción humana, factor antrópico, son hoy en día, uno de los agentes más influyentes en la transformación del suelo de cultivo.

Podemos observar la acción de los factores formadores directamente en el campo, mediante la realización de una «calicata» que es un corte vertical del suelo que permite estudiarlo en su conjunto, desde su superficie hasta el material originario.

Su observación nos mostrará una serie de «huellas» producto de su historia y de su manejo –como horizontes diferenciados, cambios de color, cambios de estructura, actividad biológica, longitud de las raíces, capas de gravas, o de arcillas, o de calizas históricamente activas, capas endurecidas por el laboreo-.

Estas señales diferenciadoras, apoyadas con los análisis de las muestras realizados en el laboratorio nos describirán un perfil edafológico.

Y aunque prácticamente en desuso, el término Perfil Cultural (Henin) nos dirige al estudio de la fracción del perfil edafológico correspondiente a los horizontes superiores, que en suelos de cultivo serán los más influenciados por la actividad agraria. Es en el perfil cultural en la fracción en la que con más claridad apreciamos la complejidad⁴ de los componentes del suelo



Perfil de un suelo. López Lafuente, I. y cols., (1999). Soils Developed in Diapiric Environment. Commun. Soil Sci. Plant Anal. (30): 1183-1199

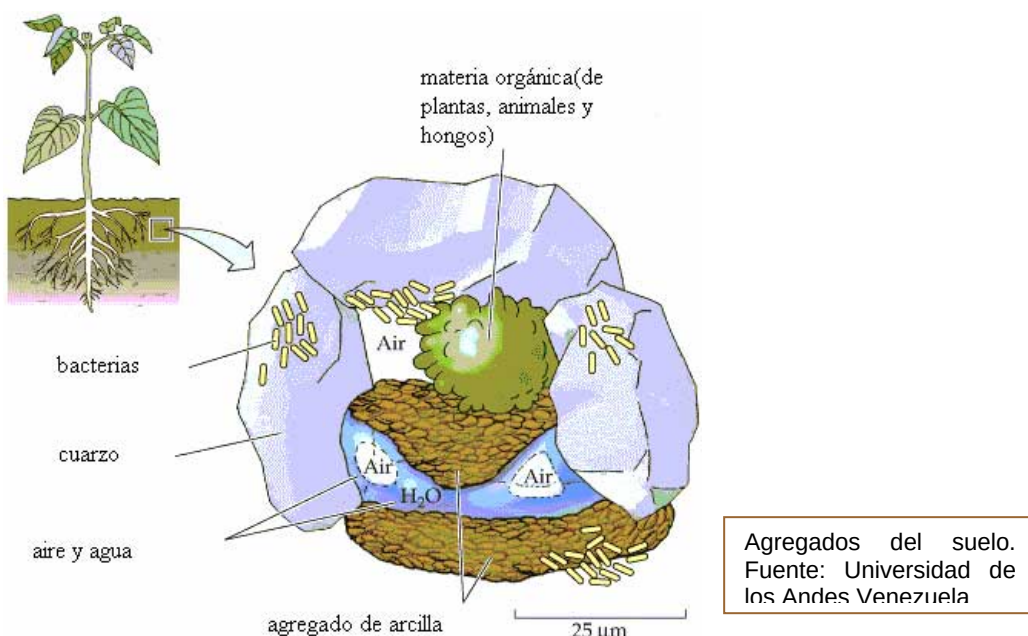
De esta forma ampliamos nuestra percepción del suelo percibiéndolo como un medio de composición mixta -orgánica y mineral-, en continua interrelación, y permeable por la presencia de macro y microporos, que posibilitan la existencia de una solución acuosa o agua del suelo -que es una solución con dilución

⁴ En el sentido del término latino *complexus*, que quiere decir "lo que está entretrejado conjuntamente".

suficiente para provocar el flujo osmótico desde la tierra a la planta y cuyas proporciones iónicas son las propias de los flúidos vitales de los que recibe su impronta vía mineralización de los restos orgánicos- y una atmósfera gaseosa o aire del suelo, cuya composición es distinta a la del aire atmosférico en cuanto a humedad y contenido en anhídrido carbónico y oxígeno, siendo la composición de la fase líquida y gaseosa dependientes de la intensidad de la actividad microbiana (Gascó, 2001)

En este medio, las raíces de las plantas, exploran un determinado volumen de suelo, compartiendo el espacio poroso, con los organismos, el aire y el agua y es aquí, en la zona de influencia de la raíz el lugar en donde se da la relación más íntima entre la vida orgánica y la mineral

Tanto en la superficie como en el interior de los agregados⁵, o bien asociados a las raíces de las plantas, los microorganismos pueden encontrar hábitats adecuados para desarrollarse dentro en un entramado de materia y energía (Barea, 2001).



En este contexto, lo que podríamos denominar “metabolismo” del suelo es consecuencia de que en él se desarrollan, una gran diversidad de comunidades que lo influyen con su actividad y lo modifican, al mismo tiempo que se modifican a sí mismas

Como en todos los sistemas complejos en la naturaleza, la organización del suelo se establece de acuerdo con un modelo jerárquico, en el que el paso de un nivel inferior a otro superior en la jerarquía supone la aparición de propiedades emergentes, que no pueden explicarse solamente mediante la suma de los elementos que componen el nivel jerárquico inferior. Por ejemplo, el nivel textural –arcilla, limo y arena- tiene unas propiedades que se

⁵ A nivel físico es bien conocido que las partículas minerales y orgánicas, constituyentes de la llamada fase sólida del suelo, se asocian para formar agregados

diferencian del nivel estructural -en el que interviene un nuevo componente que es la materia orgánica-.

La interacción entre niveles de organización en el suelo –el caso de la actividad microbiana y la agregación- y entre éstos niveles y otros niveles externos –por ejemplo la relación suelo/atmósfera que nos muestra entre otros el suelo como sumidero de CO₂ o la relación microorganismo/planta- permiten comprender mejor su complejidad y su importancia para la biosfera.

3. La vida en el suelo. Una breve aproximación a los organismos y sus interacciones.

El suelo, además de ser soporte y fuente de nutrientes de las plantas, es también el hábitat de una amplia variedad de organismos, de hecho los suelos albergan algunas de las comunidades biológicas más diversificadas del planeta. La dinámica de la vida en el suelo asegura la multiplicidad de los servicios ecológicos que en una gran variedad de condiciones ambientales suministra el suelo al conjunto de la biosfera.

La biodiversidad del suelo refleja la variedad de organismos vivos. El conocimiento que tenemos de la vida en el interior del ambiente suelo es todavía escaso⁶ debido a la heterogeneidad del mundo físico y químico, a la diversidad de microhábitat y a la complejidad de organismos que con su actividad promueven el desarrollo y mantenimiento de un número todavía mayor de microclimas. Por lo tanto la dificultad de estudiar la biodiversidad del suelo y la necesidad de identificar metodologías comunes para tal finalidad continúa siendo uno de los desafíos más grandes en ciencia de suelo (Giller et al., 2005).

En ecología, el concepto de *diversidad* tiende a ser aplicado al nivel de comunidad; así la diversidad es interpretada como el número de especies diferentes que conforman una comunidad en un lugar determinado –también denominado *biodiversidad*- (Wilson, 1988). Sin embargo, como sabemos los ecosistemas y los agrosistemas, tienen igualmente diversidad en el arreglo espacial de sus componentes, en sus interacciones, etc. Por lo tanto la diversidad tiene varias dimensiones ofreciendo mayor complejidad al concepto de diversidad –*diversidad ecológica* (Gliessman, 2001). (Cuadro).

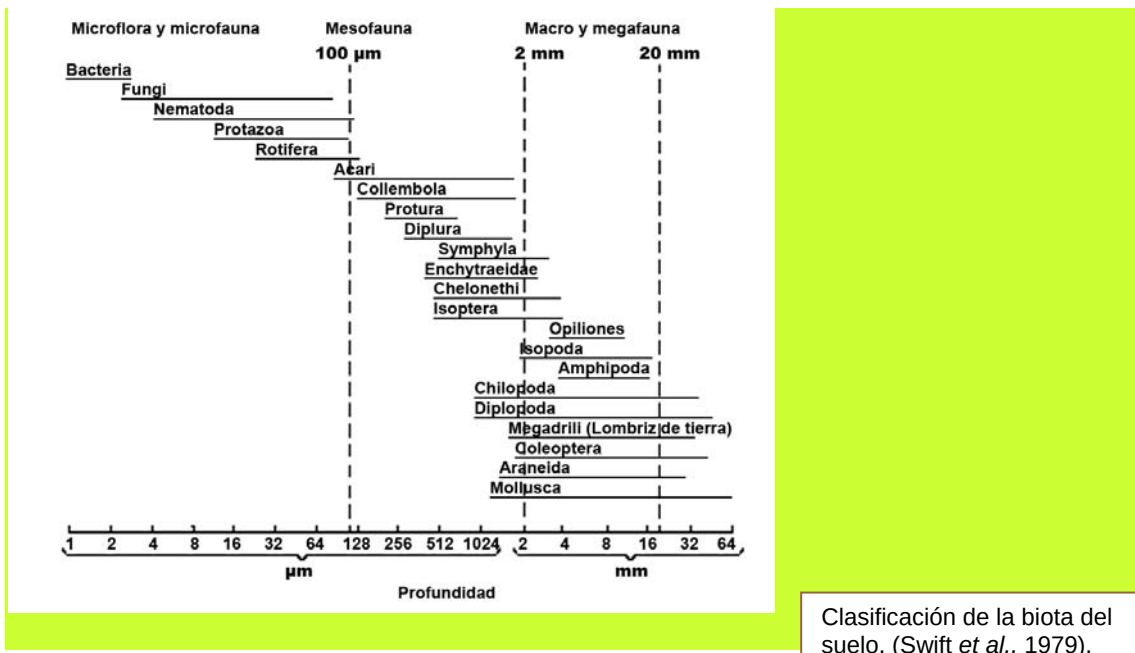
Dimensiones de la diversidad ecológica en un ecosistema Gliessmann, (2001).

- Especies: Número de especies diferentes en el sistema.
- Genética: Grado de variabilidad de información genética en el sistema.
- Vertical: Número de distintos niveles horizontales en el sistema.
- Horizontal: Patrones de distribución espacial de los organismos en el sistema
- Estructural: Número de elementos en la organización del sistema
- Funcional: Complejidad de interacciones, flujo de energía y ciclos de materiales entre los componentes del sistema
- Temporal: Grado de la heterogeneidad de cambios cíclicos en el sistema.

⁶ Ecología microbiana es el arte de hablar de aquello que no se conoce verdaderamente, en un lenguaje que no importa quien puede comprender... (Griffin, 1972)

El reconocimiento cada vez mayor de la importancia de la vida en el suelo⁷ en relación con los servicios que presta a la sostenibilidad de los sistemas de producción –su relación con los procesos detoxificadores, con la fertilidad de suelo y con la salud de planta- ha hecho que de nuevo se preste interés al estudio de la biodiversidad del suelo a un nivel más global y a su gerencia dentro de los sistemas agrarios.

En general Los organismos del suelo se han clasificado en base al tamaño en microflora (1-100 μm –ej. bacterias, hongos-), microfauna (5-120 μm – ej. protozoos, nematodos-), mesofauna (de 80 μm a 2 milímetro, ej. Collembolos y acaros) y macrofauna (de 500 μm a 50 milímetros, ej. lombrices y termitas). Las raíces de las plantas también pueden considerarse organismos del suelo debido a su relación con los demás elementos del suelo. Estos diversos organismos interactúan entre sí y con la vegetación en la matriz compleja y heterogénea del suelo;



El entramado de interacciones nos muestra la arquitectura de la naturaleza en el suelo. En función del tipo de interacción que observemos nos encontramos con redes de competidores, redes tróficas, redes mutualistas, redes de facilitación, etc. La estructura de las redes ecológicas condiciona la mayoría de las funciones y servicios de los ecosistemas. El reciclado de nutrientes, los flujos de agua y de carbono, entre otras muchas funciones, se alteran cuando la arquitectura de estas redes se pierde.

⁷ Los organismos del suelo aportan una serie de servicios fundamentales para la sostenibilidad de todos los ecosistemas. Son el principal agente del ciclo de los nutrientes, regulan la dinámica de la materia orgánica del suelo, la retención del carbono y la emisión de gases de efecto invernadero, modifican la estructura material del suelo y los regímenes del agua, mejorando la cantidad y eficacia de la adquisición de nutrientes de la vegetación y la salud de las plantas. Estos servicios no sólo son decisivos para el funcionamiento de los ecosistemas naturales, sino que constituyen un importante recurso para la gestión sostenible de los sistemas agrícolas.

La diversidad de hábitat, de fuentes de alimentos y de tamaños en escalas que se extienden de micrones a metros hacen que sea difícil la identificación de un solo método que nos proporcione simultáneamente la información sobre todos los componentes de la biodiversidad. Si se reconoce, que las medidas de su actividad proporcionan una comprensión mejor de la función biológica del suelo que el habitual recuento de organismos.

En relación con los animales del suelo del suelo, en los últimos 20 años, ha crecido el reconocimiento de la importancia que este grupo tenía para el funcionamiento del mismo y para su dinámica en los agrosistemas. Por su mayor importancia agronómica destacaremos el grupo de los invertebrados que habitan en el suelo “a tiempo completo”⁸.

Las funciones que cumplen los invertebrados del suelo dependen en gran medida de la eficacia de su sistema digestivo –el cual depende a su vez del tipo de interacción que realiza con los microorganismos del suelo- y de la naturaleza y la abundancia de las estructuras biológicas también denominadas estructuras biogénicas, que esos invertebrados producen en el suelo. Partiendo de estos dos criterios se pueden distinguir tres grandes grupos funcionales de invertebrados (Lavelle, 2001):

- los microdepredadores. Este grupo incluye a los invertebrados más pequeños, los protozoos y los nemátodos. Estos organismos no producen ninguna estructura organo-mineral y su efecto principal es estimular la mineralización de la materia orgánica.
- Los transformadores de la hojarasca, en este grupo se encuentran los representantes de la mesofauna y de parte de la macrofauna. Cuando estos invertebrados ingieren sus deyecciones, que sirven de incubadora de los microorganismos, asimilan los metabolitos liberados por la acción microbiana.
- Los pertenecientes a la macro y megafauna denominados como “ingenieros del ecosistema” que son aquellos invertebrados que producen estructuras físicas con las cuales modifican la disponibilidad y accesibilidad de un recurso para otros organismos; pudiendo modificar la estructura de otras comunidades de organismos.

De las innumerables formas de vida que habitan en el suelo, sólo un pequeño número de macroinvertebrados –lombrices, termitas y hormigas- se distinguen por su capacidad de formar estructuras biogénicas –deyecciones, nidos, montículos, galerías, estructuras organo-minerales, macroporos, etc.- Lavelle 1997. La acción de estos “ingenieros del ecosistema”⁹ es muy importante a nivel edáfico ya que en las estructuras biogénicas suceden procesos fundamentales como la estimulación de la actividad microbiana, la

⁸ Wolters (2001) distingue entre los “habitantes a tiempo completo” -muchos micro y mesoartropodos, lombrices y macroinvertebrados- y los “habitantes por horas” del suelo -como muchos vertebrados, larvas de insectos, etc.- V. Wolters, Biodiversity of soil animals and its function, Eur. J. Soil Biol. 37 (2001), pp. 221–227

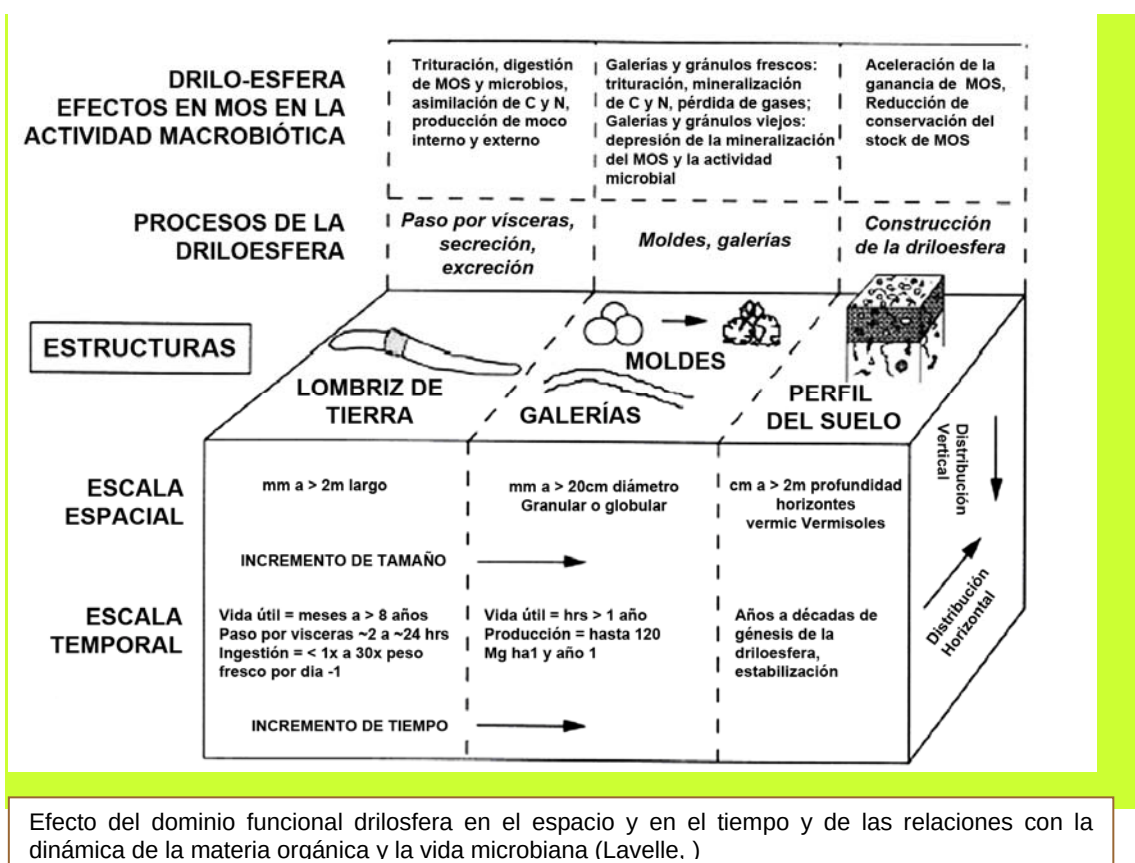
⁹ Como ingenieros del ecosistema un gran número de autores también se incluyen a las raíces de las plantas

biotransformación de la materia orgánica, el intercambio de agua y gas en el suelo o la formación de la estructura y su estabilidad-.

En la actualidad la mayoría de los estudios dirigidos a descifrar las conexiones entre la estructura de la biodiversidad edáfica, su variabilidad y su función, muestran que la distribución de la vida del suelo en espacio y tiempo no se produce aleatoriamente en el suelo ni en forma homogénea sino que está ligada a puntos específicos donde ocurre una proporción mayor de actividad biológica, puntos que están asociados mayoritariamente con la disponibilidad de materia orgánica.

Estos puntos denominados dominios funcionales son lugares específicos del suelo influenciados por un regulador principal que puede ser biótico –ejemplo una lombriz o una raíz- o abiótico –por ejemplo alternancia humectación/desecación en el suelo- en los cuales se regulan procesos del suelo e indirectamente, recursos para otros habitantes del suelo.

En estos lugares caracterizados mayoritariamente por el recurso orgánico que contienen –hojarasca u otro tipo de materia orgánica- el regulador biótico crea una serie de estructuras como deyecciones, galerías y fisuras que son ocupadas por invertebrados más pequeños y por microorganismos¹⁰



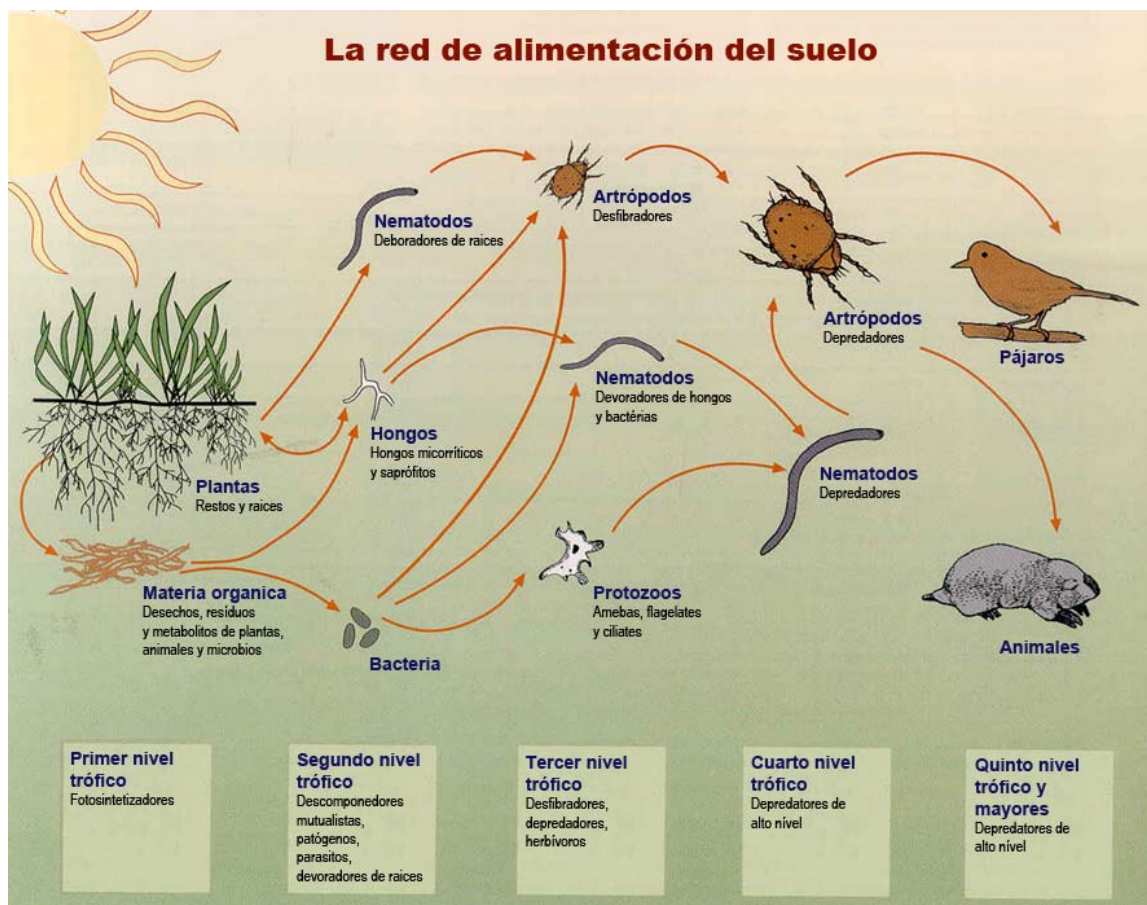
¹⁰ por ejemplo la detristosfera es el área de influencia de los artropodos que transforman la hojarasca.

La mayor actividad de la vida en el suelo estaría localizada preferentemente en los siguientes dominios funcionales: la rizosfera –zona de influencia de la raíz y sus exudados-, la hifosfera –en relación con la actividad de las micorrizas arbusculares-, la agregadosfera –en relación con las estructuras biogénicas o agregados del suelo e intersticios entre macro y microagregados; la porosfera –películas y canales de agua entre los agregados-; la drilosfera –zona de influencia de la actividad de las lombrices de tierra-; puntos ligados a zonas asociadas a las distintas fracciones de la materia orgánica de suelo -como la materia orgánica particulada- o bien a áreas con restos orgánicos procedentes de plantas y animales y aún reconocibles –detritosfera-. (Barrios, 2007).

De esta manera, el estudio clásico de la biodiversidad de los macroorganismos del suelo a nivel de especies ha dejado paso por su mayor utilidad al estudio de sus funciones ecológicas y de los servicios prestados al ecosistema.

En este contexto, las clasificaciones basadas en las relaciones alimentarias entre especies denominadas redes tróficas, aunque presentan un nivel de complejidad importante debido a la multiplicidad de grupos y a la plasticidad dietética de la mayor parte de ellos¹¹, son clasificaciones de enorme importancia para entender, la dinámica de la energía y los nutrientes en los agrosistema y los servicios que la vida en el suelo aporta a la sostenibilidad de los mismos -ciclos de nutrientes, control de plagas y enfermedades mediante competición, depredación, y parasitismo, dinámica de la materia orgánica, etc.- lo que permitirá aproximarnos a manejos más compatibles con su conservación

¹¹ Por ejemplo los restos de materia orgánica son fragmentados por la macrofauna en pedazos más pequeños que facilita su biodegradación por bacterias y hongos del suelo, que proporcionan con la mineralización de estos sustratos carbonados nutrientes inorgánicos esenciales para el crecimiento vegetal. La mineralización continúa con la acción de organismos como los protozoos y los nematodos que se alimentan de bacterias y hongos, a la vez que estos son comidos por carnívoros superiores.



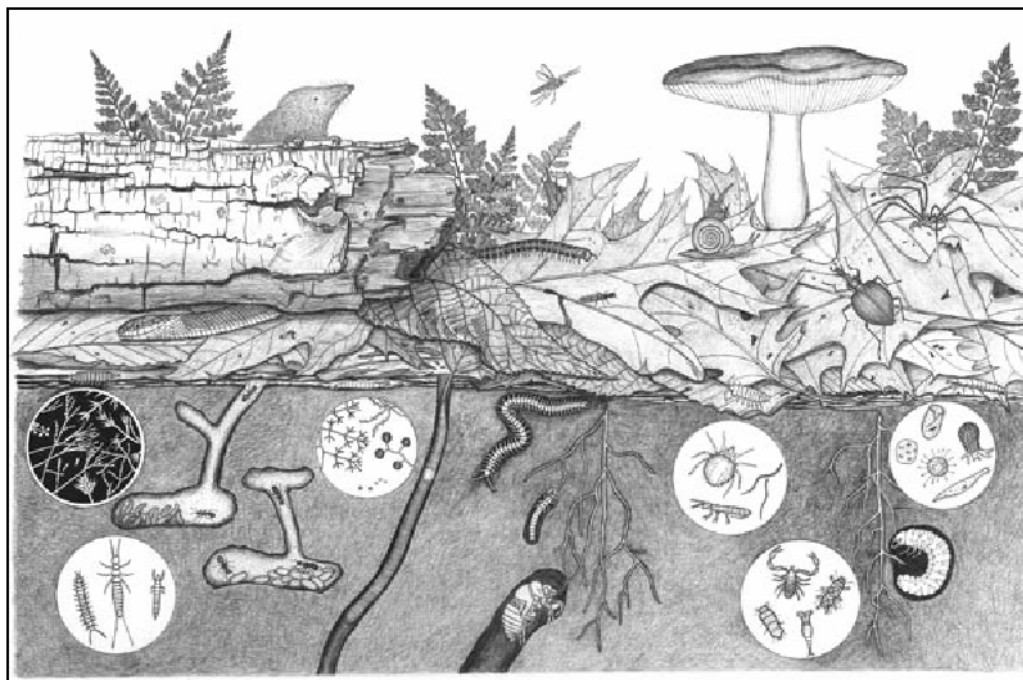
Soil Food Web by Elaine Ingham, PhD

Actualmente está demostrado que la estabilidad del ecosistema está ligada de cerca a la abundancia relativa de los diversos grupos funcionales que componen la red trófica del suelo.

En los ecosistemas naturales, la regulación interna de estos grupos es en gran parte resultado de la biodiversidad vegetal que influencia la magnitud y el flujo de la distribución temporal de carbono; sin embargo, en los agrosistemas, la intensificación agrícola se aleja de esta forma de regulación, por lo que es de enorme importancia el manejo del suelo con bases agroecológicas.

Las consecuencias de un mayor conocimiento y una percepción más global del funcionamiento de los ecosistemas ha dado paso a la realización de numerosos estudios que intentan integrar las interacciones de los dominios bióticos en una escala más pequeña –estructura, dinámica de la materia orgánica, redes tróficas- con los dominios abióticos a gran escala –topográfica, vegetación, clima, etc.- y como consecuencia clarificar los impactos que sobre la biodiversidad tienen muchas de las intervenciones humanas, fundamentalmente las relacionadas con la actividad agraria¹².

¹² Las evidencias sugieren que la destrucción del suelo y de su biota daría lugar a efectos de degradación en cascada desde el nivel edáfico hasta el nivel de biosfera.



La increíble diversidad de vida en el suelo. Dibujo por James Nardi, UIUC.

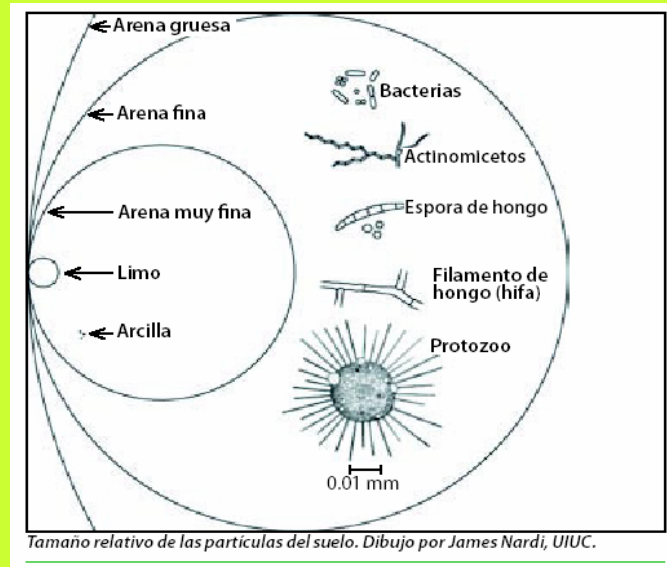
Una comunidad biológica depende en última instancia de la actividad de los microorganismos por eso es importante hacer una breve descripción de la actividad de los habitantes más pequeños del suelo.

En este grupo se incluyen arbitrariamente a las bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoos.

Como ya esperábamos, las exigencias de los microorganismos en energía, elementos nutritivos, agua, temperatura adecuada y ausencia de condiciones nocivas son similares a las de las plantas cultivadas. Los nutrientes que requieren son sustancias que se emplean en la biosíntesis celular y para la producción de energía, la diferencia estriba en que algunos organismos utilizan los mismos nutrientes para realizar las dos funciones y otros necesitan nutrientes diferentes para lograr ambos cometidos.

Organismos	Fuentes de carbono
Autótrofos	CO ₂ atmosférico reduciéndolo y transformándolo a moléculas orgánicas, como fuente única o principal de carbono.
Heterótrofos	Utilizan moléculas orgánicas, formadas y reducidas por otros organismos como fuente de carbono
	Fuente de energía
Fotoautótrofos	La luz del sol
Quimioheterótrofos	Oxidación de compuestos orgánicos o inorgánicos.

Fuera de la clasificación anterior debemos hacer mención a los microorganismos denominados "simbiontes"; éstos obtienen energía y nutrientes a partir de una planta a la que proporcionan también beneficios, ej. fijadores de N-atmosférico y hongos micorrícicos.



Los hongos, la mayor parte de las bacterias no fotosintéticas, los actinomicetos, los protozoos y todos los macroorganismos son heterótrofos –comen restos orgánicos o moléculas orgánicas-, mientras que las algas y algunas bacterias son autótrofos –realizan la fotosíntesis-. Por lo tanto, cualquier aporte de materia orgánica de origen externo, como el compost, el estiércol, los abonos verdes, etc., o interno, como los exudados radiculares, las raíces muertas o los restos de los colonizadores primarios, activa enormemente a las poblaciones de microorganismos heterótrofos.

De esta manera, la diversidad y la actividad de la mayor parte de la población edáfica resultan parcialmente controladas por el ritmo con que el material energético, entra en forma de materia orgánica

Los organismos también necesitan nutrientes minerales para elaborar nuevos componentes: Oligoelementos, en pequeñísimas cantidades (manganeso, cinc, cobalto, molibdeno, níquel, cobre, sílice, etc.) macroelementos en cantidades relativamente mayores, como el carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, azufre y fósforo, que son los componentes principales de los hidratos de carbono, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, así como potasio, calcio, magnesio, hierro y azufre, que encontramos en la célula microbiana en forma de cationes.

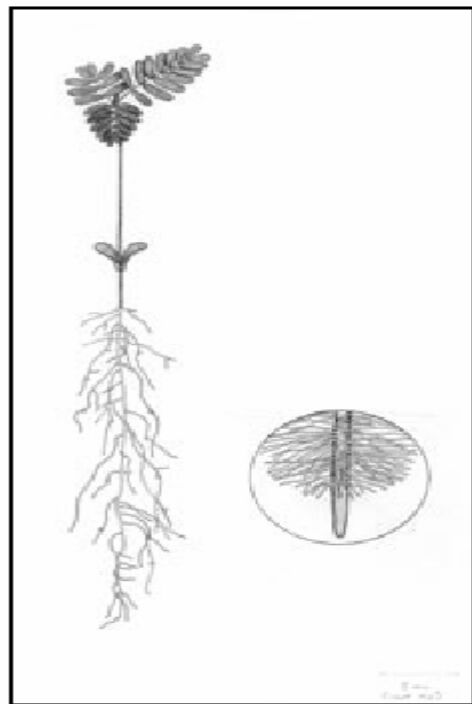
Pero además, como muchos de ellos no pueden elaborar todos sus constituyentes elementales utilizando elementos minerales necesitan otros elementos denominados factores de crecimiento: Aminoácidos, purinas, pirimidinas y vitaminas. Todas ellas componentes de la materia orgánica.

Otro aspecto diferenciador importante, que nos va a reflejar la actividad y el hábitat elegido, está relacionado con el comportamiento de los distintos tipos de organismos frente al oxígeno. En este sentido, un organismo que pueda crecer en presencia de oxígeno atmosférico es aerobio, mientras que otro que puede crecer en su ausencia es anaerobio

En general como le sucede a todos los seres vivos, la actividad de los organismos edáficos se pone de manifiesto si su densidad es suficiente, si su medio es idóneo y si sus necesidades nutricionales están satisfechas. La especialización de cada organismo y su simplicidad hace que sea necesario trabajar en equipo

Aunque en los suelos agrícolas el suministro de materiales orgánicos sea la forma más común y directa de suministrar alimento y energía a la población macro y microbiana, en realidad en relación a la vida microbiana son las plantas las principales suministradoras de sustratos energéticos al suelo y más que la planta en sí un dominio funcional denominado rizosfera que siguiendo la definición de Hiltner (1904), hace referencia “al limitado volumen de suelo que rodea a las raíces y que resulta afectado por el desarrollo de éstas, lo que produce la estimulación y proliferación de los microorganismos del suelo” -se calcula que el suministro de compuestos orgánicos a la rizosfera es de entre 50-100 mg de materia orgánica por g de raíz-.

En contrapartida como no podía ser de otra manera, los microorganismos desarrollan en la rizosfera actividades metabólicas de vital importancia para las plantas. El conjunto de interacciones que tienen lugar en la rizosfera se conoce como efecto rizosférico.



Las raíces finas de muchas plantas pueden penetrar profundamente en búsqueda de alimentos. Dibujo por James Nardi, UIUC.

Acciones beneficiosas de los microorganismos en la rizosfera (Barea, 1998):

- Estimulación de la germinación y del enraizamiento, mediante la producción de *fitoestimuladores* como hormonas, vitaminas y otros.
- Incremento en el suministro y disponibilidad de nutrientes, mediante su participación en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes.
- Mejora de la estructura del suelo por su contribución en la formación de agregados estables y en la formación de humus.
- Protección de la planta mediante fenómenos de antagonismo como biopesticidas, por eliminación de productos contaminantes, o por incremento de la tolerancia a la salinidad, a la sequía, etc.

Las relaciones vitales que se establecen en la rizosfera son muy importantes; así, mientras que las interacciones *microbio-microbio*, pueden traer consecuencias beneficiosas para ambos o la muerte o disminución de la actividad del otro, las interacciones *microbio-planta* son más complejas:

- ✓ Por una parte la presencia de microorganismos, aumenta la cantidad de sustancias orgánicas producidas por las raíces, como azúcares, aminoácidos, vitaminas, etileno, enzimas, etc.
- ✓ Por otra parte, la producción de sustancias orgánicas por las raíces activa las poblaciones microbianas, que degradarán más activamente la materia orgánica, aportando con ello, nutrientes minerales en forma asimilable y bioactivadores para el desarrollo de la planta; aumentando la reserva húmica del suelo y actuando también en el control de patógenos radiculares, mediante la producción de antibióticos.

Los exudados de organismos y sistemas radiculares actúan como máquinas de embalaje de las partículas del suelo, dando lugar a los agregados que tanta importancia tienen para que el suelo actúe como una esponja - alrededor de las raíces, el agua se infiltra con mayor facilidad y se retiene de forma más eficiente-. La cantidad de nutrientes en formas disponibles para la biota edáfica en la rizosfera es enorme, lo cual facilita la proliferación de enormes comunidades vivas muy especializadas.

La rizosfera es en realidad un microcosmos, un hábitat dinámico y las interacciones que ocurren en ella tienen un impacto considerable en la productividad vegetal más todavía si tenemos en cuenta que las actividades de los microorganismos, especialmente la de algunos grupos específicos de bacterias y hongos, puede ser dirigidas mediante técnicas perfectamente utilizables por el agricultor para propiciar que se expresen de forma eficaz determinadas funciones que repercuten en la nutrición, crecimiento y salud de las plantas (Kennedy, 1998).

Desde el punto de vista de sus relaciones con la planta los microorganismos del suelo se dividen en tres grandes grupos (Barea *et al.*, 1997) y un cuarto menos numeroso:

- **saprófitos**, que utilizan, en "*vida libre*", compuestos orgánicos procedentes de residuos animales, vegetales o microbianos.
- **simbiontes parasíticos** o "*patógenos*", que infectan órganos de la planta causándole enfermedades.
- **simbiontes mutualistas** o simplemente "*simbiontes*", como se les denomina en la literatura científica, que colonizan las raíces de las plantas donde encuentran compuestos carbonados pero que benefician el desarrollo y nutrición de la planta aportándole nutrientes minerales.
- **simbiosis asociativas** en las cuales los microorganismos pueden vivir en asociación íntima con la planta, aunque en condiciones naturales no necesitan de ella para llevar a cabo sus actividades fisiológicas.

Dentro de las simbiosis mutualistas, destacaremos por su interés agronómico la fijación del nitrógeno atmosférico y la micorrización.

Se entiende por fijación biológica de nitrógeno la reducción de este elemento a amonio llevada a cabo por: Bacterias tipo *Rhizobium*, que son simbiontes de leguminosas; por *Frankia* (actinomiceto) simbiontes de no leguminosas en general árboles y arbustos y por ciertas algas verde-azuladas –*Anabaena*– (también incluidas como cianobacterias) que participan en la simbiosis con *Azolla* (helecho acuático) y que son fuente alternativa de nitrógeno en los cultivos de arroz.

De esta forma, el nitrógeno molecular es incorporado a la biosfera y utilizado directa o indirectamente por las plantas, según se trate de la fijación simbiótica o libre, para pasar después en forma de proteínas vegetales a los animales y al ser humano. La planta, ofrece a las bacterias la energía en forma de carbohidratos sintetizados mediante la fotosíntesis.

La fijación del nitrógeno por las leguminosas, es el proceso simbiótico más conocido, las mayores ventajas de las leguminosas radican en la posibilidad de incrementar el contenido de nitrógeno del suelo y de esta manera independizarse de los aportes de nitrógeno externos, aumentando sus rendimientos, el de los cultivos asociados a ellas y de los que les siguen en la rotación.

Para que se produzca la nodulación y ésta sea activa, debe suceder: Que haya especies de *rhizobium* autóctonos o que inoculemos con cepas adecuadas a la especie a cultivar, que la planta esté provista de los nutrientes esenciales para

su crecimiento y nodulación y que no se aporte nitrógeno en forma mineral, ya que, si la riqueza del suelo en nitrógeno mineral es elevada, la nodulación y la nitrificación resultan inhibidas (Harry, 1992).

Por lo tanto, la fuente primaria del nitrógeno en el suelo, no sería la materia orgánica, sino los microorganismos que lo fijan y que necesitan de materia orgánica en transformación si son bacterias o que forman ellos la materia orgánica, si son algas (Primavesi, 1984)

La asociación simbiótica mutualista entre la inmensa mayoría de las raíces de las plantas y hongos especializados, se llama micorriza. La micorriza, es una extensión de la rizosfera, y se considera el componente metabólicamente más activo de los órganos de absorción de nutrientes de las plantas. Existan varios tipos de micorrizas pero las plantas de interés agronómico forman las llamadas “micorrizas arbusculares” con hongos microscópicos (Zigomicetos) (Azcón-Aguilar et al., 1999).

El hongo, una vez que alcanza la rizosfera, coloniza biotróficamente la corteza de la raíz y desarrolla un micelio externo que, a modo de sistema radicular altamente efectivo, ayuda a la planta a adquirir nutrientes minerales – preferentemente fosfatos- y mejora la circulación del agua entre el suelo y la raíz, lo que favorece el crecimiento de las plantas en suelos de baja fertilidad y en situaciones críticas como una sequía. A su vez, la planta hospedadora proporciona al hongo simbionte heterótrofo, nutrientes orgánicos y vitaminas, así como un nicho ecológico protegido.

Las micorrizas pueden aumentar la absorción de otros nutrientes -potasio, cobre, azufre y cinc-, capacitan a la planta para poder crecer en suelos contaminados y erosionados y en áreas de gran variabilidad térmica y pH adverso. Pueden aumentar la resistencia de las plantas a las enfermedades y mejorar en las leguminosas la fijación de nitrógeno; estimular en la planta la producción de sustancias reguladoras del crecimiento, incrementar la tasa fotosintética, mejorar la agregación del suelo directamente con sus hifas extrarradicales o mediante la producción de glomalina¹³ e intervenir en muchas de las acciones que ocurren en el suelo alrededor de las raíces.

Con un alto nivel de fosfato asimilable en el suelo, se inactivan o no se forman micorrizas (Lynch y Wood, 1992). La colonización y su intensidad también se ven muy afectada, llegando a no producirse por el uso de biocidas.

En este sentido, el manejo agroecológico de la rizosfera, con vistas a la mejora de la fertilidad del suelo y del cultivo, es posible si influimos básicamente, optimizando las condiciones del suelo y las excreciones de las raíces¹⁴.

¹³ La glomalina es, una glicoproteína insoluble en agua con algunas características de hidrofobinas, muy estable y producida en forma abundante por las hifas de los hongos MA

¹⁴ Con el uso de rotaciones de cultivo, el aporte de materia orgánica de calidad, el mulching, enmiendas minerales naturales, la disminución del laboreo o el uso del “no laboreo”, etc., podemos modificar las condiciones del suelo; con el uso de abonos foliares de algas, preparados biodinámicos, purines de plantas, etc., con la asociación de cultivos y la poda, podemos modificar las excreciones de la raíz.

Los organismos del suelo aportan una serie de servicios fundamentales para la sostenibilidad de todos los ecosistemas. Estos servicios no sólo son decisivos para el funcionamiento de los ecosistemas naturales, sino que constituyen un importante recurso para la gestión sostenible de los sistemas agrícolas.

FUNCIONES ESENCIALES PARA LOS ECOSISTEMAS QUE DESEMPEÑAN LOS DIFERENTES TIPOS DE ORGANISMOS DEL SUELO (FAO Soil Biodiversity Portal)	
Mantenimiento de la estructura	Agregación por invertebrados como la lombriz, sistemas radiculares de las plantas, micorrizas y algunos tipos de bacterias y hongos
Regulación de la dinámica del agua	Invertebrados con mayor potencial de agregación y sistemas radiculares
Intercambio gases con la atmósfera y secuestro de carbono	La mayor parte de los microorganismos y sistemas radiculares; carbono retenido en agregados compactos de origen biogénico – deyecciones lombrices-
Eliminación de compuestos tóxicos	La mayor parte de los microorganismos del suelo
Dinámica de los nutrientes	La mayor parte de los microorganismos y raíces; invertebrados que se alimentan del mantillo (horizontes orgánicos)
Dinámica de la material orgánica	Invertebrados que se alimentan del mantillo (detritívoros), hongos, bacterias, actinomicetos y otros microorganismos
Supresión de plagas y enfermedades	Plantas, micorrizas y otros hongos, nematodos, otros invertebrados y bacterias que parasitan o causan enfermedades a patógenos, colémbolos, invertebrados, protozoos y hongos depredadores
Relación simbiótica y asimbiótica con las raíces de las plantas	Rizobios, micorrizas, actinomicetos, bacterias diazotróficas varias especies de microorganismos rizosféricos y hormigas
Control del crecimiento vegetal	Efectos directos por sistemas radiculares, rizobios, micorrizas, actinomicetos, patógenos, nematodos fitoparásitos, insectos rizofagos, microorganismos de la rizosfera, agentes que ejercen biocontrol. Efectos indirectos: la mayor parte de la biota

4. La dinámica de la materia orgánica en el suelo.

La descomposición de materiales orgánicos en moléculas más simples es uno de los servicios más importantes para el ecosistema realizado por los organismos del suelo pues representa el complemento catabólico de la fotosíntesis.

La materia orgánica de los suelos de cultivo es una fracción compleja y heterogénea, con una dinámica propia ligada a la dinámica del medio vivo y a la fracción mineral e integrada por numerosos componentes, en diferente ubicación y estado y con diversos grados de alteración y procedencia.

Definimos a la **materia orgánica del suelo (MOS)** como:

- el material orgánico de origen biológico, que procede de alteraciones bioquímicas de los restos de animales, plantas y microorganismos y de la propia actividad vegetal y microbiana; que se encuentra localizada en el interior de macro o microagregados, en la solución y en la superficie del suelo y presenta distintos estados de transformación derivados de la dinámica del medio vivo y de la interacción con el medio mineral, los factores ambientales, el tipo de suelo y las prácticas de cultivo

Todos los constituyentes de las plantas, animales y microorganismos pasan al suelo en algún momento, aunque su existencia en el mismo suele ser transitoria. Algunos componentes son más resistentes a la degradación y pueden acumularse, hasta cierto punto, ya que las condiciones de escasez de carbono y la flexibilidad bioquímica de la población del suelo, aseguran que no se produzca nunca una gran acumulación de material biodegradable.

En suelos agrícolas dedicados a la agricultura industrial las fuentes de materia orgánica suelen ser pocas y de escasa calidad –lodos de depuradora, purines sin fermentar, etc-. En un suelo manejado con técnicas agroecológicas la materia orgánica mayoritariamente procede de:

- ✓ Restos de plantas y de macro y microorganismos en diferentes estados de transformación¹⁵ –biomasa y necromasa-.
- ✓ Abonos orgánicos u órgano-minerales
- ✓ Síntesis, metabolismo y productos de excreción de los organismos edáficos¹⁶ –copromasa, señales, secreciones, neomasa-
- ✓ Exudados procedentes de la rizosfera -rizodeposición- (tabla 1)

¹⁵ Biomasa Fracción formada por los seres vivos del suelo. Necromasa Contenidos y estructuras celulares de la biomasa vegetal, microbiana y animal al morir

¹⁶ Copromasa Residuos de la digestión y no asimilación animal. Señales. Productos orgánicos de uso biológico, generadas por excreción como un sistema de llamada- respuesta específica, que exploran las relaciones entre los seres vivos del suelo o entre estos y las raíces. Secreciones. Rizodepósitos, catabolitos, mucopolisacáridos y otros generadas y depositadas por vegetales, animales y microorganismos del suelo, de forma expresa, y utilizados con fines “constructivos, nutricionales y defensivos en el ámbito de la rizosfera. Neomasa. Productos orgánicos de neoformación del propio suelo. Adaptado de Gonzalez Carcedo, 2007

La gran diversidad en los orígenes hace que la fracción orgánica no sea homogénea en su composición -aunque presenta una manifiesta regularidad en sus componentes-. Por lo tanto son muchas las clasificaciones, indicadores o criterios que se pueden utilizar para su mejor conocimiento.

Una clasificación simple, pero muy didáctica es aquella que divide la materia orgánica del suelo en dos fracciones, la materia orgánica “viva” y la materia orgánica “no viva” (Skjemstad and col., 1998).



La materia orgánica “viva” es aquella compuesta por materiales orgánicos que forman parte de los tejidos o células de plantas vivas, o macro y microorganismos (Baldock and Nelson, 1999). La biomasa macro y microbiana y las raíces de las plantas, podrían asimilarse a la fracción “viva” de la materia orgánica.

La fracción que hemos denominado como materia orgánica “no viva” constituye la gran mayoría de la materia orgánica del suelo –más del 95% de la misma-. Además, contribuye a la estructura y a la fertilidad del suelo y en mayor o menor grado a un gran número de funciones físicas, químicas y biológicas (Skjemstad & col., 1998).

Simplificando pero para su mejor comprensión podríamos dividir la fracción “no viva” a su vez en dos subgrupos; uno que podemos considerar como “no húmico”, constituido por los productos resultantes de la descomposición avanzada de los residuos orgánicos, de las excreciones radiculares y compuestos orgánicos producidos por síntesis microbiana o detritus, cuyas características química son todavía identificables, siendo la mayoría fácilmente

biodegradables; y otro subgrupo que podemos considerar como sustancias húmicas, las cuales resultan de los procesos de humificación como son descomposición, degradación y síntesis, forman parte integral del suelo y que no pueden ser separados por métodos mecánicos

En general las técnicas analíticas revelan que esta materia orgánica presenta como componentes mayoritarios, al menos en su fracción extractable lípidos, carbohidratos, polipéptidos y sustancias húmicas, en mezclas o asociadas químicamente.

La complejidad de la **fracción “no viva”** estaría representada en los componentes que Baldock and Nelson, 1999 agrupan y denominan como:

- Materia orgánica soluble. Conjunto de moléculas orgánicas de diferente tamaño y estructura que pasan por un filtro de 0.45 µm de poro
- Materia orgánica particulada. Fracción física de la materia orgánica de gran labilidad derivada mayoritariamente de material vegetal
- Humus. Mezcla de materiales orgánicos amorfos que contienen biomoléculas identificables –azúcares, proteínas, lípidos..- y no identificables –sustancias húmicas-
- Materia orgánica inerte. Materiales orgánicos altamente carbonizados

Gracias a esta complejidad, cada uno de los componentes de la materia orgánica en el suelo tendrá un papel específico sobre una determinada propiedad del mismo, siendo esta propiedad la mayoría de las veces cubierta por distintos componentes interactuando conjuntamente

La dinámica de la materia orgánica en el suelo en el sentido más amplio, incluye tres secuencias constantes pero no uniformes que se pueden alterar por los procesos que aceleran o retardan la dinámica microbiana (adaptado de Grandy y Robertson, 2007].

- la deposición de compuestos químicamente distintos en el suelo procedentes mayoritariamente de las plantas, pero también de abonos orgánicos de diversa procedencia y de deyecciones de macroorganismos –copromasa, necromasa, señales y secreciones
- la biotransformación y el procesado en nuevas estructuras mediante la acción de bacterias y hongos mayoritariamente de estos compuestos orgánicos aportados al suelo o sintetizados, a través de la acción de sistemas endo y exoenzimáticos y a través de la asimilación (y predeposición) de los compuestos carbonados producidos con la muerte microbiana
- la redistribución física y estabilización del carbono en suelos incluyendo transporte, absorción y agregación de las partículas del suelo

Mayoritariamente la transformación de la materia orgánica en el suelo depende de la velocidad a la que es usada por los microorganismos y ésta a su vez de la

calidad del sustrato, de la accesibilidad a él y de factores ambientales, edáficos y evidentemente del manejo.

Sin embargo, sólo una proporción limitada de la materia orgánica del suelo se encuentra en forma de restos animales, vegetales y microbianos, ya que estos residuos suelen ser rápidamente biodegradados encontrándose la mayoría de la materia orgánica asociada y protegida por la fracción mineral del suelo.

Los mecanismos de protección biológica de la materia orgánica en el suelo van en escalas de tamaño que se extienden de micrómetros a centímetros y son dependientes de las características químicas de los componentes minerales y del arreglo tridimensional de esas partículas minerales.

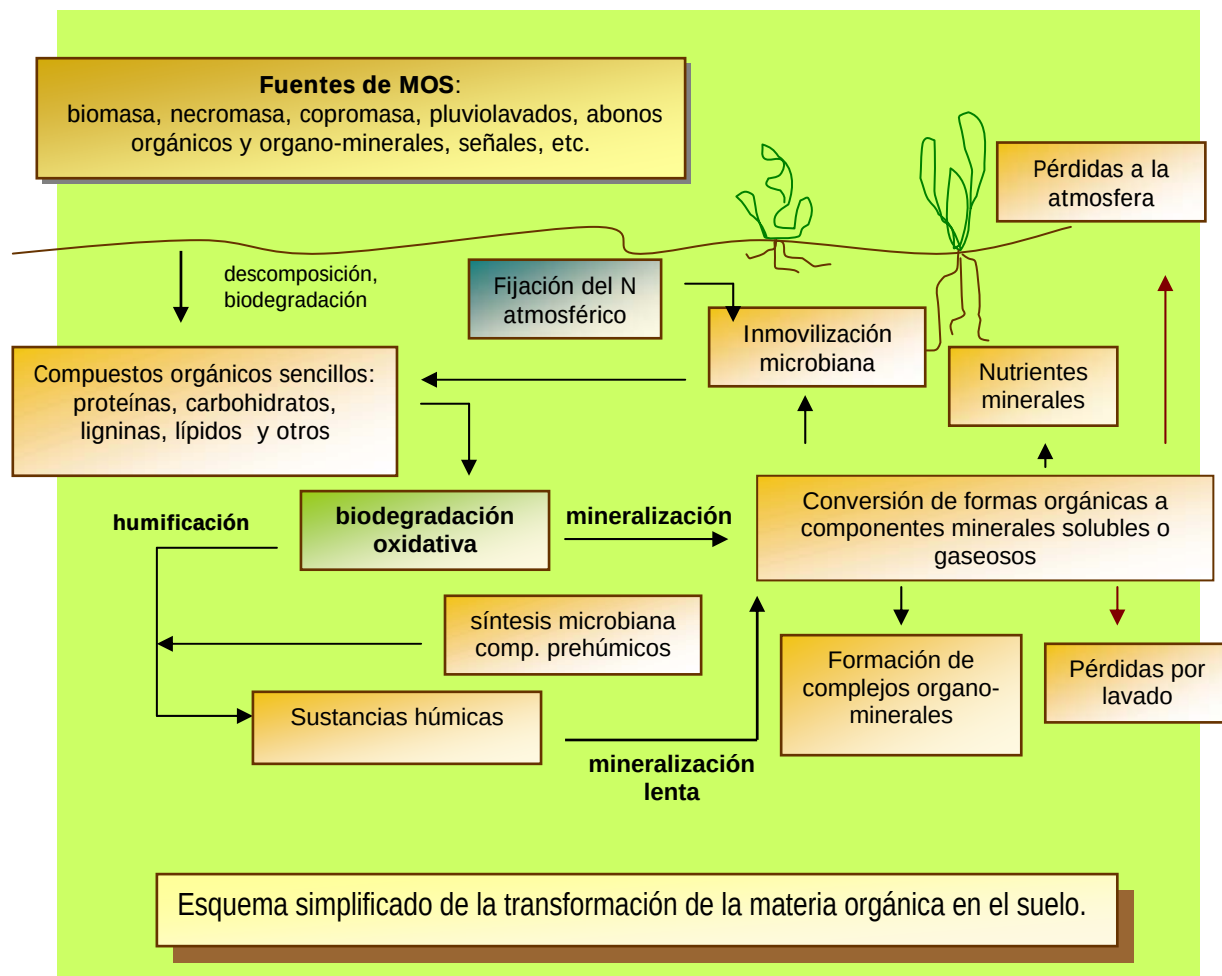
Los **mecanismos de protección** se pueden atribuir a tres características generales de la matriz mineral del suelo (Baldock, and Skjemstad, 2000)

- la naturaleza química de la fracción mineral del suelo y de la presencia de cationes polivalentes
- la naturaleza física de la fracción mineral del suelo, especialmente la presencia de superficies capaces de fijar los materiales orgánicos por adsorción
- la arquitectura de la matriz del suelo fundamentalmente del espacio poroso

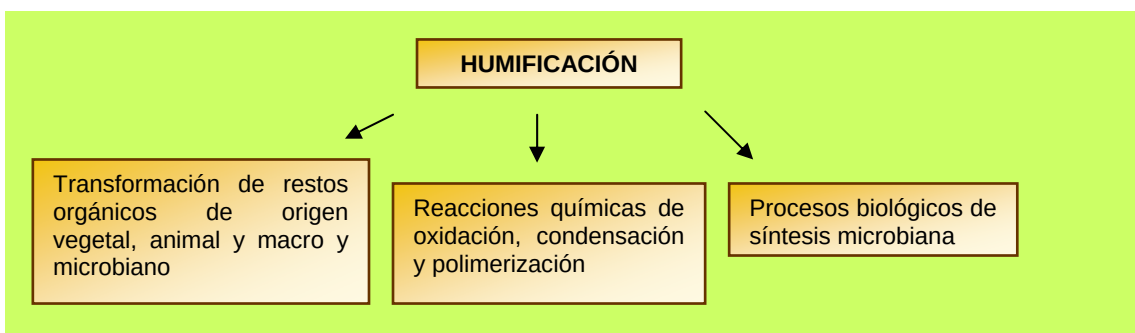
En el contexto de la dinámica de la materia orgánica y dentro de una hipotética secuencialidad, estos restos serían en una primera etapa, degradados y despolimerizados por vía biológica hasta los componentes elementales de sus constituyentes básicos: proteínas, hidratos de carbono, ácidos orgánicos complejos, etc., es decir, se produce una "simplificación" de su estructura a compuestos más "sencillos" y en general solubles.

Parte de estos compuestos sufren, por acción microbiana, un proceso de mineralización, pasando a formas inorgánicas, bien solubles (PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , etc.) o bien gaseosas (CO_2 y NH_4^+).

Algunos de estos compuestos, como ya veremos, pueden ser "reorganizados" - en un proceso inverso del que rige la mineralización-, produciéndose una inmovilización temporal de nutrientes -fundamentalmente nitrógeno- en la biomasa microbiana, pero reincorporándose más adelante a los compuestos húmicos, quedando sujetos a la típica dinámica de éste dentro del suelo.



La fracción de la materia orgánica que no se mineraliza en esta primera etapa, a través del proceso que denominaremos humificación, es sometida a complejas reacciones bioquímicas y químicas, de resíntesis y polimerización, que darán lugar a nuevos productos -macromoléculas más o menos policondensadas-, que reciben el nombre de sustancias húmicas y que presentan características y propiedades diversas.



Hoy sabemos que la materia orgánica de suelo es una fuente importante de nutrientes y de hábitat para la vida edáfica, estabiliza la estructura del suelo, y desempeña un papel fundamental en el intercambio de gases de efecto invernadero entre la atmósfera del suelo y la superficie y al contrario además de muchos otros servicios.

ALGUNAS ACTUACIONES DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

Parámetros físicos

Temperatura: Mantiene el suelo más caliente en invierno y más frescos en verano. Las variaciones de temperatura son menores.

Estructura: Participa en la agregación de las partículas minerales. Mejora y mantiene la estabilidad de la estructura. Reduce la erosión y el encostramiento. Mejora la porosidad.

Dinámica del agua: Aumenta la permeabilidad y la capacidad del suelo para retener el agua. Facilita el drenaje al optimizar la porosidad. Reduce las pérdidas por evaporación.

Parámetros químicos

pH: Tiene poder tampón, regulando el pH, impidiendo variaciones que serían perjudiciales para la nutrición vegetal y la vida de los organismos del suelo.

Capacidad de cambio: Aumenta la reserva de nutrientes minerales y la capacidad para intercambiarlos con el medio líquido según las necesidades de las plantas, disminuyendo las pérdidas por lixiviación.

Nutrientes: Provee de nutrientes en forma orgánica. Favorece la solubilidad de los elementos minerales. Origina compuestos más estables y mediante la quelación y complejación da lugar a uniones con microelementos que impiden su pérdida y facilitan su asimilación por el vegetal. Mantiene las reservas orgánicas de nitrógeno en el suelo.

Parámetros biológicos

Sobre la rizosfera: Equilibra la porosidad del suelo, por lo que favorece el intercambio de gases en la zona radicular. Favorece la simbiosis de micorrizas y rizobium.

Sobre los organismos: Aumenta la biodiversidad al aumentar el número de hábitat, la cantidad de nutrientes y de energía y el número de presas. Regula la actividad de los organismos, favoreciendo la biotransformación de las sustancias orgánicas y la formación de sustancias húmicas.

Sobre la planta: Favorece la germinación de las semillas. Activa la formación de raíces en las plantas y su mejor desarrollo al conseguir suelos más grumosos. Mejora la resistencia de la planta frente a enfermedades y plagas y equilibra y mejora su estado nutritivo. Contrarresta el efecto de

5. La fertilidad, expresión agrícola de las propiedades del sistema suelo

La fertilidad de los suelos agrícolas es una noción que no se encuentra definida globalmente con precisión y que, con frecuencia, pertenece más al lenguaje popular que al científico. De hecho, el sentido que rodea al término fertilidad, ya existía para el ser humano antes de que alguien inventara las palabras para describir el concepto.

La agricultura convencional considera la fertilidad como la aptitud de un suelo para suministrar nutrientes para el crecimiento de las plantas. El enfoque agroecológico, considera **la fertilidad** como la capacidad de un suelo de cultivo

de mantener de manera perdurable, un nivel de producción estable y de calidad, conservando un estado de alta estabilidad frente a los procesos que implican su degradación además de un alto grado de resiliencia¹⁷; y todo ello dentro de una amplia gama de condiciones agroambientales, socioeconómicas y culturales¹⁸.

Por lo tanto asume la fertilidad a nivel global como expresión del estado de los componentes y de los procesos biológicos, químicos y físicos de un suelo en un contexto ambiental y socioeconómico determinado. Nuestras actuaciones para el manejo eficiente de la fertilidad deben ir enfocadas en primera estancia al conocimiento de los parámetros que la determinan y posteriormente a las interacciones entre esos parámetros con los componentes no edáficos del agrosistema. En general debemos destacar como en la cuantificación de la fertilidad, “el lenguaje agrícola suele confundir, el análisis del suelo propiamente dicho con el proceso de diagnóstico de la fertilidad e incluso con la gestión de ésta, es decir se confunde la finalidad con el medio para alcanzarla” (Saña, 1996).

En la práctica agroecológica debemos considerar la fertilidad desde todos sus ámbitos:

Desde la **fertilidad física**, que valora al suelo como un soporte material adecuado de la raíz, haciendo también referencia a la dinámica de los fluidos agua y gases a su través. Desde el punto de vista físico, el suelo ha de proporcionar un medio adecuado a la germinación de las semillas y al desarrollo óptimo del aparato radicular; debe poseer una buena aireación, y una termicidad estable, una capacidad de retención hídrica apropiada, junto con un régimen de circulación de agua, que posibilitando un buen drenaje, no llegue a provocar un lavado excesivo así como una estructura estable que implique resistencia frente a procesos erosivos (Saña, 1996).

Prácticamente todos los requisitos descritos son función de la textura del suelo, del grado de desarrollo de su estructura y de la estabilidad de ésta, la consecuencia de todo ello, dará como resultado otras propiedades como porosidad, permeabilidad, densidad, etc¹⁹.

¹⁷ La **resiliencia** ha sido definida como la capacidad de un sistema de recuperar su estado inicial después de sufrir una perturbación (Herrick y Wander 1998), o como la capacidad de un sistema de retornar a un nuevo equilibrio dinámico después de una perturbación (Blum y Aguilar Santelises 1994). La resiliencia del suelo se ha relacionado con la calidad del suelo en términos de recuperación de sus funciones – producción sostenible y servicios ambientales- y dependería de las comunidades biológicas, el clima, el manejo del suelo, el tipo e intensidad de la perturbación y la escala de observación espacio-temporal.

¹⁸ La valoración de la fertilidad se concibe sólo de forma integrada con la sustentabilidad del agrosistema y del medio humano que maneja esos recursos. Las circunstancias naturales imponen restricciones biológicas al sistema de cultivo, los factores socioeconómicos, hacen relación al ambiente externo en que los productores toman sus decisiones.

¹⁹ Las propiedades físicas de los suelos en ambiente mediterráneo pueden tener más importancia que las químicas, en lo que se refiere a la calidad de los mismos (Urbano terrón, 1998). Aspectos como el laboreo continuado, el monocultivo, la pérdida de materia orgánica, el aporte de biocidas y abonos minerales en exceso hace que los procesos de degradación física del suelo en la actualidad, alcancen niveles insostenibles. Ya que modificar las propiedades físicas es a menudo inviable, las medidas que se toman consisten usualmente en enmascarar sus efectos desfavorables, mediante la potenciación de otros aspectos del suelo fácilmente alterables

Desde la **fertilidad química**, que define a la vez el estado físico-químico del medio y la importancia de la reserva y la disponibilidad de elementos asimilables. En el contexto físico-químico y químico, un suelo debe mantener una reserva adecuada de nutrientes en un estado de disponibilidad tal que permita su utilización por el vegetal y que cubra las necesidades del medio microbiano sin que se produzcan pérdidas. Aspectos descritos por el pH, el potencial redox, la capacidad de intercambio, el contenido en macro y micronutrientes, etc.

Las estrategias que van unidas a la optimización de la fertilidad química, están relacionadas con un adecuado grado de fertilidad física que permita un medio óptimo para que se den los múltiples mecanismos de la dinámica de los ciclos de nutrientes, una adecuada dinámica del oxígeno y del agua y una adecuada fertilidad biológica en relación a una reserva orgánica y a una actividad edáfica capaz de activar los procesos de biodegradación y la biodisponibilidad de los nutrientes.

Desde la **fertilidad biológica**, que caracteriza la magnitud y el estado de la reserva orgánica, así como la abundancia y actividad de la biomasa edáfica.

Es evidente que la evolución de las materias orgánicas en el suelo depende del estado físico y físico-químico del medio, y de la actividad biológica, relacionada en gran parte con la composición bioquímica de la materia orgánica. En este sentido, además de su cuantificación, se han desarrollado métodos enfocados a la caracterización de las diferentes fracciones de la materia orgánica.

En cuanto a parámetros relacionados con el medio vivo, los estudios sobre fertilidad biológica abordan la cuantificación de esta biomasa y de su vitalidad. En este sentido, se proponen una serie de determinaciones enzimáticas como respuesta a la potencialidad de un suelo para desarrollar determinadas actividades, y por ende, cómo índice de fertilidad –calidad- del suelo. Sin embargo, mientras la actividad enzimática es sensible a los efectos provocados por determinados manejos del suelo, los cambios experimentados en las actividades enzimáticas no se manifiestan como estables, de ahí que sólo pudiera ser considerada la actividad enzimática como indicador de poblaciones microbianas activas y esa propiedad, en cierta manera, puede ser suministrada por la tasa de respiración.

La utilización de la fauna edáfica como indicador de fertilidad del suelo, es también importante ya que su actividad puede influir en la tasa de descomposición de la materia orgánica, en el suministro de nutrientes, la infiltración, la conductividad hidráulica, la deposición de solutos a través del suelo, etc. La medida de parámetros tales como abundancia, diversidad o actividad de la fauna edáfica puede también ser considerados

Todos los parámetros que participan en la fertilidad global del suelo a nivel edáfico, están íntimamente relacionados habiendo componentes que influyen sobre todos los ámbitos de la fertilidad como es el caso de la materia orgánica

y el agua; y a su vez, todos ellos se ven afectados por otros componentes - climáticos, biológicos, geográficos, antrópicos, etc.-.

6. Marco teórico para el manejo de la fertilidad del suelo en agricultura ecológica.

Si nos centramos exclusivamente en el suelo, el manejo de su fertilidad en ambiente mediterráneo deberá estar basado en la adopción de prácticas que permitan: potenciar y estimular la diversidad edáfica; un suministro equilibrado de nutrientes para evitar carencias y bloqueos; prácticas de manejo para mejorar la eficiencia de la dinámica del agua evitando su déficit y evitando la posible acumulación de sales y técnicas de gestión de la materia orgánica, para optimizar las prácticas anteriores²⁰.

Pero el manejo de la fertilidad del suelo debe ir unido a prácticas agronómicas y mecánicas que impidan la degradación del suelo de cultivo -degradación producida por pérdida directa, por contaminación o por eliminación de su biodiversidad-.

Pero además el manejo agroecológico se fundamenta en el reconocimiento de la interconexión entre los componentes del agrosistema. No podemos hablar de subsistemas separados, sino de componentes conectados en un mismo sistema, de niveles de organización y de propiedades emergentes y aborda su estudio y gestión de forma transdisciplinar. Por lo tanto a la hora de hablar de manejo de la fertilidad también debemos unir las prácticas realizadas con aquellas que se ocupan del manejo de la vegetación cultivo y no cultivo, del control de plagas y enfermedades y de la gestión de la biodiversidad.

Existen una serie de recomendaciones generales para optimizar el manejo de la fertilidad del suelo en agricultura ecológica. Estas serían:

- ✓ La prioridad de adecuar el sistema de cultivo elegido de acuerdo a la capacidad agroecológica de producción del suelo
- ✓ Los aportes de materia orgánica en forma de estiércol, compost²¹, restos de cosecha, abonos verdes, tienen una función insustituible sobre todos los aspectos ligados a la vida microbiana y la salud del vegetal²².

²⁰ Ya que como sabemos la materia orgánica es la encargada de mantener a los nutrientes con el grado de dilución y en las proporciones requeridas por la vegetación, propicia unas condiciones edáficas satisfactorias para el correcto balance hídrico, ayuda a reducir la erosión y las deposiciones salinas y es indispensable para conseguir un grado óptimo de biodiversidad y actividad de la vida macro y microbiana en el suelo.

²¹ El compost, es el producto orgánico resultante del compostaje. Éste es un proceso bioxidativo controlado en el que intervienen una gran diversidad de microorganismos, que requiere una humedad adecuada, y sustratos orgánicos heterogéneos en su composición y homogéneos en cuanto a su tamaño y básicamente en estado sólido. Que pasa por una etapa termófila y una producción temporal de fitotoxinas, dando al final como producto de los diferentes procesos de transformación, dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada.

²² La provisión de nutrientes y energía y la mejora de las características físicas del medio, afectan a la actividad y biodiversidad edáfica. Respecto al medio vegetal, un aporte orgánico adecuado le provee de nutrientes en forma equilibrada, estimula su fisiología, aumenta el crecimiento de las raíces lo que va

- ✓ La disminución de la cantidad de abonos minerales, adecuando su aporte a las carencias que pueda presentar el abonado orgánico, a estados de reconversión y a períodos críticos de desequilibrios, deficiencias o mayores necesidades del cultivo.
- ✓ La utilización de abonos verdes²³ que mejoran la actividad metabólica microbiana -por el aporte de materiales ricos en azúcares y en nitrógeno- y actúan sobre la movilización biológica de determinados nutrientes difícilmente alcanzables por la mayor parte de los cultivos y además actúan sobre la agregación del suelo.
- ✓ El uso de prácticas específicas para la mejora de la biodiversidad edáfica –como la inoculación- y la eliminación de aquellas que puedan suponer alteraciones bruscas o pérdida de actividad.
- ✓ El control riguroso y la disminución de los biocidas empleados por las graves consecuencias que tiene su uso sobre la biodiversidad.
- ✓ El aumento de la diversidad en el aporte orgánico. Ya que una mayor variedad en el aporte de materiales orgánicos, como estiércoles, compost, restos de cosecha, mulching y una mayor variedad en el manejo de la diversidad vegetal –uso de policultivos, implantación de praderas, árboles y arbustos o el manejo de adventicias- va a permitir una mejora nutricional, una mejora del hábitat en el suelo y un crecimiento de la complejidad de las redes tróficas.
- ✓ La gestión adecuada de policultivos, rotaciones y cultivos asociados. Su uso aumenta el ciclado de nutrientes en el suelo, al conseguir con sus distintos sistemas radiculares explorar distintas profundidades en el perfil y con el aporte de sus residuos aumentar la diversidad del aporte orgánico.
- ✓ La recuperación de sistemas mixtos -agroforestales, agroganaderos, etc-. El uso de sistemas mixtos conlleva importantes beneficios, al cerrar ciclos de nutrientes, al optimizar los efectos beneficiosos de la interacción de distintas especies, al explorar los árboles con sus raíces reservas minerales más profundas y depositar gran cantidad de estos nutrientes de nuevo en la superficie con la caída de las hojas y mediante los pluviolavados, al aumentar la biodiversidad edáfica, etc.
- ✓ La conservación del paisaje agrícola, que lleva consigo además de las anteriores, el aumento de la diversificación de los microclimas locales, la mejora y conservación del agua, el mantenimiento de una gran diversidad de hábitat y especies, etc.

asociado a una mejora en la absorción de elementos, controla la eliminación de determinados fitopatógenos, etc.

²³ Cuando hablamos de "abonado en verde" hacemos referencia a la utilización de cultivos de vegetación rápida, que se cortan y se entierran en el mismo lugar donde han sido sembrados.

- ✓ La minimización de pérdidas por erosión con la adopción de medidas puntuales específicas para la conservación del suelo y el agua –además de las anteriores- como el no laboreo, el laboreo siguiendo las curvas de nivel, la realización de terrazas de absorción y zanjas de infiltración, el control de las cárcavas, la disposición de setos vivos e implantación de sistemas agroforestales etc...

El manejo de la fertilidad de los suelos de cultivo va a estar ligado estrechamente con el manejo de la fertilización orgánica²⁴, ya que el contenido de materia orgánica en el suelo está estrechamente unido con su potencial productivo y con su grado de resistencia frente a la erosión y degradación.

Si a nivel de balance orgánico en el suelo nos interesa conocer lo que se aporta y lo que se mineraliza²⁵, a nivel de agrosistema, la gestión orgánica se traduce en un macrobalance en el que se debe conocer cuantitativamente y cualitativamente las actuaciones de manejo que generan materia orgánica –entradas al agrosistema- y las que favorecen la pérdida de la misma -salidas- para actuar en consecuencia con la mejora de la fertilidad del suelo

Las **entradas** de materia orgánica al agrosistema provienen de:

- Aporte de productos orgánicos y órgano-minerales: Aplicación directa de estiércoles, compost, algas, sustancias húmicas, subproductos de industrias transformadoras y mataderos, vermicompost, etc.
- Aporte mediante el manejo de cultivos con fines fertilizantes -abonos verdes-, o el aporte mediante el uso de cultivos asociados y rotaciones, el uso de cultivos de cobertura, el barbecho semillado o los restos de cosecha y rastrojos.
- Aporte directo mediante la integración de la ganadería en los agrosistemas gracias a las deyecciones en campo, o la producción de estiércol en estabulación o granjas²⁶
- Aporte orgánico mediante la incorporación de vegetación no cultivo como la vegetación herbácea autóctona.

²⁴ La fertilización orgánica hace referencia a un conjunto de técnicas basadas en el aporte de productos orgánicos y a otras prácticas relacionadas con el manejo de los cultivos y restos de cultivos con fines fertilizantes.

²⁵ teniendo en cuenta que el balance no es sólo lo que entra y sale, sino también lo que ocurre dentro y el intercambio con el medio -el enigma del suelo como fábrica de nutrientes-. En este sentido, los esquematismos que utiliza para el balance de nutrientes la agronomía convencional, resultan insuficientes para interpretar la complejidad de los procesos producidos ya que “ni la planta es un convertidor inerte, ni el suelo un simple reservorio, sino que ambos interactúan y son capaces de reaccionar en y con el medio, modificando su comportamiento”, (Naredo, 1996).

²⁶ La ganadería asociada con la introducción de praderas en la rotación supone un aporte orgánico añadido por y a través de las raíces y con el aumento de la actividad macro y microbiana, además de la mejora del suelo asociada. Igualmente el aprovechamiento de la vegetación no cultivo de difícil degradación y su transformación a estiércol es una forma fabulosa de retornar al suelo todos los recursos.

- Aporte mediante prácticas de manejo que mejoren la diversidad edáfica; la ganancia orgánica viene tras la muerte de los macro y microorganismos y con los compuestos orgánicos sintetizados o liberados con su metabolismo.
- Aporte mediante prácticas de manejo del suelo que mejoren la extensión superficie radicular y la cantidad de raíces lo que supone un aporte directo de materia orgánica a la muerte del vegetal y durante el desarrollo de la planta mediante la emisión de compuestos orgánicos en la rizosfera

Las **salidas** de materia orgánica y la consecuente pérdida de fertilidad vienen de la mano de:

- Las pérdidas de suelo por erosión. Las prácticas agronómicas de conservación que veremos más adelante unidas a prácticas mecánicas nos permitirán evitar o mitigar sus efectos.
- Las pérdidas por mineralización. Es importante disminuir las tasas elevadas de mineralización mediante el uso del mínimo laboreo y procurando no voltear el suelo, sistemas de laboreo en fajas, mantener el suelo con cubierta vegetal o mulching, para disminuir la temperatura elevada y un aporte adecuado en calidad, tiempo y forma de la materia orgánica

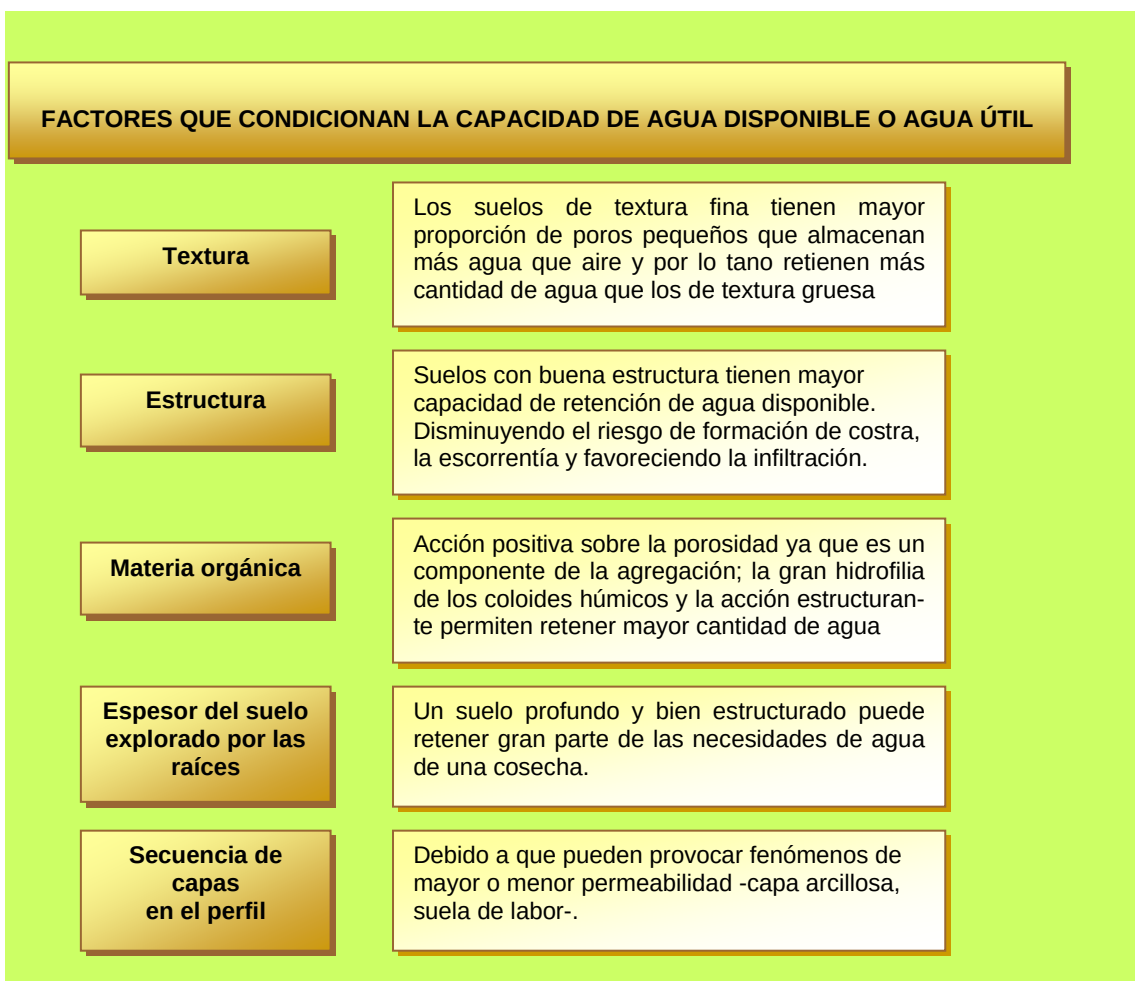
Otro aspecto a considerar relacionado con la fertilidad es la **dinámica del agua en el suelo**²⁷.

El movimiento del agua en el suelo, se caracteriza por una serie de procesos cíclicos. Dicho ciclo comienza con la entrada del agua en el suelo mediante el proceso de infiltración -también por entradas laterales o por ascenso de una capa freática-, seguido por la redistribución y el almacenamiento, y posterior o simultáneamente puede perderse bien por drenaje, pasando el agua a capas más profundas, bien por evaporación en la superficie del suelo o bien mediante la absorción por las plantas y su posterior transpiración, como es evidente, estos procesos son interdependientes y algunas veces simultáneos, y van a depender de múltiples factores.

En una primera aproximación a éstos factores, podemos observar como en la dinámica del agua en el suelo, la fertilidad es un concepto clave, ya que los suelos con elevada fertilidad presentan, normalmente, una estructura granular estable que no se deteriora por el cultivo, un óptimo contenido en materia orgánica y una buena actividad microbiana, esto se traduce en una mejora de la infiltración y de la circulación, una equilibrada aireación, la optimización de la

²⁷ En relación al balance de agua, el suelo puede ser considerado como un recipiente que almacena agua y que al mismo tiempo la pierde hacia capas más profundas y/o hacia la atmósfera. Cuando el suelo posee una cubierta vegetal, el agua almacenada en él sirve para satisfacer la demanda hídrica de las plantas, (Moreno, 1998) y siempre en un estado de calidad y cantidad adecuada, sirve para optimizar la actividad de la biomasa edáfica

nutrición hídrica de la planta, en la disminución de la evaporación y de la compactación y en una mayor retención de humedad (el cuadro es una adaptación de Yagüe, (1996).



El contenido de materia orgánica influye en distintos aspectos sobre el balance de agua en el suelo. Primero porque los parámetros que afectan al movimiento y la retención del agua en el suelo son de carácter físico -textura, estructura y porosidad- y están relacionados con el contenido y el estado de la materia orgánica y por otra porque la gran hidrofilia de los coloides húmicos, hace aumentar la capacidad del suelo para retener agua. Son importantes los efectos que se producen sobre los ciclos biogeoquímicos de determinados nutrientes, cuando la humedad del suelo varía desde las condiciones de sequía a las del contenido de humedad adecuado²⁸, (Harris, 1989).

²⁸ Por ejemplo "los fenómenos de secado y humedecimiento de un suelo -tan importantes en nuestra agricultura mediterránea- producen una reactivación de las poblaciones microbianas, con producciones elevadas de CO₂, NH⁴⁺ y NO₂, y cuanto mayor sea el contenido de materia orgánica mayor es este flujo", (Badía, 1991).

El contenido y el estado del agua en el suelo influye sobre la actividad biológica condicionando aspectos como:

- la velocidad de desplazamiento de los organismos móviles, que depende del contenido de humedad y del estado de la estructura del suelo.
- el predominio de determinadas poblaciones edáficas -por ejemplo los hongos soportan mejor que las bacterias potenciales hídricos muy bajos-.
- en la actividad metabólica y la velocidad de degradación de materiales sólidos insolubles o compuestos solubles que generalmente está relacionada con el espesor de la película de agua y la fuente de alimentos.
- en la disponibilidad de elementos nutritivos que pueden ser lixiviados a capas más profundas lo que significa pérdida de alimento.
- en algunos fenómenos de antagonismo relacionados con las excrecciones microbianas tóxicas, ya que éstas se difunden con mayor dificultad a medida que el suelo está más seco pudiendo afectar a los propios microorganismos emisores, etc.

Si, como hemos visto, existe una relación directa entre la fertilidad y el movimiento y contenido de agua en el suelo; también existe entre la fertilidad, la calidad del agua y como resultado la eficiencia en su manejo.

El agua y su calidad han pasado a ser factores limitantes. La calidad del agua “usada” en agricultura, se cuantifica por parámetros como la salinización, la eutrofización y por la posible contaminación con biocidas y fertilizantes y la calidad del agua que ha sido utilizada está en relación directa con las prácticas agrícolas seguidas.

En este sentido un adecuado manejo irá enfocado, a que no se deteriore la calidad ni disminuya la cantidad de las aguas superficiales y subterráneas²⁹ como consecuencia de las actividades agrícolas -y ganaderas-.

En cuanto a la eficiencia en el uso del agua procedente de lluvia o de riego, todas las actuaciones hacen referencia a la “productividad potencial del cultivo” que va a estar en relación, más con la adecuada elección de los mismos, que con la productividad neta³⁰. Igualmente con su óptima aplicación, teniendo en cuenta las condiciones edafoclimáticas, los métodos y horarios de riego y el consumo de agua por los cultivos y finalmente con el uso de prácticas agrícolas específicas enfocadas a su conservación.

²⁹ En la situación actual la agresión potencial al medio hídrico subterráneo y superficial es muy intensa: En la agricultura moderna el uso de abonos, plaguicidas y herbicidas, se ha generalizado, la superficie en regadío ha aumentado y la ganadería precisa de grandes instalaciones para la crianza y engorde de los animales. El resultado de ésta situación es el progresivo deterioro de la calidad de las aguas subterráneas...afectando también a la cantidad de agua aprovechable e incluso a sus reservas. (Lopez Geta; Moreno Merino, (1996).

³⁰ Los climas semiáridos se caracterizan por una gran variabilidad en las precipitaciones, de manera que largos intervalos de sequía alternan con grupos de años lluviosos que ocurren de forma impredecible. En tales condiciones el funcionamiento de los sistemas agrarios está más determinado por la frecuencia e intensidad de los períodos de lluvia o sequía que por los valores medios... En estos ambientes, los conceptos de productividad media tienen poco sentido (Ellis et al., 1993).

En general, la optimización del balance de agua exige la adaptación a las condiciones edafoclimáticas locales, evitando la pérdida de agua y nutrientes por lixiviación, o por evaporación, eligiendo las cubiertas adecuadas, adoptando el no laboreo o las mínimas labores más convenientes, el uso del mulching, manejando un diseño de fertilización orgánica, que incluya además la rotación y el barbecho semillado, en sistemas de secano para conservar la fertilidad del suelo y el régimen de humedad, entre otras muchas prácticas.

En cuanto al **balance de sales**, en relación con el mantenimiento óptimo de la fertilidad, se debe establecer de manera que el valor de la cantidad de sales añadida con el agua de riego, u otros aportes, sea de la misma magnitud que la cantidad desplazada del suelo con el agua de percolación profunda³¹.

Esta situación de “equilibrio” se ha mantenido en muchos regadíos tradicionales desde hace milenios. Sin embargo en aquellos sistemas agrícolas en que la capacidad de drenaje es limitada, las sales suministradas por el agua de riego no pueden ser lavadas, por lo que se evapoconcentran y acumulan en las zonas de las raíces. Además, riegos excesivos asociados a la presencia de horizontes más o menos impermeables, pueden favorecer la inducción de capas freáticas superficiales, que en el proceso de ascenso capilar y evapoconcentración del agua, conducen asimismo a una acumulación superficial de sales³².

En general estos suelos, presentan una concentración de sales suficientemente alta para afectar al desarrollo de los cultivos y/o un porcentaje de sodio intercambiable que afecta a su estabilidad estructural.

El impacto de las sales en el crecimiento y desarrollo de las plantas puede deberse a:

- Un efecto osmótico, -relacionado con el contenido total de sales disueltas-, al aumentar la salinidad de la solución del suelo lo hace su presión osmótica y disminuye la disponibilidad de agua para el cultivo, dando lugar a una situación de “sequía fisiológica”.
- Un efecto de ión específico que produce la absorción desequilibrada de iones por la planta, lo que origina toxicidad y carencias (efecto nutricional).
- Un efecto indirecto relacionado con la degradación de la estructura del suelo por porcentajes elevados de sodio, que afectarían a parámetros físico-químicos dando lugar entre otras cosas a condiciones de baja permeabilidad, mala aireación y dispersión.

³¹ Las sales proceden de la meteorización y disolución de las rocas. La abundancia de sales en el suelo en un momento dado es el resultado de su acumulación por causas naturales y/o por la actividad humana y responde a sus balances hídrico y salino a lo largo del tiempo. La mayoría de los suelos naturales con exceso de sales se ubican en zonas áridas o semiáridas

³² En resumen, los efectos de evapoconcentración (o incremento de la concentración salina debido a que la masa de sales se conserva pero el volumen de agua disminuye), disolución (o incremento de la concentración salina debido a que el volumen de agua se conserva pero la masa de sales disueltas aumenta) e intrusión (o incremento tanto en la masa de sales como en el volumen de agua) son los responsables fundamentales de la salinización del suelo y del agua (Aragües y Cerdá, 1997).

Algunas recomendaciones agroecológicas para el control de la salinidad del suelo en agricultura de regadío en ambientes mediterráneos se recogen en el cuadro anexo.

ALGUNAS PRACTICAS AGROECOLÓGICAS PARA EL CONTROL DE LA SALINIDAD DEL SUELO EN AGRICULTURA DE REGADIO EN AMBIENTES MEDITERRÁNEOS	
manejo de los cultivos	Adecuación del cultivo en función de su tolerancia a las condiciones de salinidad natural del suelo. Atención especial a la tolerancia en la fase de emergencia. Minimizar la acumulación de sales en la cama de siembra y en la zona radicular. Utilización de cultivos con alta intensidad respiratoria radicular y microbiana. Uso de la rotación de cultivos alternando cultivos sensibles y tolerantes. Establecimiento de vegetación permanente sobre el terreno – meliloto (<i>Melilotus albus</i>), el trebol fresa (<i>trifolium fragiferum</i>), la alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) y diversas gramíneas o adventicias-.
manejo del suelo	Evitar encharcamientos. Evitar que las sales se concentren alrededor de las semillas. Mejorar la permeabilidad del perfil inicialmente mediante medios mecánicos y con la mejora del contenido en materia orgánica. Añadir yeso al agua de riego o al suelo o azufre si el suelo contiene carbonato cálcico. Reemplazar parte del sodio intercambiable por calcio. Instalación de zanjas de drenaje para suelos con nivel freático alto. Realización de sistemas de bombeo. Acolchados orgánicos en suelos sódicos y susceptibles de enconstramientos. Disminuir el paso de maquinaria y las labores en suelos húmedos para disminuir la compactación
manejo de la fertilización	Uso de aportes orgánicos de calidad: estiércol compostado, compost, abonos verdes y restos de cultivo. Mejora de las rotaciones con forrajeras y gramíneas. Mantenimiento de prados naturales mejorados. Aporte orgánico directo por el ganado y control de la carga ganadera para evitar deterioro de la estructura. Disminución del aporte de sales minerales que pueden si fuera necesario aportarse al compost
manejo del agua	Utilización de aguas de calidad evitando la entrada de sales. Aplicar la cantidad de agua suficiente a intervalos regulares para estar por encima de las necesidades de transpiración del cultivo y para lavar las sales. Aplicar riegos ligeros y frecuentes para ablandar costras y no producir dispersión. Efectuar riegos pre-siembra para desplazar las sales de la cama de siembra. Control de la eficiencia del riego: productividad potencial, condiciones edafoclimáticas, horario de riego, consumo de agua por los cultivos.

Hablamos de salinización cuando la acumulación de sales solubles presentes en el suelo bien por causa natural o por causas de la actividad agrícola interfiere negativamente en el desarrollo de la mayoría de los cultivos –su pH no supera a 8.5-. Si lo que resulta es una abundancia del ión Na^+ en el complejo de cambio, hablamos de sodificación, y si es a pH mayor de 8.5 hablamos de alcalinización –que es un caso particular de suelos sódicos-.

La salinización de origen agrícola en ambiente mediterráneo va en aumento como consecuencia de la limitación de agua de lavado y de drenaje, el incremento en el aporte de fertilizantes minerales, la erosión del suelo, los bajos niveles de materia orgánica, y la contaminación por la utilización para riego de aguas de dudosa calidad.

Algunas medidas para establecer un balance de sales óptimo en relación agua-suelo estarán relacionadas con el establecimiento de vegetación sobre el terreno, sea sembrada o espontánea, pues las raíces de las plantas continuarán aumentando la permeabilidad del subsuelo mediante la extracción del agua, al causar el desarrollo de una mayor porosidad y grietas que dejarán descender el agua rápidamente y también al expeler dióxido de carbono que reducirá la sodicidad

Igualmente, el mantenimiento de un nivel alto de materia orgánica degradable y el uso de cultivos con una alta intensidad respiratoria radicular como los abonos verdes, o los pastos de gramíneas y leguminosas, pueden ser también medios valiosos para mantener la permeabilidad del suelo cuando han de usarse aguas con una alto RAS (Relación de Adsorción de Sodio), supuesto que haya reservas de carbonato cálcico en el suelo. Una buena rotación de cultivos es un excelente seguro contra los problemas de sodicidad.

La **conservación del suelo**, es un tema realmente interdisciplinar ya que requiere de múltiples consideraciones para llevarla a cabo: información sobre el riesgo de erosión, conocimiento de los procesos geomorfológicos que intervienen y de los factores que los controlan; conocimiento de los sistemas agrícolas y de la estructura social en que se desarrollan; aptitud para diseñar prácticas aceptadas por los agricultores y respetuosas con el medio y capacidad para ejecutar cualquier propuesta y aconsejar dentro de un marco legal sobre su mantenimiento.

Es evidente que la forma más inmediata de conservar el suelo es, evitando la pérdida directa del mismo por erosión. Éste es un proceso de dos fases, consistente en el “desprendimiento” de partículas individuales de la masa del suelo y su “transporte” por los agentes erosivos. Cuando la energía de estos agentes no es suficiente para transportar las partículas, se produce una tercera fase, su “deposición”.

Si las consecuencias de la erosión del suelo se manifiestan tanto en el lugar en donde se produce como fuera de él -erosión difusa-, los efectos *in situ* son particularmente importantes en las tierras de uso agrícola, donde la redistribución y pérdida de suelo, la degradación de su estructura y el arrastre de materia orgánica y nutrientes, llevan consigo la pérdida del espesor del

perfil, la disminución de la biodiversidad y el descenso de su fertilidad. La erosión reduce también la humedad disponible acentuando las condiciones de aridez. (Morgan, 1997).

La prevención de la erosión del suelo, va encaminada a potenciar su resistencia a los procesos de desprendimiento y transporte -erosionabilidad-. Y aunque la resistencia de un suelo a la erosión depende en parte de su posición topográfica, pendiente y grado de alteración, son las siguientes propiedades del suelo: textura³³, estabilidad estructural³⁴, resistencia al esfuerzo cortante³⁵, capacidad de infiltración y los contenidos minerales y orgánicos (Morgan, 1996) los determinantes.

La ordenación de los componentes minerales del suelo -**textura**- en unidades de mayor tamaño -**agregados**- y el espacio poroso que llevan asociado, recibe el nombre de **estructura del suelo**. Mientras que la estructura describe un estado del suelo menos variable, la **estabilidad estructural** es una noción dinámica que "define la resistencia de ese suelo a conservar sus agregados frente a la acción agresiva de diversos agentes externos" (Saña, 1996).

La estabilidad estructural es uno de los parámetros internos, más influyentes en el control de la erosión del suelo.

Entre otros factores la estabilidad de la estructura va a depender de las características de la fase sólida (mineralogía y contenido de las arcillas, presencia de materia orgánica y determinados cationes), de la fase líquida (características de la composición, calidad y cantidad de agua en solución), de la fase gaseosa (debido a su influencia sobre la solubilidad de ciertos minerales) y de la fase viva del suelo (en cuanto a la actividad de los organismos edáficos y los exudados procedentes de las raíces).

Depende también de otros factores como el clima, las prácticas culturales y el cultivo.

FACTORES QUE ACTUAN SOBRE LA ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA EN LOS SUELOS DE CULTIVO

³³ La fracción mineral del suelo está formada por partículas que según su tamaño se clasifican en arena (de 2 a 0.05 mm), limo (de 0.05 a 0.002 mm) y arcilla (menor de 0.002 mm). La textura hace referencia a la abundancia de éstas fracciones –agrupándolas en un sistema de clases texturales y determinando cada clase con un triángulo de texturas-.

³⁴ La ordenación de los componentes minerales del suelo -textura- en unidades de mayor tamaño -agregados- y el espacio poroso que llevan asociado, recibe el nombre de *estructura del suelo*. Mientras que la estructura describe un estado del suelo menos variable, la *estabilidad estructural* es una noción dinámica que "define la resistencia de ese suelo a conservar sus agregados frente a la acción agresiva de diversos agentes externos" (Saña, 1996).

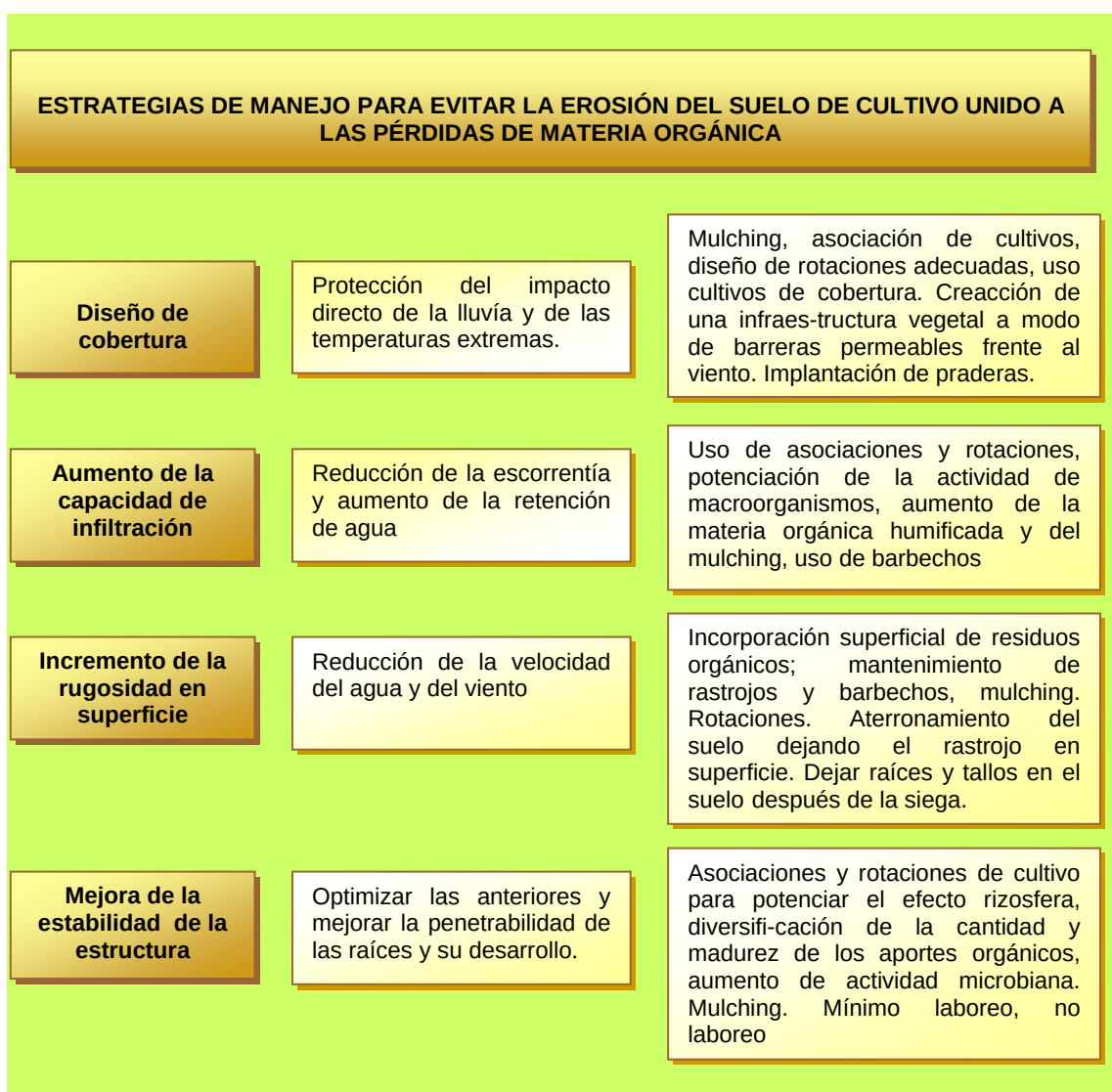
³⁵ La fuerza cortante del suelo es una medida de su cohesión y de su resistencia a los esfuerzos cortantes ejercidos por la gravedad, movimiento de fluidos y cargas mecánicas.

Textura	La floculación -precipitación- de las arcillas y la unión de éstas a partículas de limo y arena, da lugar a microagregados -hasta 0.5 mm- y a poros texturales. La intensidad de la acción va a depender de la composición químico-mineralógica de las diferentes fracciones, especialmente de la fracción arcilla.
Cationes presentes	Ayudan a la floculación de la arcilla, si son cationes divalentes - $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ o $\text{Al}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$ (en suelos muy ácidos)-; impiden su dispersión y forman los microagregados. Actúan en un segundo nivel -como carbonatos de calcio o magnesio u óxidos de hierro y aluminio-, como cemento de unión entre microagregados, y junto a la materia orgánica para dar agregados de mayor tamaño. Altos contenidos de Na^+ y/o de otras sales favorecen la dispersión del suelo.
Materia orgánica	El humus y otros componentes de la materia orgánica – polisacáridos- estabilizan los agregados y los poros del suelo; disminuyen la mojabilidad de los agregados, con lo que se reduce el estallido y la dispersión; evitando el encostramiento y la compactación del suelo. La materia orgánica se une a las arcillas estabilizando los microagregados.
Organismos	La actividad de los macroorganismos modifica el suelo al originar galerías y removerlo, lo airean y mejoran el drenaje. Favorecen la agregación con sus secreciones y con la materia orgánica de sus deyecciones. Las secreciones microbianas tienen poder agregante así como los micelios de los hongos y sus secreciones como la glomalina de las micorrizas.
Vegetación	La formación de agregados debidos a las raíces se produce directamente por las raíces más finas que “abrazan” las partículas minerales y orgánicas y mediante la secreción de sustancias orgánicas que actúan “cementando” las partículas. Cuanto mayor es la duración de la raíz muerta hasta su descomposición, más apreciable es la estabilidad estructural y los canales producidos. Enraizamientos más profundos mejoran la estructura.
Manejo	Por el laboreo intensivo o el “pisoteo” del ganado los agregados pueden romperse, las partículas que los forman dispersarse, con pérdida de suelo y los poros destruirse, dando problemas de encharcamiento y nula retención de agua. El riego por aspersión mal regulado puede originar dispersión y formación de costra. Las praderas aumentan la agregación; los abonos verdes también por el aumento de hongos agregantes, las rotaciones por la expansión de las raíces, y las cubiertas orgánicas por protegerle de la erosión y por el efecto agregante de la materia orgánica al descomponerse.
Clima	Dispersión y riesgo de formación de costra debida a la intensidad de la lluvia, disgregación por humedecimiento/desección rápidos –especialmente en suelos arcillosos- y por el movimiento y expansión del agua al congelarse -especialmente en suelos arenosos-.

Las prácticas que hacen referencia a la conservación del suelo requieren de actuaciones complejas, que no sólo abarcan el manejo de las limitaciones del

suelo y la adecuación de los cultivos, sino el manejo de todo el agrosistema, además deben ser prácticas adaptadas localmente, que incluya factores sociales para definir las necesidades de conservación y la aceptación de las técnicas de conservación.

Las prácticas agronómicas van a estar enfocadas preferentemente al manejo de la cubierta y a favorecer el óptimo desarrollo del vegetal; las medidas basadas en el manejo del suelo se dirigen a mantener una buena estructura y una alta estabilidad de la misma que le confiera resistencia a la erosión; los métodos mecánicos conllevan la modificación de la superficie del terreno, de la topografía y del encauzamiento del agua.



Debemos incidir en que las estrategias para la conservación del suelo deben apoyarse en estudios multidisciplinarios, reconociendo el valor de las técnicas utilizadas por los agricultores tradicionales y mejorándolas con las posibilidades actuales.

Conservar el suelo no implica solamente evitar su pérdida, implica igualmente controlar los procesos relacionados con su degradación³⁶. El control de la degradación básicamente va dirigido a optimizar y conservar su calidad – aspecto muy similar al concepto de fertilidad que manejamos-.

El concepto de calidad del suelo abarca un conjunto integrado de aspectos, relacionados con características agronómicas, con su funcionalidad y con su expresión lúdica y de servicio. Al admitir que la calidad del suelo integra a componentes diversos –agronómicos, sociales, económicos- y procesos edáficos, el resultado es un balance propio para cada suelo, pudiendo distinguirse una calidad «inherente» y otra «dinámica». La inherente como consecuencia de las propiedades del suelo determinadas por factores formadores y procesos de formación. La dinámica como consecuencia de un manejo, una historia y una situación socioeconómica específica.

Doran y Parkin (1994), definen **la calidad del suelo** como “la capacidad del suelo de funcionar, dentro de las fronteras del ecosistema y el uso de la tierra, manteniendo la calidad ambiental y fomentando la salud de plantas, de los animales y del hombre”. Definiciones más recientes de calidad del suelo sintetizadas por el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America la definen como “la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat”

Y aunque carece de una definición precisa para que el concepto de calidad del suelo, de respuesta a los requisitos agroecológicos de sostenibilidad que deben ser satisfechos por cualquier agrosistema éste debe integrar e interconectar los componentes y procesos biológicos, químicos y físicos de un suelo en una situación determinada, es decir dentro de los límites que impone el ecosistema, del manejo dado (Astier et al., 2002) y de los condicionantes socioeconómicos. En consecuencia, este concepto refleja la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema del cual forma parte y con el que interactúa y bajo un manejo específico.

Sin embargo a pesar de la importancia del concepto, la ciencia del suelo no ha avanzado lo suficiente para definir claramente lo que se entiende por calidad del suelo y seguimos observando como las definiciones de calidad del suelo llegan a ser contextuales y subjetivas; la multifuncionalidad del concepto lo hace difícil de manejar; es común que se usen más indicadores de los requeridos para evaluarla y que éstos sean seleccionados de forma sesgada según la disciplina del investigador que los propone y es frecuente que su aplicabilidad en el campo en la dinámica de la producción sea poco operativa

³⁶ El término degradación del suelo puede tener más de una aceptación; desde el punto de vista naturalista hace alusión, a los cambios producidos por determinados procesos de deterioro en un suelo en relación con un estado anterior o incluso con un estado ideal, es decir con el del “suelo climax” (Duchaufour, 1984); desde un punto de vista más economicista alude a los procesos que rebajan la capacidad actual y potencial del suelo para producir bienes o servicios (FAO y PNUMA, 1984). Para la agroecología, adquiere una magnitud relacionada con la erosión, la contaminación, la eliminación de la vida del suelo, en definitiva la pérdida de su funcionalidad como recurso productivo y lúdico.

(Astier et al., 2002; Altieri y Nicholls, 2003). Como vemos es enormemente necesaria la unificación de criterios sobre su significado, importancia y medición.

En el contexto agroecológico un indicador de calidad de suelos se concibe como una herramienta de medición que debe dar información sobre las propiedades y los procesos. Indicadores e índices de calidad del suelo deberían seleccionarse de acuerdo con las funciones del suelo que se quieren estudiar y los objetivos de manejo definidos para el sistema. En cierta medida son un elemento integrador entre el conocimiento sobre las funciones de un suelo obtenidas de la investigación edafológica y los conocimientos obtenidos de la producción agrosistémica. Y además permite incrementar la colaboración entre las diferentes disciplinas que integran las ciencias del suelo

La **eutrofización** - o aumento exagerado de los nutrientes y la contaminación por sustancias orgánicas y minerales extrañas-, es otra causa de la degradación del suelo. La dimensión del problema ha superado el nivel crítico, de manera que los residuos sólidos y líquidos superan la capacidad de depuración y absorción de los agrosistemas y ecosistemas terrestres y acuícolas

Los esfuerzos de los investigadores y técnicos en agroecología se centran hoy en priorizar la investigación y experimentación en el desarrollo de prácticas de manejo agrosistémico que reconozcan que los sistemas de producción ecológicos permiten desarrollar plenamente los conceptos de calidad de suelos, dentro de un ambiente climático inestable, con una rentabilidad económica y un uso eficiente de la energía, así como con repercusiones sociales evidentes en el desarrollo sostenible de las comunidades locales, con la finalidad de recompensar a los agricultores y ganaderos ecológicos con incentivos económicos por los servicios generados en el buen hacer de su trabajo diario.

Bibliografía

- Almendros G. 2000. Procesos de transformación de la materia orgánica en ecosistemas agrícolas e inalterados. En: La edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Tomo 1. R. Quintero; T. Reyna; L. Corlay; A. Ibañez; N. E. García (Vds.). UNAM. México
- Altieri MA, CI Nicholls. 2003. Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research* 72: 203.
- Astier CM, B Mass-Moreno, J Etchevers. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.
- Barea JM. 1998. Interacciones ecológicas de los microorganismos en el suelo y sus implicaciones en agricultura. En: *Agroecología y Desarrollo*. Serv. Publ. Universidad de Extremadura. Ed. Mundi Prensa, 165-184
- Bello A, JA López Pérez, MA Díez Rojo, J López Cepero, A García Álvarez. 2008. "Principios Ecológicos en la gestión de los agrosistemas". *ARBOR*. CLXXXIV (729), 19-29pp.
- Decaëns T; JJ Jiménez, G Gioia, GJ Measey, P Lavell. 2007. The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology* 42 (2006) S23–S38
- Doran JW, BT Parkin. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Doran JW. 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88, 119–127.
- Douglas L; C Karlen, L Ditzler, S Andrews. 2003. Soil quality: why and how? *Geoderma*. Nº 114: 3-4. 45-156
- García Galavís PA, C Santamaría, JC Ruíz Porras, A Daza. 2004. Efectos beneficiosos de la Agricultura Ecológica sobre los microorganismos del suelo. *Proceedings VI Congreso SEAE, Almería, España*,
- Gascó Montes JM. 1998. Problemas y prácticas diferenciadas del control de la fertilidad en distintas zonas edafoclimáticas. En: *La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica* Ed. Visor. Fundación Argentaria. Madrid.
- Gliessman SR. 2002. *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture*. Ed. E. Engles. Turrialba, C.R.: CATIE.
- Gómez A, F Pomares, MR Albiach, R Canet, C Baixauli. 2002. Efectos de la fertilización orgánica en cultivos hortícolas: Producción, balance de nutrientes y materia orgánica. *Actas V Congreso SEAE* 443-451pp.
- Guzmán Casado, G., M. González de Molina, E. Sevilla Guzmán. 2000. *Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible*. Mundi-Prensa. Madrid.
- Labrador J. 2002. *La materia orgánica en los Agrosistemas*. (2ª edición revisada y ampliada). 293pp. MAPA/Mundi-Prensa. Madrid
- Lacasta C, R Meco, N Maire. 2005. Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en un agrosistema de cereales sometido a diferentes manejos de suelo durante 21 años. *Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación*: 429-436pp
- Lampkin N. 1990. *Organic Farming*. Farming Press Books, Ipswich, UK.
- Lavelle P, AV Spain. 2001. *Soil Ecology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (2001).
- Lavelle P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function, *Biol. Int.* 33 (1996), 3–16pp.
- Masera O, M Astier, S López-Ridaura. 1999. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación*. MESMIS. MundiPrensa, Gira, UNAM México DF.
- Morgan RPC (1997).- *Erosión y conservación del suelo*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

- OECD. 2003. Soil organic carbon and agriculture: developing indicators for policy analyses. Proceedings of an OECD expert meeting. (ed. Scott Smith, C.A). Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa and Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris, Francia
- Primavesi A. 1980. Manejo ecológico del suelo. Ed. Ateneo, México. pp.95-122.
- Saña J; Moré JC; Cohí A. 1996. La gestión de la fertilidad de los suelos. Ed. MAPA. Madrid.
- SQL. 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
- Sullivan Preston G. 1998. Early Warning Monitoring Guide for Croplands. Center for Holistic Management, Albuquerque, NM. 22
- Vallejo VR; Díaz F Fierros, D De la Rosa,. (Coord.) .2005. Impactos sobre recursos edáficos. In: Evaluación de los Impactos del Cambio Climático en España (ECCE). Proyecto financiado por la Oficina Española de Cambio Climático (MIMAM).

Anejo 1. Reglamento (CE) no 889/2008 Anexo I

Reglamento (CE) no 889/2008 de la Comisión de 5 de septiembre de 2008 por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) no 834/2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control

Anexo I.- Fertilizantes y acondicionadores del suelo mencionados en el artículo 3, apartado 1

Notas:

A: Autorización conforme al Reglamento (CEE) no 2092/91, prorrogada por el artículo 16, apartado 3, letra c), del Reglamento (CE) no 834/2007

B: Autorización conforme al Reglamento (CE) no 834/2007

Autorización	Denominación	Descripción, requisitos de composición y condiciones de utilización
A	Productos en cuya composición entren o que contengan únicamente las materias enumeradas en la lista siguiente Estiércol de granja	Prohibida la procedencia de ganaderías intensivas Producto constituido mediante la mezcla de excrementos de animales y de materia vegetal (cama)
A	Estiércol desecado y gallinaza deshidratada	Prohibida la procedencia de ganaderías intensivas
A	Mantillo de excrementos sólidos, incluidos la gallinaza y el estiércol compostado	Prohibida la procedencia de ganaderías intensivas
A	Excrementos líquidos de animales	Utilización tras una fermentación controlada o dilución adecuada Prohibida la procedencia de ganaderías intensivas
A	Residuos domésticos compostados o fermentados	Producto obtenido a partir de residuos domésticos separados en función de su origen, sometido a un proceso de compostaje o a una fermentación anaeróbica para la producción de biogás Únicamente residuos domésticos vegetales y animales Únicamente cuando se produzcan en un sistema de recogida cerrado y vigilado, aceptado por el Estado miembro Concentraciones máximas en mg/kg de materia seca: cadmio: 0,7; cobre: 70; níquel: 25; plomo: 45; zinc: 200; mercurio: 0,4; cromo (total): 70; cromo (VI): 0
A	Turba	Utilización limitada a la horticultura (cultivo de hortalizas, floricultura, arboricultura, viveros)
A	Mantillo procedente de cultivos de setas	La composición inicial del sustrato debe limitarse a productos del

		presente anexo
A	Deyecciones de lombrices (humus de lombriz) e insectos	
A	Guano	
A	Mezclas de materias vegetales compostadas o fermentadas	Producto obtenido a partir de mezclas de materias vegetales, sometido a un proceso de compostaje o a una fermentación anaeróbica para la producción de biogás
A	Productos o subproductos de origen animal mencionados a continuación: — harina de sangre — polvo de pezuña — polvo de cuerno — polvo de huesos o polvo de huesos desgelatinizado — harina de pescado — harina de carne — harina de pluma — lana — aglomerados de pelos y piel — pelos — productos lácteos	Concentración máxima en mg/kg de materia seca de cromo (VI): 0
A	Productos y subproductos de origen vegetal para abono	Ejemplos. harina de tortas oleaginosas, cáscara de cacao y raicillas de malta
A	Algas y productos de algas	En la medida en que se obtengan directamente mediante: i) procedimientos físicos, incluidas la deshidratación, la congelación y la trituración, ii) extracción con agua o con soluciones acuosas ácidas y/o alcalinas, iii) fermentación
A	Serrín y virutas de madera	Madera no tratada químicamente después de la tala
A	Mantillo de cortezas	Madera no tratada químicamente después de la tala
A	Cenizas de madera	A base de madera no tratada químicamente después de la tala
A	Fosfato natural blando	Producto especificado en el punto 7 del anexo IA.2. del Reglamento (CE) no 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo (1) relativo a los fertilizantes, 7 Contenido de cadmio inferior o igual a 90 mg/kg de P205
A	Fosfato aluminocálcico	Producto especificado en el punto 6 del anexo IA.2. del Reglamento (CE) no 2003/2003 Contenido de cadmio inferior o igual a 90 mg/kg de P205

		Utilización limitada a los suelos básicos (pH > 7,5)
A	Escorias de defosforación	Producto especificado en el punto 1 del anexo IA.2. del Reglamento (CE) no 2003/2003
A	Sal potásica en bruto o kainita	Producto especificado en el punto 1 del anexo IA.3. del Reglamento (CE) no 2003/2003
A	Sulfato de potasio que puede contener sal de magnesio	Producto obtenido a partir de sal potásica en bruto mediante un proceso de extracción físico, y que también puede contener sales de magnesio
A	Vinaza y extractos de vinaza	Excluidas las vinazas amoniacales
A	Carbonato de calcio (creta, marga, roca calcárea molida, arena calcárea, creta fosfatada)	Únicamente de origen natural
A	Magnesio y carbonato de calcio	Únicamente de origen natural Por ejemplo, creta de magnesio, roca de magnesio calcárea molida
A	Sulfato de magnesio (kieserita)	Únicamente de origen natural
A	Solución de cloruro de calcio	Tratamiento foliar de los manzanos, a raíz de una carencia de calcio
A	Sulfato de calcio (yeso)	Producto especificado en el punto 1 del anexo ID. del Reglamento (CE) no 2003/2003 Únicamente de origen natural
A	Cal industrial procedente de la producción de azúcar	Subproducto de la producción de azúcar de remolacha
A	Cal industrial procedente de la producción de sal al vacío	Subproducto de la producción de sal al vacío a partir de la salmuera natural de las montañas
A	Azufre elemental	Productos especificados en el anexo ID.3 del Reglamento (CE) no 2003/2003
A	Oligoelementos	Micronutrientes inorgánicos enumerados en la parte E del anexo I del Reglamento (CE) no 2003/2003
A	Cloruro de sodio	Solamente sal gema
A	Polvo de roca y arcilla	

(1) DO L 304 de 21.11.2003, p. 1.