

MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS

**DEPARTAMENTO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
(U.N.L.P.)**

LA MATERIA ORGÁNICA EDÁFICA

**SU INFLUENCIA SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y
FUNCIONALIDAD DE LOS SUELOS
AGROFORESTALES**

Dra. Ing. Agrón. Cecilia Cerisola

**MATERIAL DE LECTURA PARA EL CURSO DE
GRADO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
FORESTAL.**

2015

INTRODUCCIÓN:

El uso de materiales orgánicos va unido a la actividad agrícola desde sus orígenes, y su empleo está, históricamente, relacionado con la fertilidad y productividad de los suelos (**FIGURA 1**).

En un ecosistema natural (cerrado), no hay exportación de cosechas ni de productos animales y las salidas de nutrientes, o pérdidas del sistema, se producen naturalmente por volatilización, lavado o erosión.

En los sistemas agrícolas tradicionales (agroecosistemas), se mantenía la fertilidad de la tierra y se producían cosechas cerrando ciclos de energía, agua y nutrientes. Esto último se conseguía mediante técnicas agronómicas básicas: rotación de cultivos, incorporación de rastrojos, compostaje, introduciendo la cría animal y aprovechando la vegetación natural (sistemas agro-silvo-pastoriles), dentro de un equilibrio dinámico y perdurable. En este esquema, la conservación de la potencialidad productiva, dependía del mantenimiento del ciclo de la materia orgánica.

Los avances tecnológicos introdujeron innegables mejoras, pero también han sido la causa de la pérdida del equilibrio dinámico mantenido durante milenios entre el hombre y el medio agrícola. Estos nuevos agrosistemas, han tenido una incidencia importante, cuando no alarmante, sobre el medio edáfico y en especial sobre la materia orgánica, tanto en su calidad como en su cantidad. Los suelos han experimentado una disminución importante de su fertilidad y, en consecuencia, de su productividad y funcionalidad. Lo primero, ha sido paliado por la nutrición mineral, mediante aportes externos de fertilizantes, mientras que lo segundo va a depender de técnicas de manejo conservacionista, respetuosas con el medio y que permitan una agricultura sostenible en el tiempo.

DEFINICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA:

Es el conjunto, heterogéneo y dinámico, de materiales, organismos y procesos.

Comprende la totalidad de los compuestos de origen orgánico (vegetales, animales y microorganismos), que se superponen al suelo mineral o se incorporan al mismo (en sistemas cultivados) y que bajo la acción de factores edáficos, climáticos y biológicos, son sometidos a un constante proceso de transformación.

Normalmente se presenta en cantidades muy inferiores a la fracción mineral, no obstante su papel es tan importante o más para la evolución y propiedades de los suelos (**FIGURA 2**).

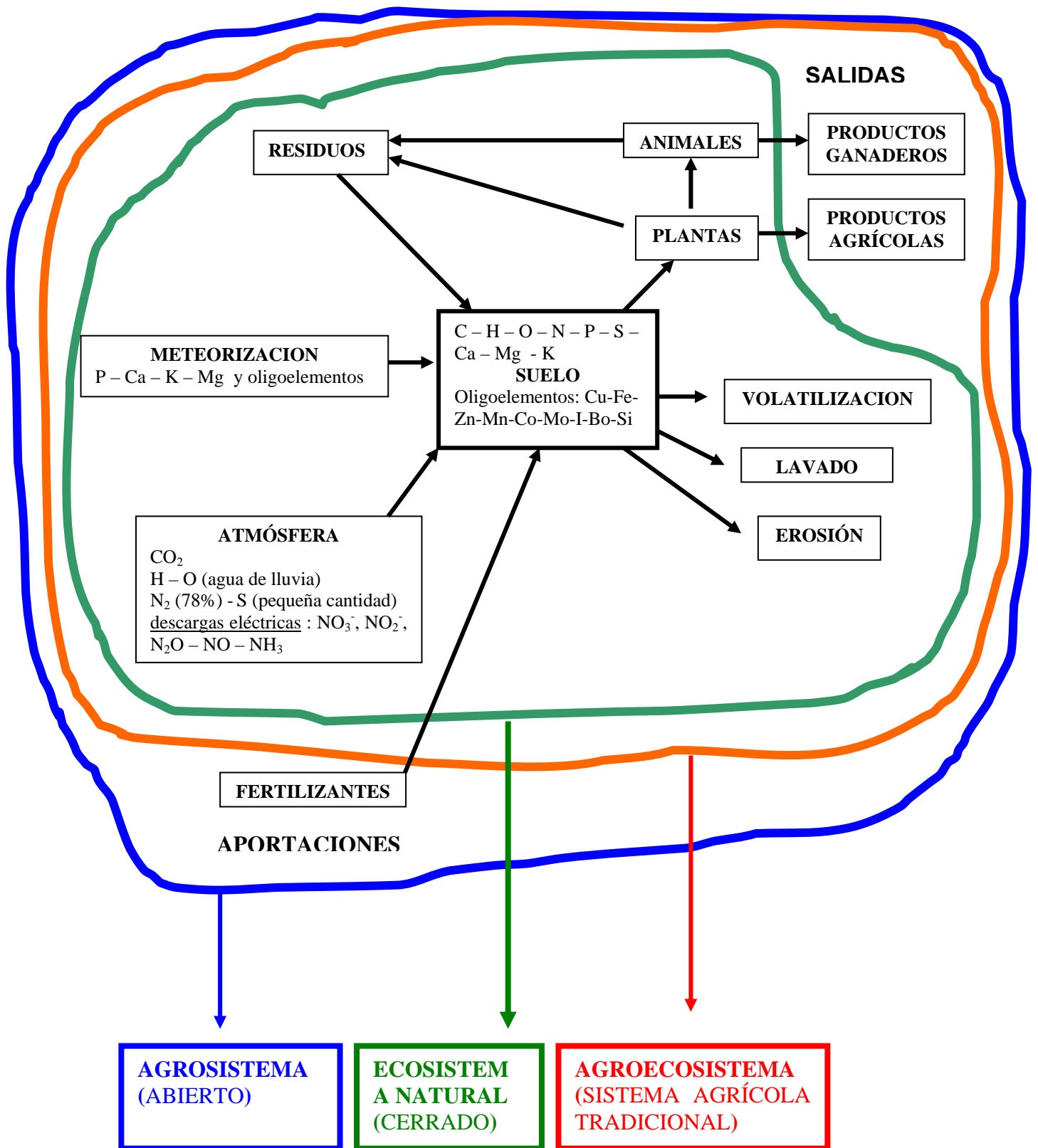


FIGURA 1: ciclo de los elementos nutritivos



FIGURA 2: distribución de las fracciones orgánica y mineral del suelo



FIGURA 3: distribución de la materia orgánica (MO) viva y muerta

Los materiales orgánicos se pueden diferenciar en dos grupos (**FIGURA 3**):

1- Grupo de materiales vivos (FIGURA 4).

Microbiota: microorganismos: algas, bacterias, hongos, protozoos...

Mesobiota: nematodos, gusanos...

Macrobiota: raíces vegetales, lombrices y macrofauna

2- Grupo de materiales no vivos.

Está constituido por restos orgánicos frescos (tejidos vegetales y animales), productos excretados por los organismos, productos de descomposición y compuestos de síntesis. **Dentro de este grupo tenemos el humus.**

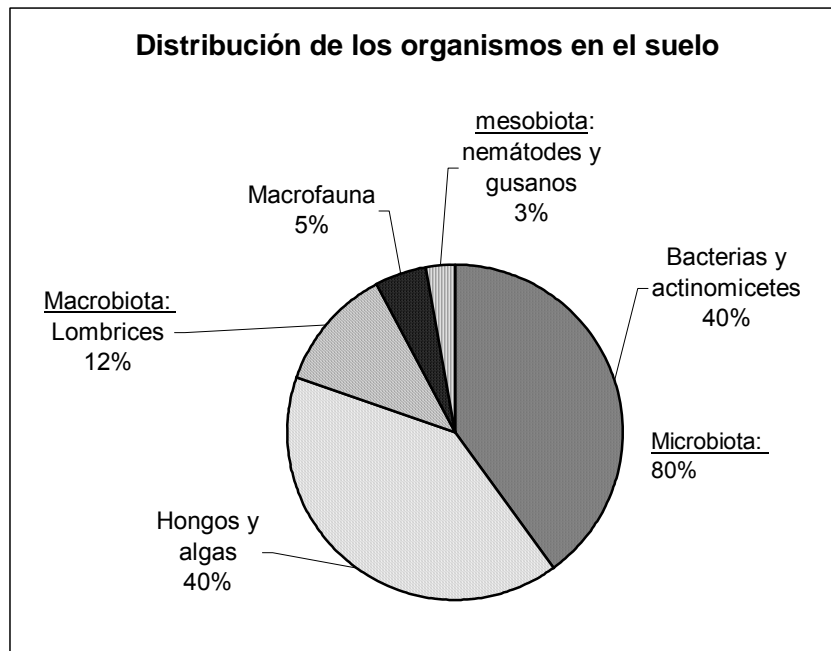


FIGURA 4: distribución del material orgánico vivo del suelo

DEFINICIÓN DE HUMUS:

Producto temporal de la descomposición de restos orgánicos de origen vegetal y, en concreto, los que son ricos en celulosa y lignina. Es la fracción compleja de la materia orgánica del suelo. Incluye los productos de descomposición biológica avanzada de los restos orgánicos y los productos sintetizados por los microorganismos. Está en continua transformación y presenta naturaleza coloidal, elevado peso molecular, entidad química específica y es relativamente estable.

Nota: el concepto de materia orgánica del suelo se refiere a la fase muerta, pero en la práctica se incluyen también a los microorganismos vivos dada la imposibilidad de separarlos del resto de material orgánico transformado.

El fin inexorable de todos los compuestos orgánicos del suelo es su mineralización, por tanto su destrucción. Pero muchos compuestos son lo suficientemente estables como para permanecer en cantidades suficientes en los suelos (su descomposición se compensa con los aportes). Los compuestos húmicos pueden tener una vida media de cientos a miles de años. Estos no están definidos por una composición determinada (como sería lo ideal) sino que se establecen en base a su comportamiento frente a determinados reactivos (según sean solubles o precipiten). El humus al tratarlo con una serie de reactivos extractantes se separa en una serie de fracciones. A cada fracción extraída se le da un nombre (**FIGURA 5**). Se dice que tiene "entidad química específica" porque lo que varía es la proporción en que se encuentran estas fracciones. Por ejemplo: la relación **ácidos húmicos/ ácidos fúlvicos**, es diferente en suelos bajo bosque (0.56) que en un ambiente natural desarrollado bajo pradera húmeda o subhúmeda (1.60), incluso si se trata de suelos afectados por salinidad y/o sodicidad (0.9 - 1.1).

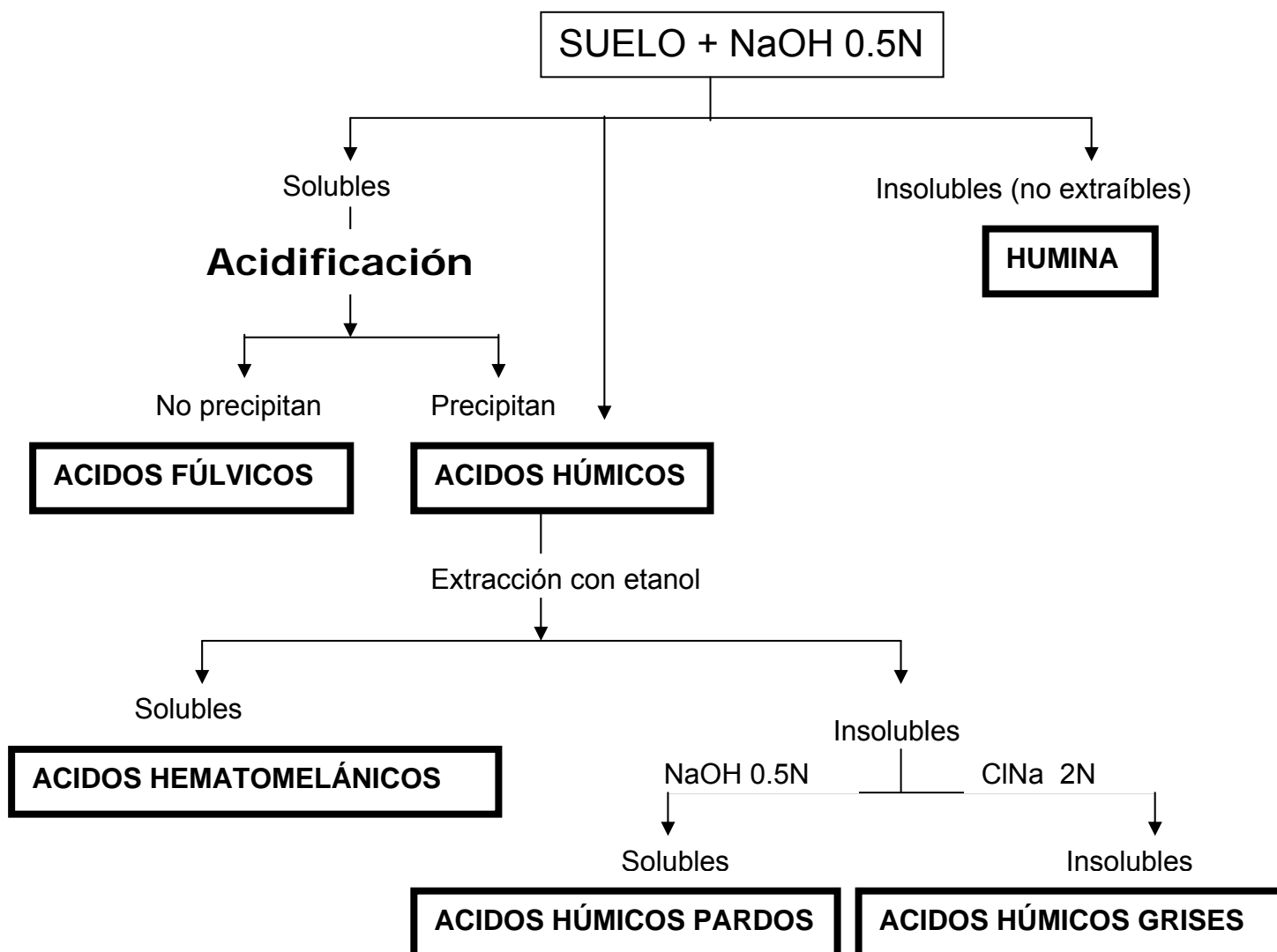


FIGURA 5: fracciones del humus frente a reactivos extractantes

Brevemente, las características de estas fracciones podrían resumirse así:

Huminas: grupo de sustancias relativamente diferentes entre sí, cuyo origen puede tener lugar mediante la vía de herencia o la de neoformación.

La humina heredada está constituida por partículas de densidad menor de $1,8 \text{ g/cm}^3$. Es mayoritaria en aquellos suelos que tienen una vegetación de difícil biodegradación. La fracción de humina heredada se encuentra débilmente ligada a la fracción arcilla de los suelos mediante una serie de enlaces lábiles que resisten la acción de la agitación mecánica clásica, pero no la de los ultrasonidos, que se utilizan para su extracción.

Entre las huminas de neoformación se encuentran las huminas de insolubilización extraíbles, de naturaleza comparable a la de los ácidos húmicos y fúlvicos, pero irreversiblemente ligada a la fracción mineral por medio de enlaces que solo pueden ser destruidos en el laboratorio por medio de agentes químicos que rompen la unión con los silicatos. Así obtenemos la humina unida al hierro y la humina unida a la

arcilla (humina de insolubilización). Al finalizar el tratamiento obtenemos un residuo que se denomina humina de insolubilización no extraíble.

Acidos Fúlvicos

Constituyen una serie de compuestos sólidos o semisólidos, amorfos, de color amarillento y naturaleza coloidal, fácilmente dispersables en agua y no precipitables por los ácidos, susceptibles en cambio de experimentar floculación en determinadas condiciones de pH y concentración de las soluciones de cationes no alcalinos.

Acidos húmicos

Se presentan como sólidos amorfos de color marrón oscuro, generalmente insolubles en agua y en casi todos los disolventes no polares, pero fácilmente dispersables en las soluciones acuosas de los hidróxidos y sales básicas de los metales alcalinos, constituyendo un hidrosol que puede experimentar floculación mediante el tratamiento de los ácidos o los demás cationes.

Desde el punto de vista estructural, su molécula parece estar constituida por un núcleo de naturaleza aromática más o menos condensado y de una región cortical con mayor predominio de radicales alifáticos, presentando en conjunto el carácter de heteropolímeros condensados.

Características comunes de las sustancias húmicas (entidad química específica): se admite que se trata de sustancias amorfas de colores oscuros, polímeros tridimensionales de elevado peso molecular, de carácter ácido, constituidos por unos grupos funcionales: núcleo (grupos aromáticos nitrogenados, como el indólico y el pirrólico, y grupos bencénicos aromáticos, como el naftaleno y el benceno), grupos reactivos (responsables de importantes propiedades de la materia orgánica: hidroxilo, carboxilo, amino, metoxilo...) y puentes de unión (nitrilo, amino, cetónicos...) y cadenas alifáticas.

Propiedades del humus:

- gran capacidad de intercambio catiónico (CIC): los coloides son los responsables de la reactividad química de los suelos. La CIC se mide en miliequivalentes/100 g de suelo. Así, los minerales de arcilla tienen una CIC de 10 a 150 meq/100 g de suelo y la materia orgánica, de 200 a 400 meq/100g. Bajo clima tropical la CIC es baja, debido a que los suelos están meteorizados y el contenido de MO es bajo.
- Forma compuestos **organominerales**, con los cationes, arcillas y óxidos de hierro y aluminio, cuyas características se relacionan con la mayor parte de las propiedades físicas y fisicoquímicas de los suelos. En el intercambio catiónico puede absorber Ca, Mg o K y los retiene contra la lixiviación, manteniéndolos disponibles para los vegetales. Lo mismo con otros oligoelementos metálicos como el Fe, Mn, Zn y Cu que pasan como quelatos solubles a la solución del suelo. El Bo y el Mo, unidos mediante iones borato y molibdato con OH⁻ de los grupos funcionales orgánicos, pasan a la solución del suelo y suelen ser suficiente para la nutrición de las plantas. El tipo de

complejos organominerales está influenciado por las características del suelo: en suelos neutros, aireados y biológicamente activos, la humificación es muy intensa, llegando hasta ácidos húmicos o huminas, poco móviles de elevado peso molecular. En estas condiciones la arcilla es estable, existen en el medio cationes de calcio, magnesio... que actúan como coagulantes y se obtiene un complejo **materia orgánica - Ca⁺⁺ - arcilla** que permanece floculado, (es estable) y favorece la formación de estructura en el suelo. En cambio, en suelos ácidos y biológicamente poco activos, la materia orgánica no se polimeriza y tiene un fuerte carácter ácido. Las arcillas son inestables y se descomponen. En el suelo hay pocos cationes (en medio ácido el Ca y K se reducen y se pierden por lixiviación) pero a estos pH existen Fe⁺⁺⁺ y Al⁺⁺⁺ en la solución del suelo y se forman complejos organominerales **materia orgánica - Fe⁺⁺⁺** y **materia orgánica - Al⁺⁺⁺**, que son solubles, o pseudosolubles, dando lugar al proceso de podsolización. También, como contrapartida, el humus pueden fijar contaminantes (metales pesados).

- Es muy insoluble en agua
- Tiene un contenido medio de **N** del 5%. Este **N orgánico** procede de proteínas, aminoácidos, aminoazúcares, polipéptidos, enzimas, etc. y también del **N** del aire fijado por los microorganismos (simbióticos y no simbióticos)
- Tiene un contenido medio de **C** del 58%
- La relación **C/N** suele ser de 10 a 12
- Contiene una reserva importante de **S** que proviene de los aminoácidos.
- Contiene una reserva importante de **P**, que procede de la fitina, fosfolípidos, ácidos nucleicos, etc. También los microorganismos incorporan **P orgánico** lábil al suelo después de haberlo tomado para su alimentación.
- La relación **C:N:P:S** es de **100-120:10:1:1**
- Puede absorber grandes cantidades de agua
- Tiene expansión y contracción
- Tiene carga eléctrica negativa o positiva en función del pH (en este último caso puede atraer al ión SO₄⁻).

PROCESOS Y TRANSFORMACIONES DE LA MATERIA ORGANICA EN EL SUELO:

Cuando se depositan, acumulan o incorporan los restos orgánicos al suelo (hojas, ramas, tallos, etc.), estos van a sufrir inicialmente una destrucción mecánica, fundamentalmente por la acción de agentes climáticos (lluvia, viento), antrópicos y por los animales que reducen su tamaño, lo mezclan con la fracción mineral y lo preparan para la posterior etapa. A continuación se sucede la alteración química, donde los restos orgánicos en el suelo pierden rápidamente su estructura celular y se alteran a un material amorfo que va adquiriendo un color cada vez más negro, con una constitución y composición absolutamente diferentes de los originales. Las macromoléculas de los restos orgánicos (celulosa, almidón, pectina, lignina, proteínas, glucosa, grasas, ceras, etc), se fragmentan a formas más sencillas, más cortas. Es decir, los polímeros se transforman en monómeros. Cuando se incorporan los restos orgánicos al suelo se produce una intensa actividad microbiana, debido a la abundancia de restos fácilmente atacables. Después disminuye la actividad al ir quedando los restos más estables que sólo pueden ser descompuestos por los

organismos más agresivos. Al principio actúan hongos, después las bacterias y por último los actinomicetos (**FIGURA 6**).

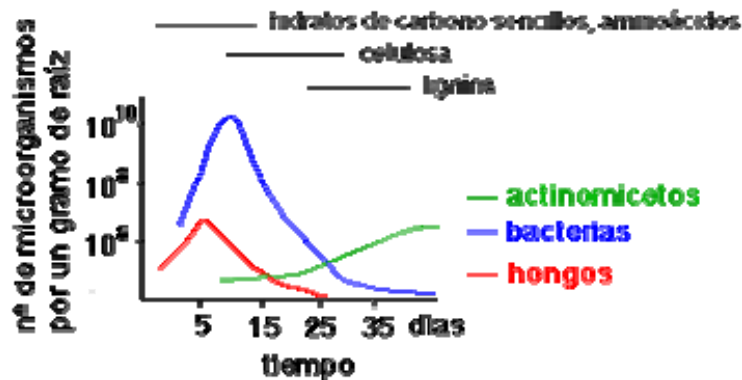


FIGURA 6: distribución temporal de los microorganismos que actúan sobre los restos orgánicos.

Como resultado de la actividad microbiana, se diferencian 2 etapas:

- 1) **LA MINERALIZACIÓN:** o destrucción total de los compuestos orgánicos, dando lugar a productos inorgánicos sencillos como: CO₂, NH₃, NO₂, CH₄ (se volatilizan), H₂O, NH₄⁺, NO₃⁻, P₂O₅, etc. Se conoce como **mineralización primaria**. Según ocurra en condiciones aerobias o anaerobias, los productos y la velocidad de formación de los mismos serán diferentes.
- 2) **LA HUMIFICACIÓN:** mediante reacciones bioquímicas de resíntesis y polimerización que, sumada a la fijación de N₂, forman aminoácidos y péptidos para originar los ácidos húmicos. Las macromoléculas más difíciles de descomponer (lignina, ceras, taninos) aportan los anillos aromáticos que constituyen las bases estructurales de las macromoléculas húmicas. La "relativa" estabilidad de estas sustancias hace que puedan sufrir, por acción microbiana, una **MINERALIZACIÓN SECUNDARIA**, proceso mucho más lento, con liberación de productos simples.

Hay 2 escuelas que explican esta etapa:

La escuela lignista: una degradación incompleta de la lignina y posterior polimerización

La escuela polifenolista: una degradación microbiana de todos los residuos orgánicos y luego una resíntesis y policondensación posterior

Dependiendo de las características del suelo y de la naturaleza de los restos vegetales aportados dominará la **humificación** o la **mineralización** aunque siempre se dan los dos procesos con mayor o menor intensidad.

La **humificación** es responsable de la acumulación de la materia orgánica en el suelo mientras que la **mineralización** conduce a su destrucción.

El siguiente gráfico (**FIGURA 7**) esquematiza este proceso de transformación de la materia orgánica del suelo:

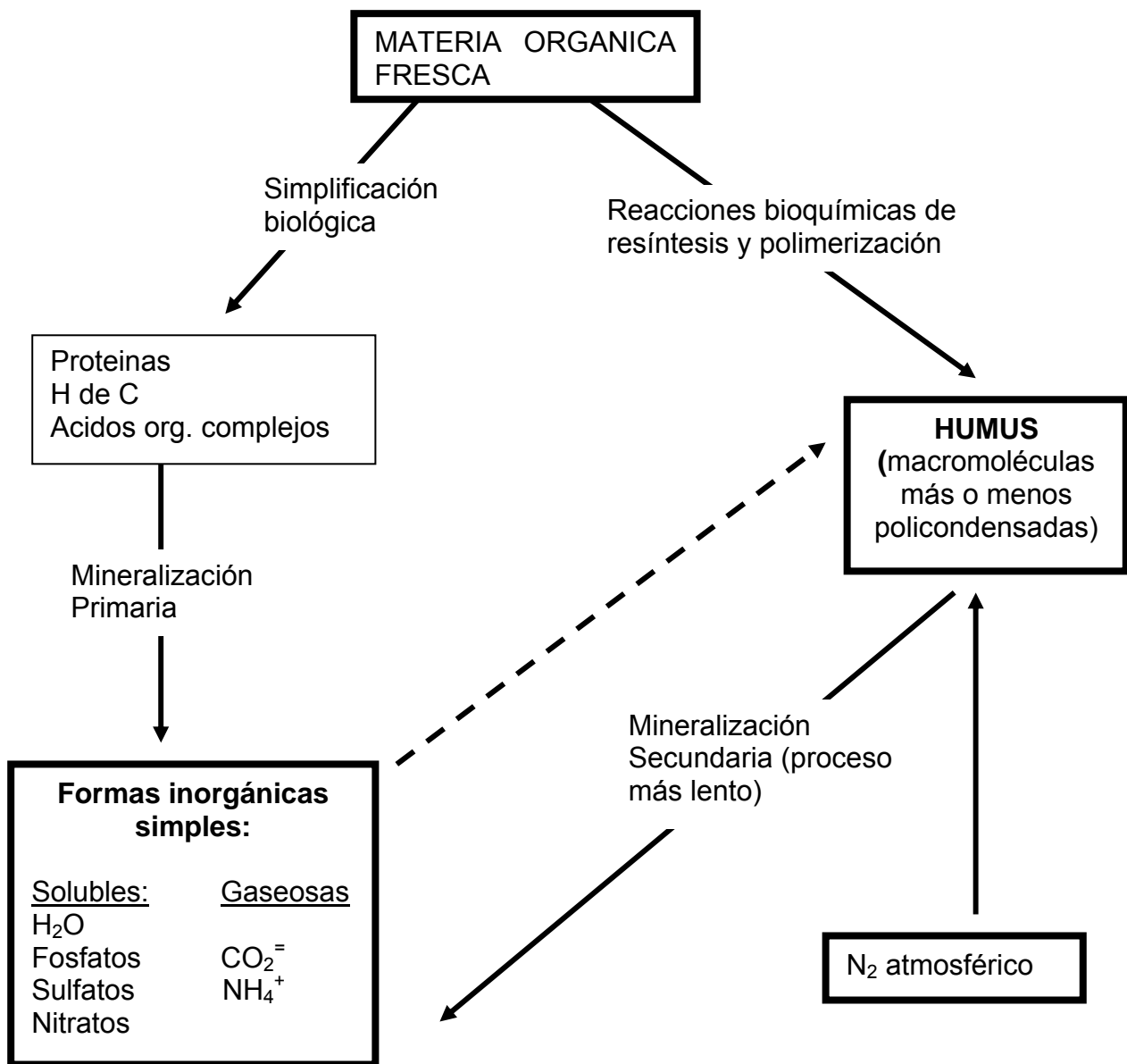


FIGURA 7: transformación de la materia orgánica

DINÁMICA DE LA DESCOMPOSICIÓN (FIGURA 8):

Más que el contenido en materia orgánica lo que interesa es la **velocidad con que esta se transforma.**

Un buen suelo agrícola es aquel donde los procesos de **mineralización** y **humificación** se desarrollan en equilibrio y con relativa rapidez, lo que exige aportaciones continuas de restos orgánicos.

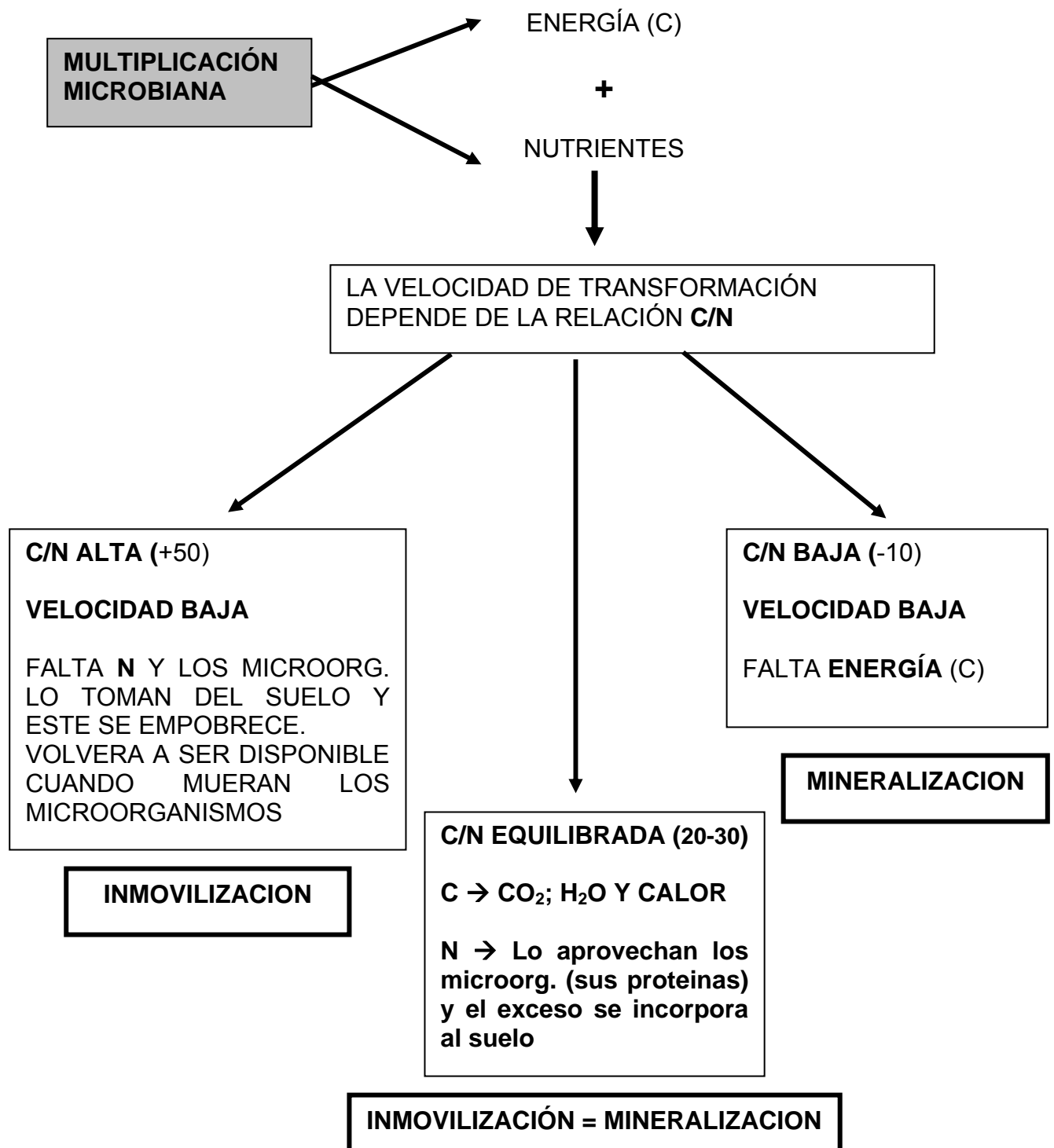


FIGURA 8: Dinámica de la descomposición de la materia orgánica del suelo.

COEFICIENTES DE MINERALIZACIÓN Y HUMIFICACIÓN DE HENNIN:

En el nivel de equilibrio se igualan la tasa de mineralización, cuantificada por el coeficiente K_2 de Hennin y la tasa de producción de humus, cuantificada por el coeficiente K_1 de Hennin o coeficiente isohúmico.

K₂ = Coeficiente de mineralización de Hennin = cantidad de humus mineralizado al año (es función del contenido de humus en el suelo). Los factores que activan la mineralización son aquellos que favorecen la actividad microbiana. El K₂ es del orden de 2.5% para suelos arenosos y 1.5% para los arcillosos.

K₁ = Coeficiente isohúmico de Hennin = cantidad de humus aportado al año proveniente de la descomposición del material incorporado. Influyen las características estructurales del material (cantidad de celulosa, ligninas, ceras) y aportes de N (fijación o fertilización mineral).

En la **FIGURA 9**, se esquematizan los factores, así como la relación C/N, que tienen influencia en la descomposición de los materiales orgánicos y la liberación o inmovilización del N.

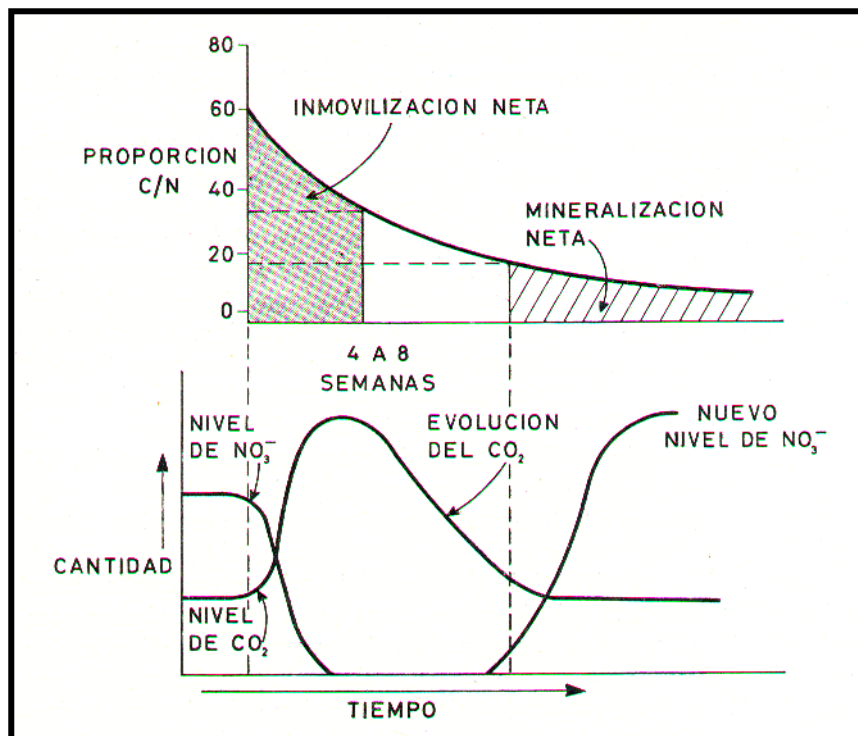


FIGURA 9: cambios en los niveles de nitratos del suelo durante la descomposición de residuos de cosecha pobres en N

El análisis de ésta **FIGURA 9** permite ver que al iniciarse la descomposición, por el añadido de materiales orgánicos recientes, hay un rápido aumento en el número de organismos heterótrofos y, consecuentemente, aumenta la producción de **CO₂** (parte baja del gráfico). Si la relación **C/N** del material es amplia, habrá una inmovilización neta del N (área sombreada de la parte de arriba del gráfico).

La disminución de **CO₂** (parte baja del gráfico), coincide con una relación **C/N** más pequeña (parte de arriba del gráfico) y, por lo tanto, un descenso en el suministro de energía (**C**), por lo que una proporción de la población microbiana muere por la falta de alimento disponible. Aquí se alcanza un nuevo equilibrio que se acompaña de la liberación de N mineral (área rayada del gráfico superior).

Según la cantidad y tipo de material fresco añadido originalmente, el resultado puede ser que el nivel final de NO_3^+ en el suelo sea mayor que el nivel de partida (parte baja del gráfico) o que aumente el nivel de materia orgánica estable (humus). La velocidad, o tiempo requerido, para completar este ciclo de descomposición va a depender:

- de la cantidad y resistencia del material al ataque microbiano
- del suministro de **N** inorgánico
- de la temperatura
- de la humedad del suelo
- de las condiciones de aireación

Por todo lo dicho, estamos en condiciones de definir que se entiende por **Fertilidad “Potencial” y Fertilidad “Actual”**:

Se debe hacer una distinción entre el nitrógeno total, la reserva del suelo en este nutriente (fertilidad “potencial”) y el nitrógeno inmediatamente asimilable (fertilidad “actual”).

En el suelo se suceden dos procesos (**FIGURA 10**):

- 1) **De inmovilización**: son los responsables de la formación de MO (humus), a partir de los residuos de las plantas, principalmente por sus raíces. Estos procesos consumen nutrientes, bajan la fertilidad “actual”, aunque a largo plazo resulten ventajosos porque aumentan la fertilidad “potencial”.
- 2) **De mineralización**: los procesos implicados son destructores de MO, actúan liberando nutrientes y elevando la fertilidad “actual”.



FIGURA 10: relación entre los procesos de inmovilización y de mineralización que tienen lugar en el suelo durante la transformación de la materia orgánica.

Cuando un suelo está cubierto de vegetación, predominan los primeros procesos y el suelo está pobre en nutrientes inmediatamente asimilables. No tanto por el consumo de las plantas, que es relativamente pequeño, sino por las cantidades que utilizan los microorganismos formadores de MO (transforman nitritos y nitratos en nitrógeno orgánico no asimilable) y así producir materias con relación C/N = 10 (humus)

Cuando el suelo está desnudo, barbecho limpio, predominan los procesos microbianos de descomposición de MO y se acumulan grandes cantidades de nutrientes inmediatamente asimilables.

Lo que ocurre con el nitrógeno también sucede con otros nutrientes, ya que la MO contiene todos en mayor o menor cantidad. Por ejemplo, la cantidad de P orgánico sufre grandes variaciones estacionales; aumenta cuando el suelo está cubierto de vegetación (se inmoviliza) y disminuye cuando el suelo está desnudo (se libera).

Si bien los procesos que acumulan fertilidad “potencial” y “actual” son antagónicos, no se debe olvidar que la fertilidad “actual” es un cheque que se cobra a cargo de la fertilidad “potencial”. Para que la descomposición de la MO libere nutrientes, debe haber altos contenidos de ésta, caso contrario la liberación es muy lenta. Así un barbecho limpio liberará más nutrientes en un suelo de elevada fertilidad “potencial”, ya sea porque no ha sido labrado en los últimos años, o porque tiene una alfalfa, que en un suelo “agotado” por cultivos de escarda y barbechos limpios frecuentes.

El humus contiene cerca del 5% en nitrógeno. Cada año, y bajo clima templado, un 1-2% de esta reserva nitrogenada orgánica pasa a estado nítrico, forma disponible para las plantas. Así, un suelo con 2% de humus contiene cerca de 4000 kg de nitrógeno por ha. Si la tasa de mineralización es del 1.5%, significa que libera 60 kg de nitrógeno nítrico por ha y año.

Ejemplo: un suelo con una densidad = 1300kg/m^3 , una profundidad de labor de 0.30 m y un contenido de humus = 2%. Se considera una tasa de mineralización (K_2) = 1.5%

Peso de 1 ha = $10000 \times 0.30 \times 1300 = 3900000$ kg

Contenido de humus/ha: $3900000 \times 2/100 = 78000$ kg

Contenido en N: $78000 \times 5/100 = 3900 \approx 4000$

Mineralizado anualmente: $4000 \times 1.5/100 = 60\text{kg N nítrico/ha/año}$

El proceso de mineralización se ve favorecido por temperaturas cálidas y tiempo seco. En el curso del año, y en particular durante el periodo vegetativo, el nitrógeno experimenta, alternativamente, el proceso de mineralización y retorno a la forma orgánica, bajo la influencia de factores climáticos que condicionan la actividad bacteriana. Además de estos factores, tienen influencia, en la dinámica del nitrógeno, la compactación del terreno, las operaciones de cultivo (laboreo, incorporación de residuos) y el cultivo antecesor.

Para mantener los niveles de materia orgánica, se deben aportar materiales en proporción al ritmo de mineralización. Cuando esto no ocurre, el nivel de materia orgánica desciende hasta alcanzar un equilibrio, estabilizándose en un nivel inferior al original (**FIGURA 11**).

Ejemplo: un suelo virgen de pradera contiene 150.000kg/ha de MO en la capa arable. En los primeros años de cultivo pierde, por mineralización, el 2% anual, o sea pierde 3000 kg/ha el 1er. Año. Suponiendo un ritmo constante, cada año se mineralizaría menos MO (2940 kg/ha, 2881 kg/ha, 2823 kg/ha, etc), hasta alcanzar un estado de equilibrio, donde los residuos aportados produzcan una cantidad de humus igual a la mineralizada.

Si el aporte fuera de 1500 kg/ha y año, el estado de equilibrio se alcanzará cuando el suelo contenga la mitad del valor original: $75000 \times 2/100 = 1500$ kg.

Si no se observan pérdidas en suelos cultivados durante muchos años puede ocurrir que se haya alcanzado el equilibrio en contenidos muy bajos.

En el ritmo anual de mineralización de la MO es determinante la cantidad inicial. Las pérdidas son mayores en suelos con un nivel inicial alto (**FIGURA 12**).

El nivel final de MO, a igual manejo, será más alto en los suelos con mayor nivel inicial y en los de textura fina, dada su mayor fertilidad y capacidad hídrica, así como la influencia estabilizante que ejercen los coloides minerales sobre la fracción orgánica del suelo.

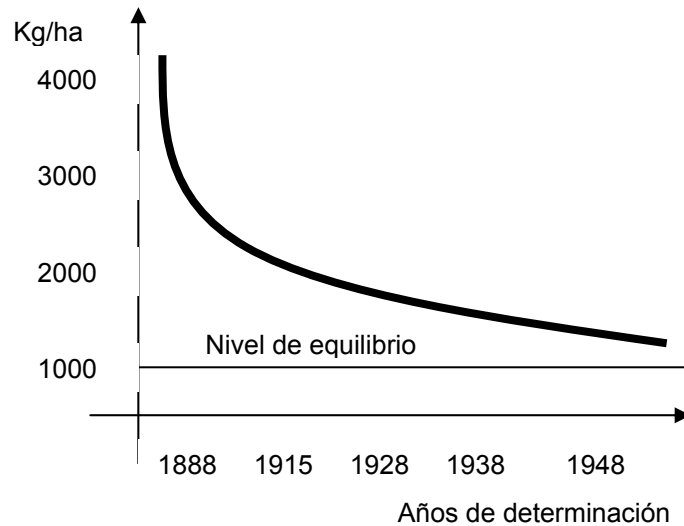


FIGURA 11: Pérdida de NT en un suelo agrícola

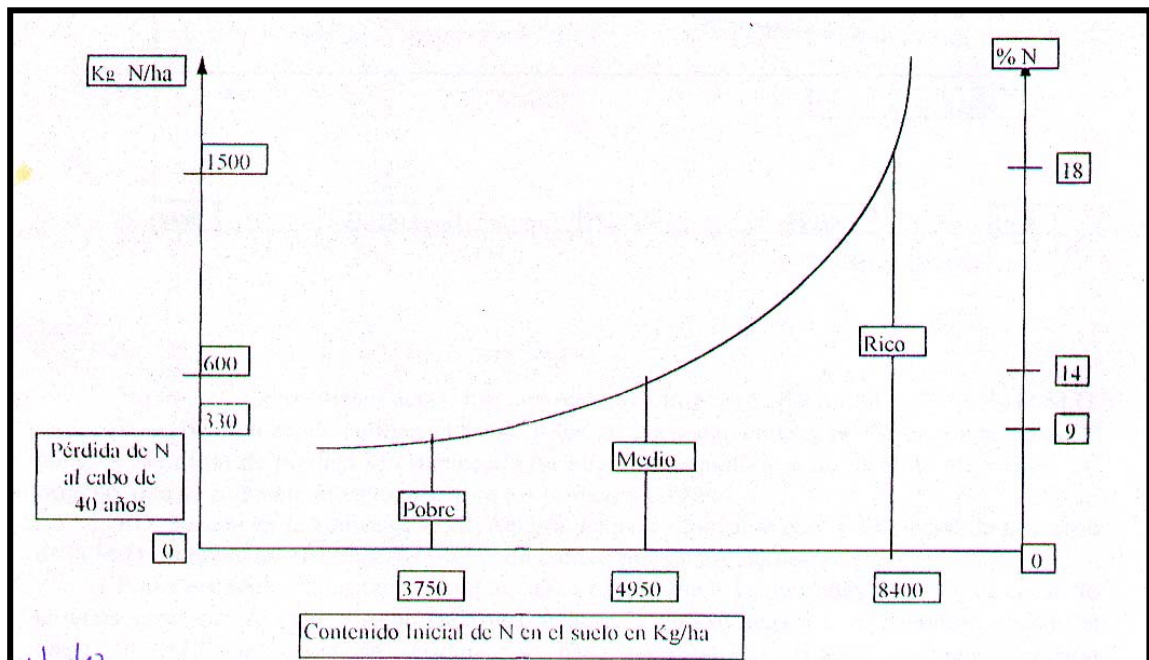
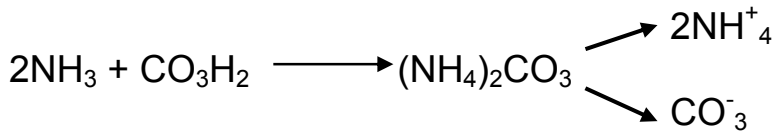


FIGURA 12: pérdidas de Nitrogeno al cabo de 40 años de cultivo

PASO DEL NITRÓGENO DE LA FORMA ORGÁNICA A LA MINERAL:

Implica 2 pasos: Amonización y Nitrificación

- 1) **AMONIZACIÓN:** intervienen organismos heterótrofos que requieren como fuente de energía compuestos carbonados orgánicos

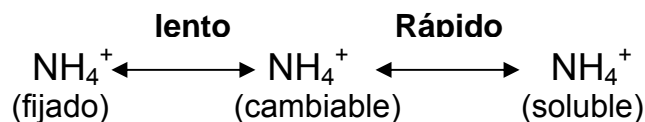


Para que se libere el ión NH_4^+ , es necesaria una baja relación C/N (± 20), sino el NH_3 liberado será objeto de apropiación por la población heterótrofa que descompone el material orgánico. Este es el fundamento del uso de los abonos verdes.

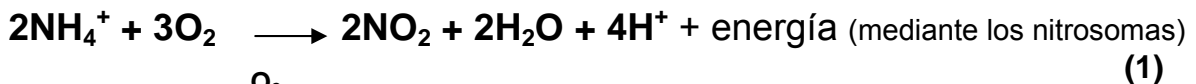
Destinos del NH_4^+ :

- utilizado por los microorganismos para formar sus propias proteínas (se recupera con la muerte de los mismos)
- utilizado por las plantas superiores
- fijado de forma no cambiante por los minerales arcillosos
- perderse a la atmósfera como NH_3 (suelos arenosos y calizos)
- adsorbido por el complejo de cambio del suelo

Existe un equilibrio entre el N amoniacal fijado, cambiante y soluble:



2) OXIDACIÓN O NITRIFICACIÓN: es necesario abundante ión amonio en el suelo y, por lo tanto, baja relación C/N y temperatura adecuada. Intervienen microorganismos autótrofos que obtienen su energía de la oxidación de sales inorgánicas y el CO_2 de la atmósfera que los rodea



Destino de los NO_3^- :

- Usado por los microorganismos para elaborar su propia proteína que se recupera con la muerte de estos
- Usado por las plantas superiores
- Se pierde por lavado
- Se transforma en compuestos gaseosos que se pierden a la atmósfera (desnitrificación, en suelos arcillosos y mal aireados)

Algunas consideraciones:

- Los suelos alcalinos con contenidos elevados de compuestos amoniacales, obstaculizan la reacción (2) (oxidación a NO_3^- , mediante el nitrobacter) y se origina una acumulación tóxica de nitritos.

- La cantidad de NH_4^+ transformado en NO_3^- es de 5 a 20 kg/ha/día. Los 4H^+ de la reacción (1) acidifican el suelo (problema en suelos ácidos).

En la **FIGURA 13** se resume esquemáticamente la retención y asimilación del Nitrógeno del suelo.

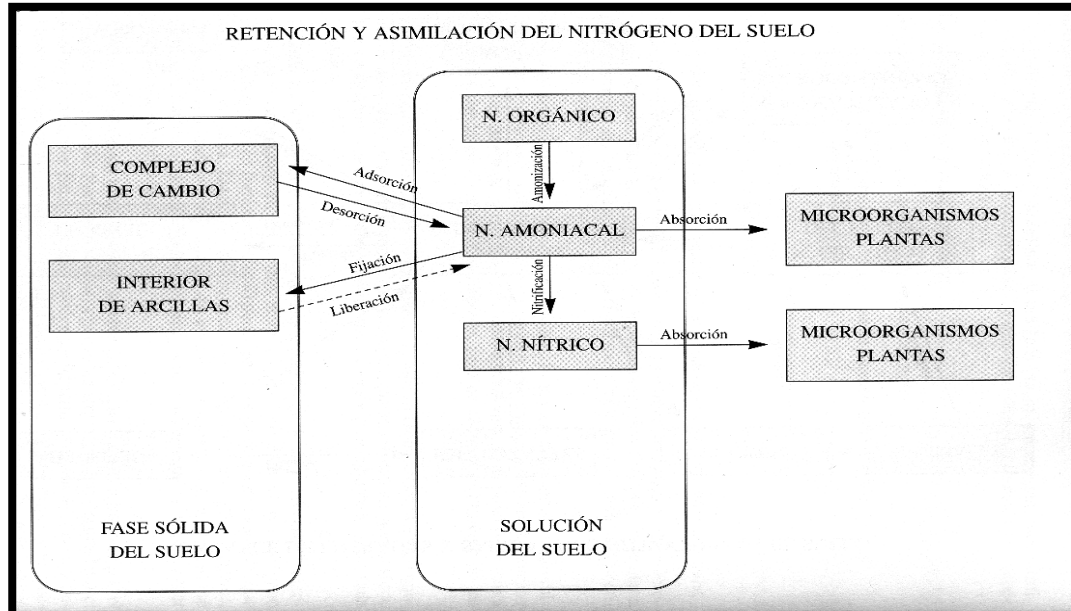


FIGURA 13: retención y asimilación del Nitrógeno en el suelo

La velocidad y equilibrio de los procesos de transformación dependen de los microorganismos y estos, a su vez, de los siguientes factores:

- **TEMPERATURA:** óptimo entre 24 y 35°C
- **HUMEDAD:** afecta más el exceso que el déficit (pmp)
- **AIREACIÓN:** la flora aerobia es la + activa
- **SUSTRATO:** óptimo ph 5-8. influye en el tipo de humus que es peor en suelos ácidos, aunque se suceden diferentes especies de microorganismos.
- **NUTRIENTES:** influye el n y la posible toxicidad de oligoelementos (por ph). el Ca^{++} favorece la estabilidad del humus. el Na^+ , desfavorable por formación de humatos solubles.
- **CANTIDAD DE MATERIAL:** según el hábito de crecimiento de las plantas: festuca: renueva raíces; pradera: depende de si se pastorea, se enfarda o se entierra como abono verde.
- **CALIDAD DEL MATERIAL:**
 - rico en almidón y aminoácidos: rápida mineralización
 - lignina, ceras y taninos: lenta mineralización. Elevan el nivel de materia orgánica estable del suelo porque constituyen las bases estructurales de las macromoléculas húmicas.

La importancia de la materia orgánica no es por el aporte de nutrientes al suelo (la fertilización mineral en este sentido es más eficaz), sino que está ligada a la dinámica del medio vivo, por eso es insustituible (**TABLA 1**).

**Tabla1:
RESUMEN DE LOS EFECTOS MAS DESTACADOS DE LA MATERIA ORGANICA HUMIFICADA EN LOS SUELOS DE CULTIVO (URBANO TERRON, 1987)**

Propiedades del suelo	Efectos de la materia orgánica humificada
FISICAS	<p>Aumenta la capacidad calorífica Suelos más calientes en primavera Reduce las oscilaciones térmicas } color</p> <p>Agrega las partículas elementales Aligera suelos arcillosos y cohesiona arenosos Aumenta la estabilidad estructural Aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa Facilita el drenaje y las labores } estructura</p> <p>Reduce la erosión Aumenta la capacidad de retención hídrica Reduce la evaporación Mejora el balance hídrico } Propiedades coloidales</p>
QUIMICAS	<p>Aumento del poder tampón } Vida microbiana Regula el pH</p> <p>Aumenta la capacidad de cambio catiónico } Evita pérdidas por lixiviación Mantiene los cationes en forma cambiabile</p> <p>Forma fosfohumatos Forma quelatos → Se unen a cationes inestables: Cu, Mn, Fe Mantiene las reservas de nitrógeno</p>
BIOLOGICAS	<p>Favorece la respiración radicular Favorece la germinación de las semillas Favorece el estado sanitario de organismos subterráneos Regula la actividad microbiana Fuente de energía para microorganismos heterótrofos El CO₂ desprendido favorece solubilización mineral Contrarresta el efecto de algunas toxinas Modifica la actividad enzimática Activa la rizogénesis Mejora la nutrición mineral de los cultivos</p>

A MODO DE CONCLUSIÓN

Cantidad y distribución de la materia orgánica en el suelo

Los contenidos son muy variables. Valores usuales 0.5 - 10%.

Se concentra en el horizonte superficial y disminuye gradualmente con la profundidad (a excepción de determinados tipos de suelos, como podzoles, turbas y fluvisoles).

En los suelos de pradera el contenido en materia orgánica es mayor que en los de bosque y alcanza niveles más profundos (**FIGURA 14**).

EN LA CANTIDAD Y CALIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA INTERVIENEN NUMEROSOS FACTORES.

- Del material orgánica original: cantidad, calidad, edad y tamaño de los restos.
- De las características del suelo: presencia de microorganismos, existencia de nutrientes, pH, aireación y minerales.
- De las características climáticas: humedad, temperatura y alternancias climáticas, fundamentalmente.

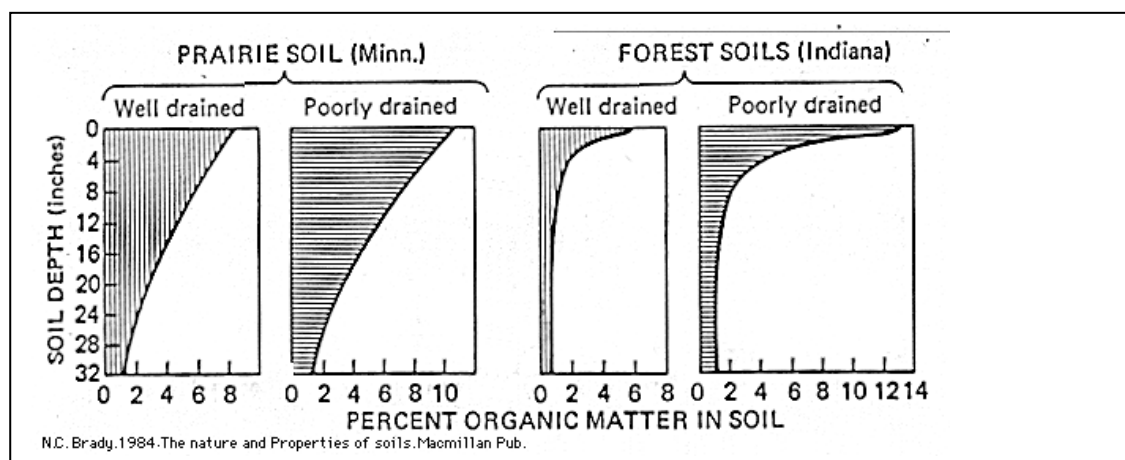


FIGURA 14: contenido de materia orgánica en suelos bajo pradera y bajo bosque

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA:

- Alejandro Aragón; Mirta García y Carmela Di Leo. La materia orgánica del suelo. Curso Manejo y Conservación de Suelos. Edición actualizada 2001.
- Curso de Edafología On Line: <http://www.edafologia.ugr.es>
- José Luis Fuentes Yagüe. Manual práctico sobre utilización del suelo y fertilizantes. 1999. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-España.
- Juana Labrador Moreno; Antonio Guiberteau Cabanillas; Luis López Benítez y José Luis Reyes Pablos. 1993. La materia orgánica en los sistemas agrícolas. Manejo y utilización. Hojas divulgadoras: N°3/93 HD. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid. España.
- Materia Orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, 2006.