

# Materia orgánica del suelo

*Definición:*

*Mezcla compleja y variada de sustancias orgánicas que se encuentran en diversos estados de descomposición. Contiene residuos (vegetales y animales) frescos, parcialmente descompuestos y descompuestos (humus) .*

En el caso de los ecosistemas boscosos, la hojarasca es una de las principales fuentes de adición de materia orgánica al suelo.



# Rol de la materia orgánica del suelo en el ciclo global del carbono:

Números expresados en Pg.  
1 Pg =  $10^{15}$  g



**Vegetación**  
**550**

110

50

60



**Suelo**  
**2.400**

62

105

102

Bicarbonatos  
en drenaje 0.5



**Océanos y lagos**  
**36.000**

Sedimentos 0.5



**Combustibles**  
**fósiles 5.000**

5.5



**Atmósfera**  
**750**

**Rocas sedimentarias calcáreas 75.000.000**

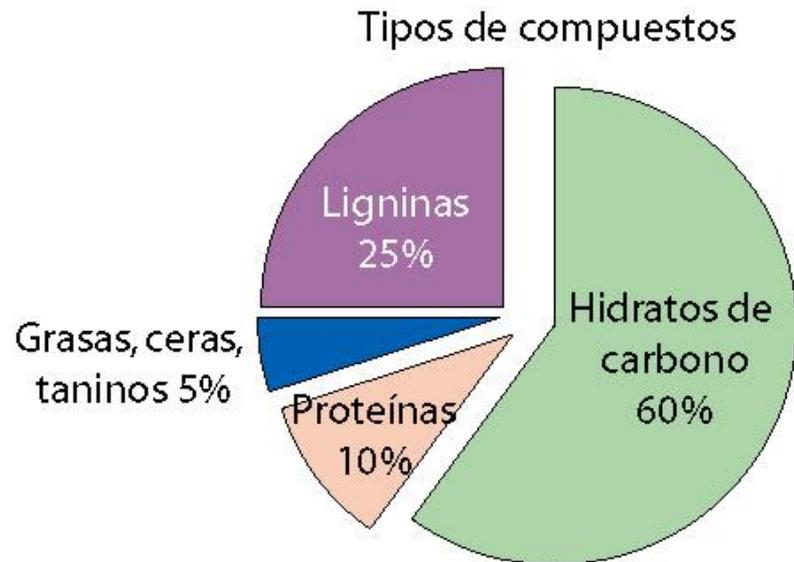
## Importancia de la materia orgánica en los bosques:

- Regeneración
- Protección contra la erosión
- Regulación del régimen hídrico
- Regulación del ciclo de nutrientes
- Génesis del suelo
- Fuente nutritiva para los organismos del suelo
- Filtraje y almacenaje de contaminantes



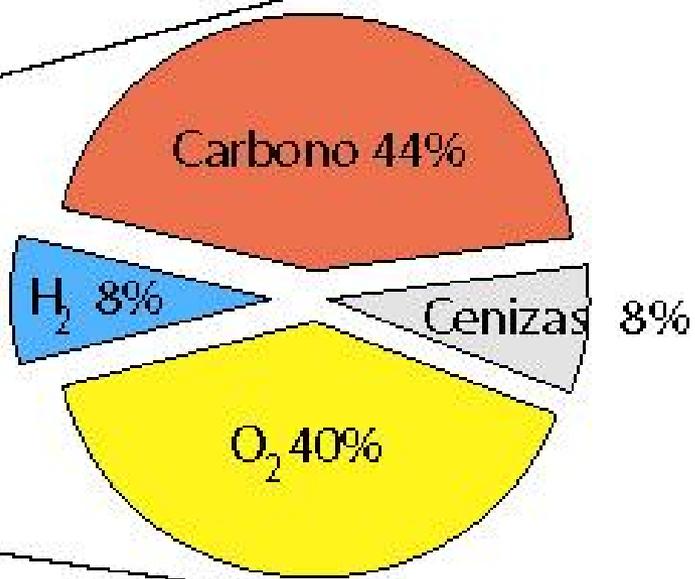
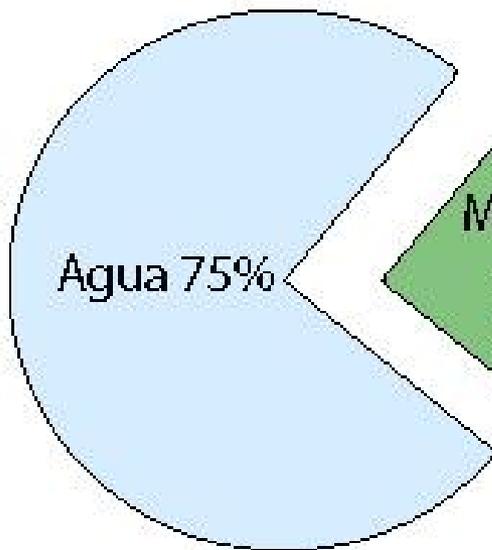
# Principales compuestos de la materia orgánica:

- Azúcares y almidones 1-5%
  - Celulosa 20-50%
  - Hemicelulosa 10-28%
  - Grasas, ceras, resinas, taninos 1-8%
  - Ligninas 10-30%
  - Proteínas 1-15%
- Carbohidratos ~ 60%



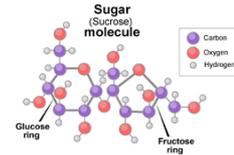
# Célula vegetal

# Composición elemental



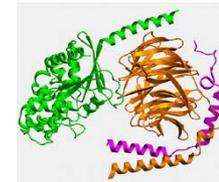
# Facilidad de descomposición de estos compuestos

Azúcares almidones, proteínas simples

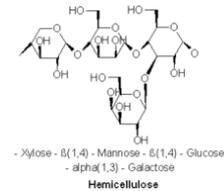


Menor  
dificultad

Proteínas complejas

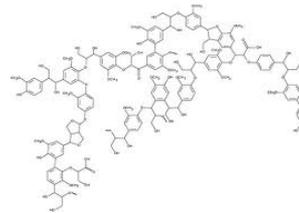


Hemicelulosa



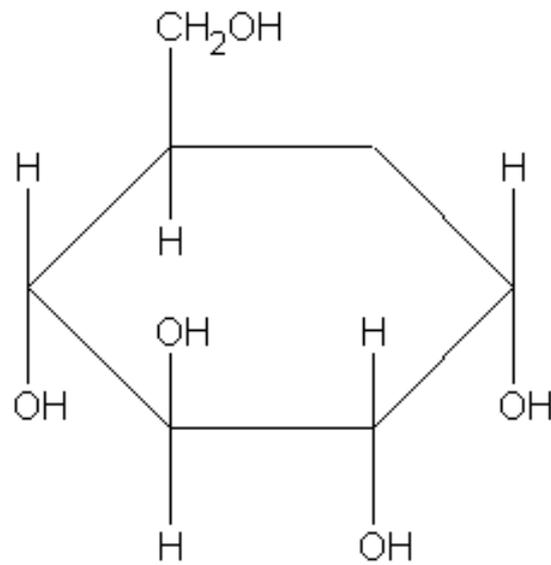
Celulosa

Lignina, ceras, grasas

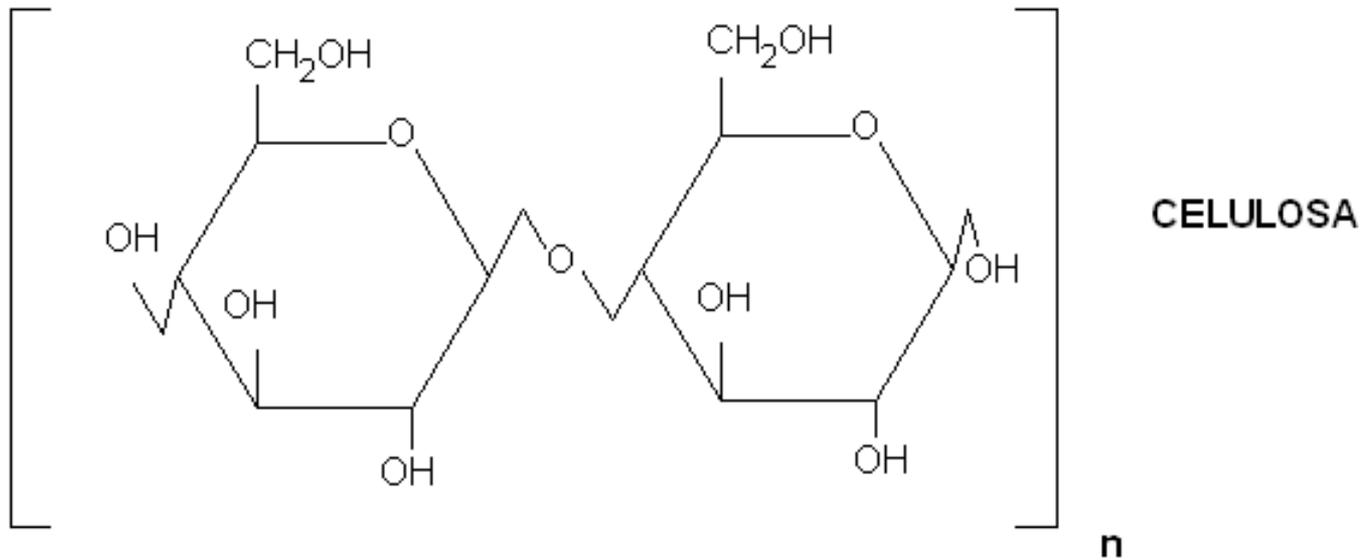


Mayor  
dificultad

¿Por qué la menor o mayor dificultad?



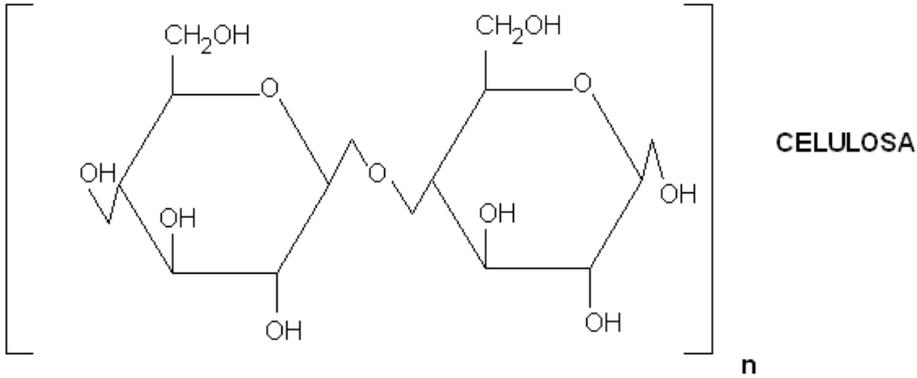
**GLUCOSA**



- Hidrato de carbono más importante
- No soluble en agua

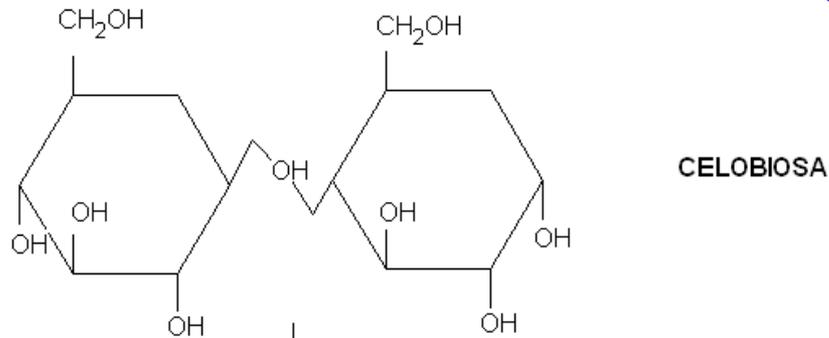
Descomposición =  $f$  (organismos, humedad, temperatura, aire, nitrógeno)

5-30 °C



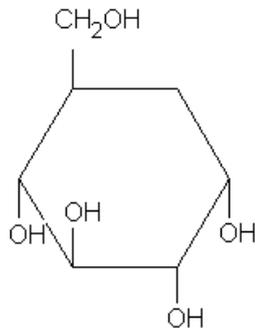
Descomposición de la celulosa bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas.

↓ Condiciones aeróbicas o anaeróbicas  
*Celulasas* (enzimas extracelulares)



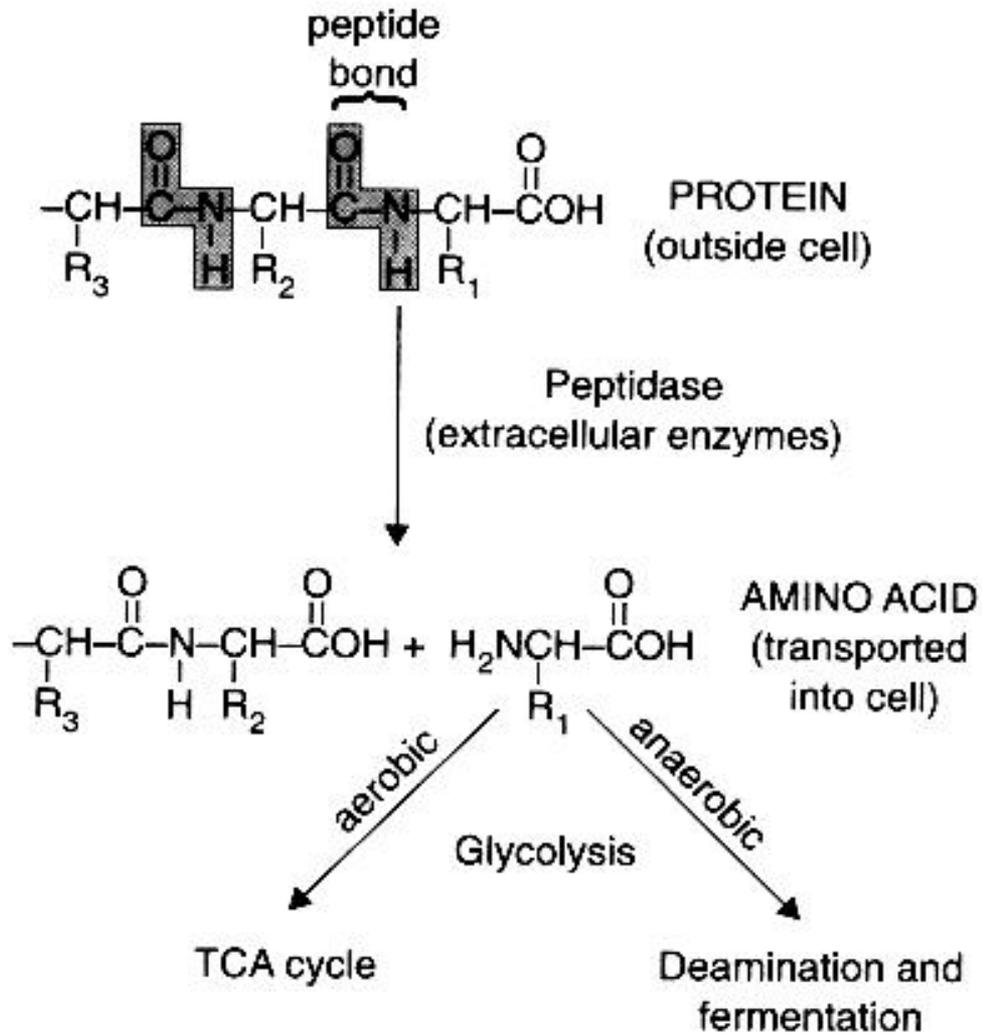
Las enzimas extracelulares determinan las tasas de descomposición de los materiales orgánicos naturales de alto peso molecular

↓  
 $\beta$  1,4-glucosidasa



GLICOLISIS  
 Aeróbica → CICLO TCA  
 Anaeróbica → FERMENTACION

**Nota:** El ciclo TCA es el ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs. Es una serie de reacciones metabólicas en las que piruvato es completamente oxidado a CO<sub>2</sub> y a la coenzima reducida NADH (nicotinamida adenina dinucleotido). Esta coenzima actúa como un transportador de electrones e hidrógeno durante la descomposición.



Compuestos nitrogenados (hasta un 16%) muy variables en cantidad.

Degradación de la proteína por medio de la hidrólisis del enlace peptídico

## Proteínas



**Hojas o acículas**

**3.5-9.2 %**



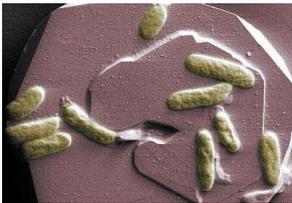
**Madera coníferas o  
latifoliadas**

**0.6- 1.0%**



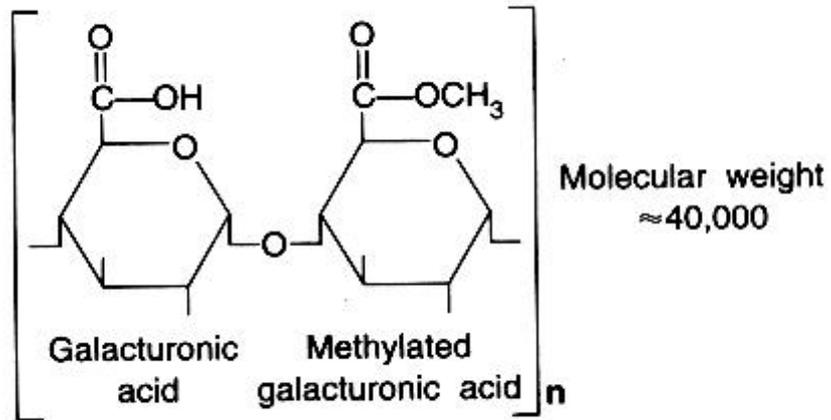
**Gusanos y lombrices**

**10-15%**

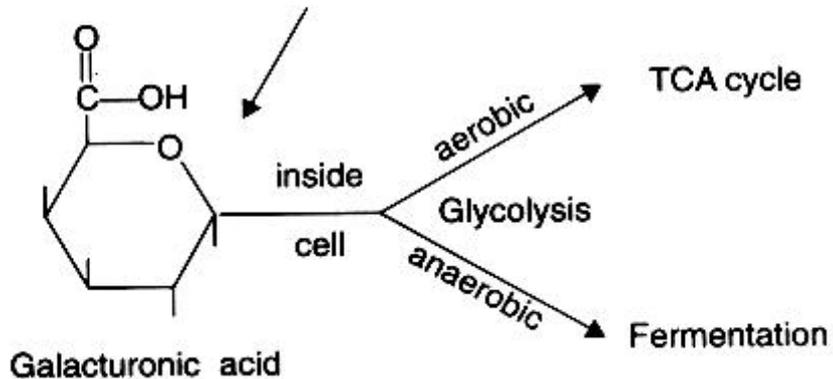
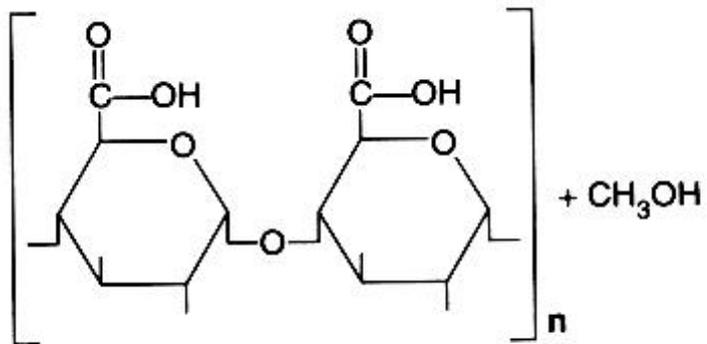


**Bacterias**

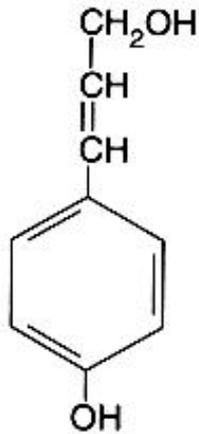
**40-80%**



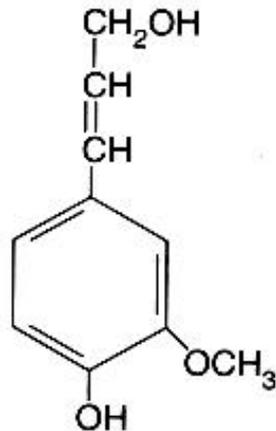
↓ Pectinases (extracellular enzymes)



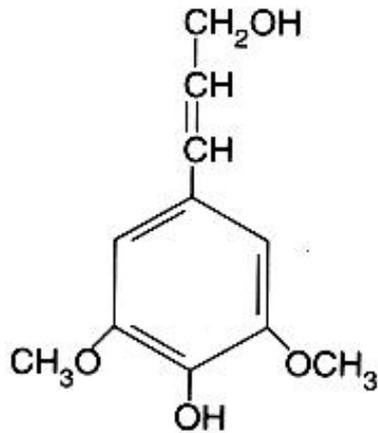
Degradación de la hemicelulosa, pectina, en los suelos.



Coumaryl alcohol



Coniferyl alcohol



Sinapyl alcohol

Ejemplos de unidades de fenilpropano, las cuales son las estructuras básicas de la lignina.

La lignina se compone de 500 a 600 de estas unidades estructurales unidas aleatoriamente.

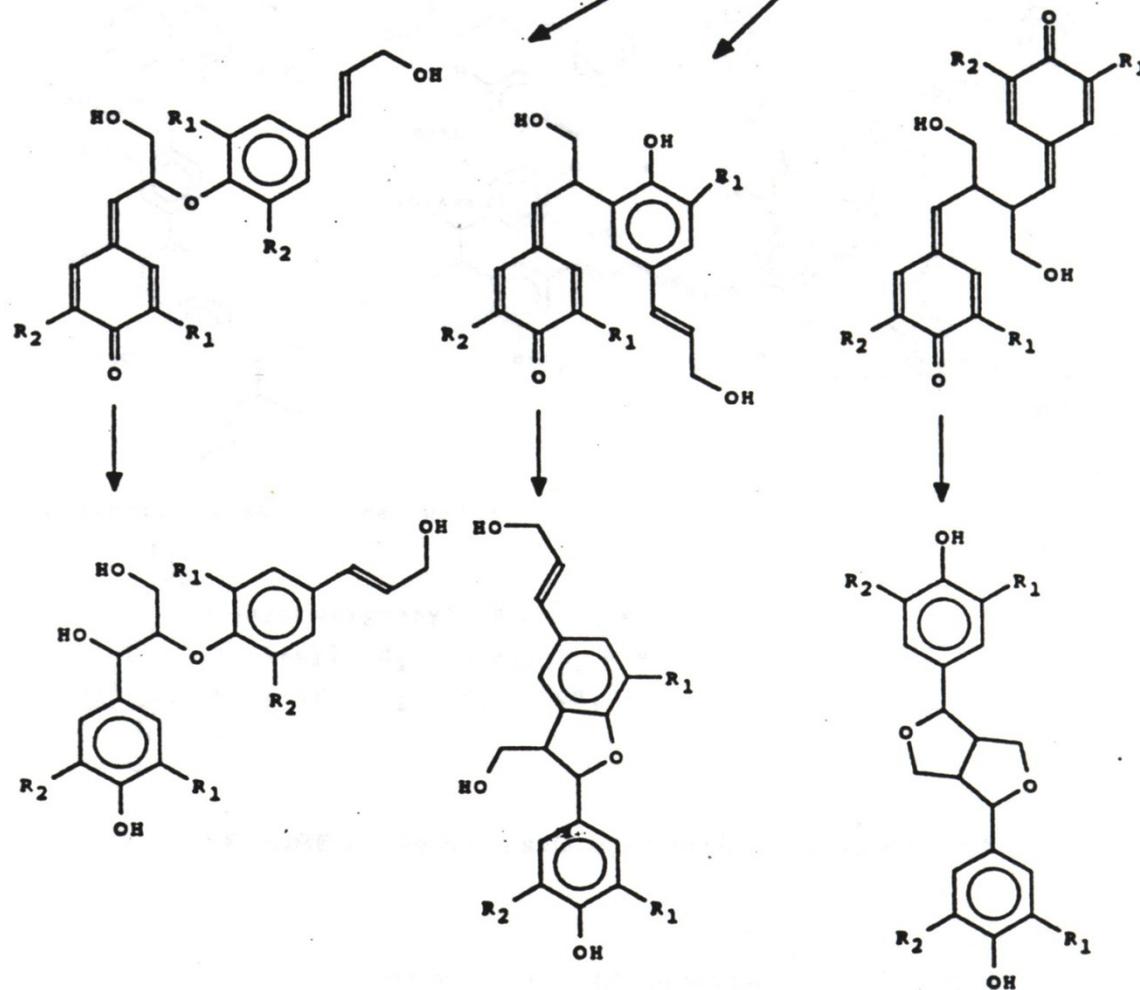
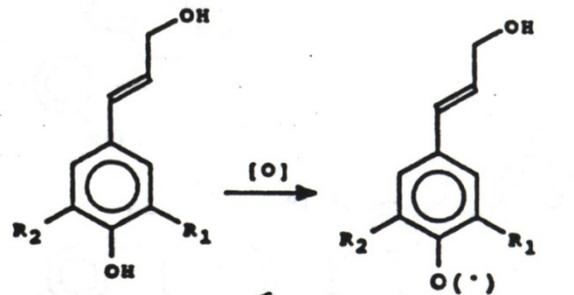
Polímeros fenólicos difíciles de descomponer. Ricas en C (61-64%) y pobres en O (30%)

Lignin precursor alcohols:

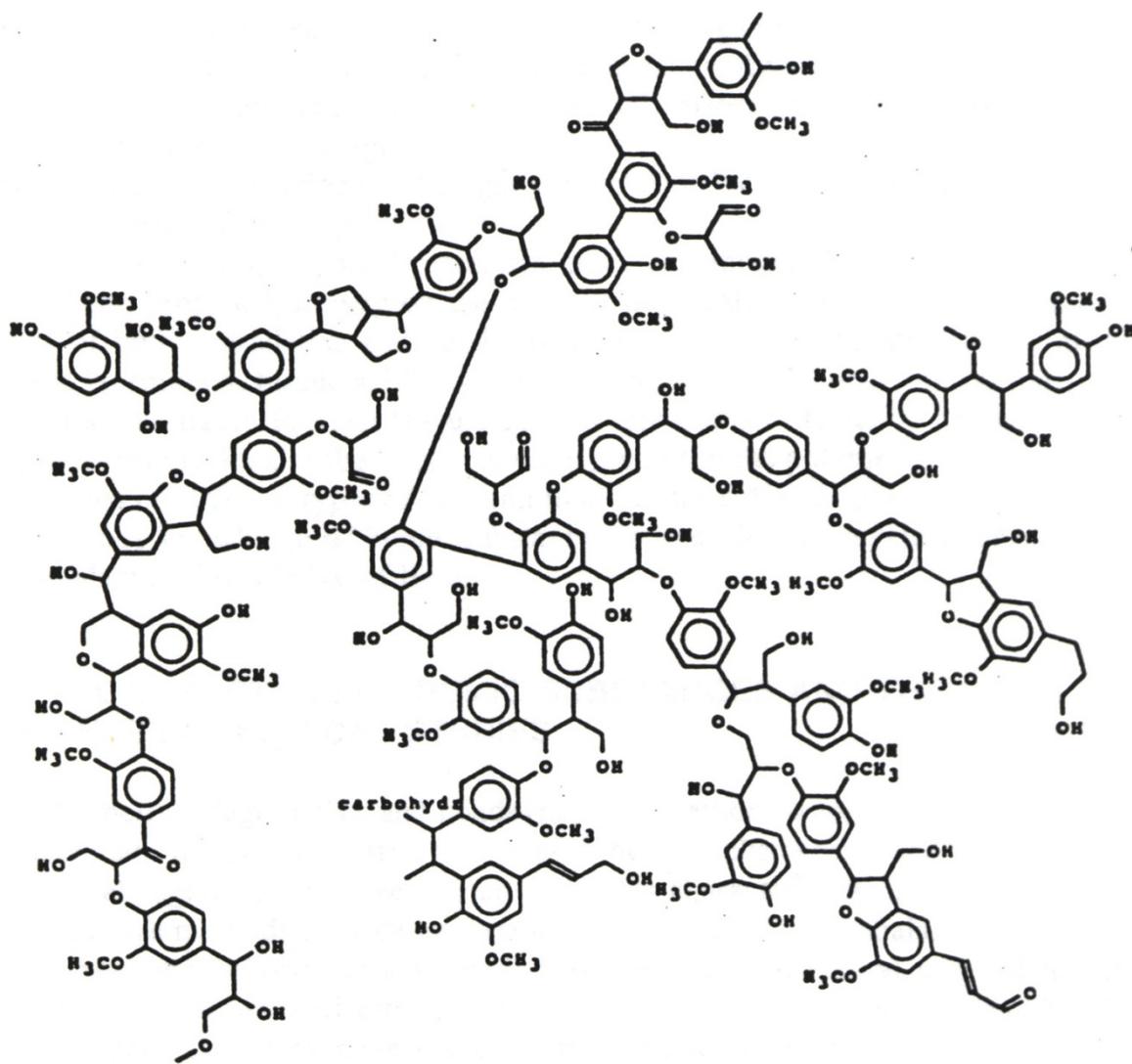
p-coumaryl  $R_1 = R_2 = H$

coniferyl  $R_1 = OCH_3, R_2 = H$

sinapyl  $R_1 = OCH_3, R_2 = OCH_3$



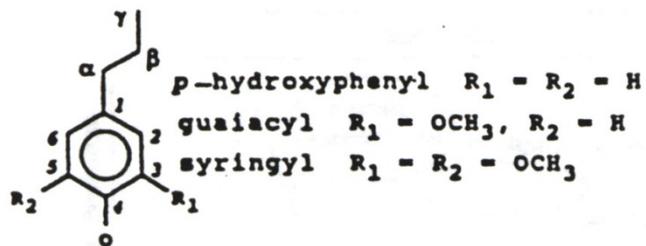
Primeras etapas en la formación de la lignina.

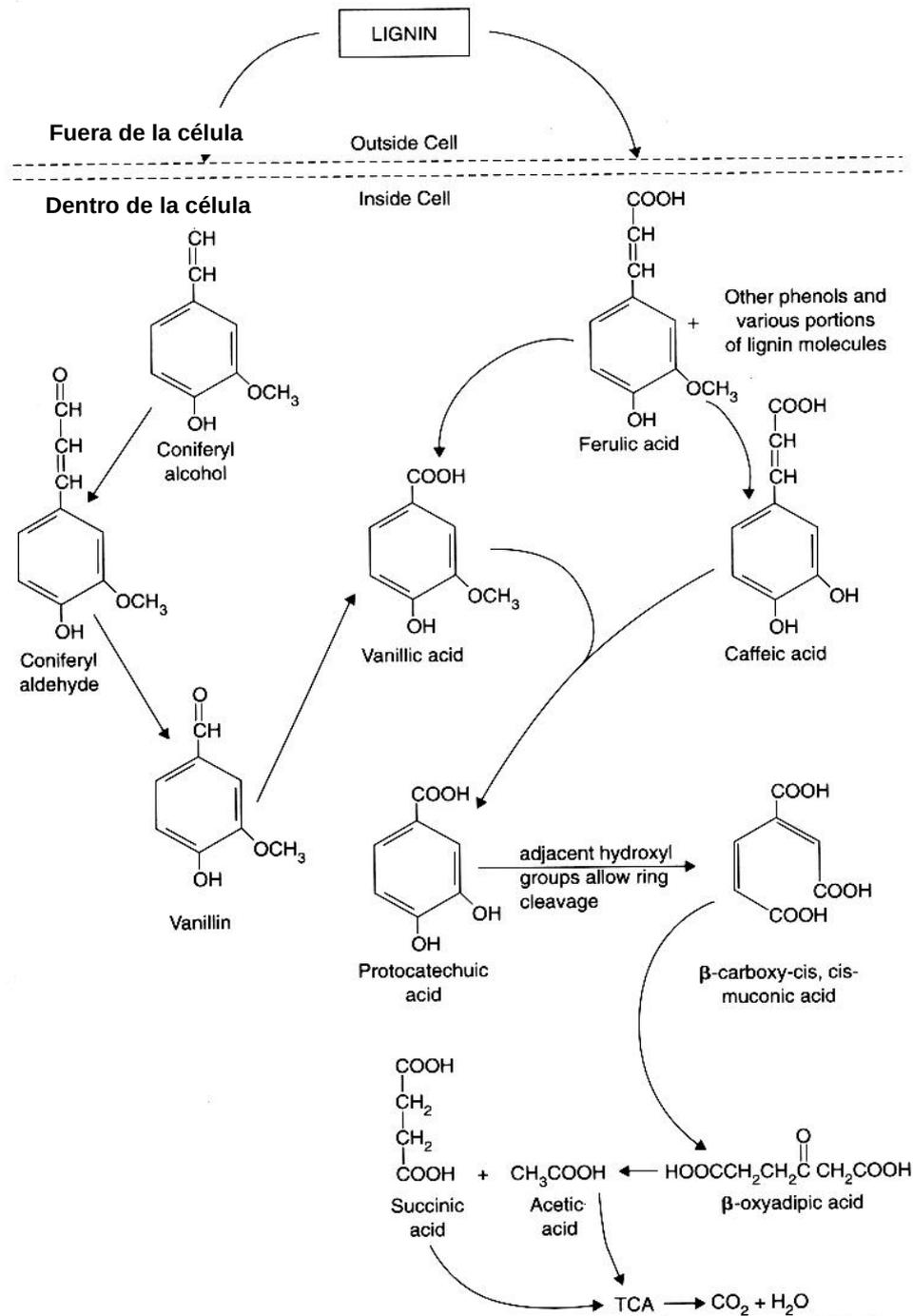


## Estructura tentativa de la lignina (maderas blandas).

De Shevchenko y Bailey, 1996.

Arylpropane structural units:





## Ceras, grasas, resinas.

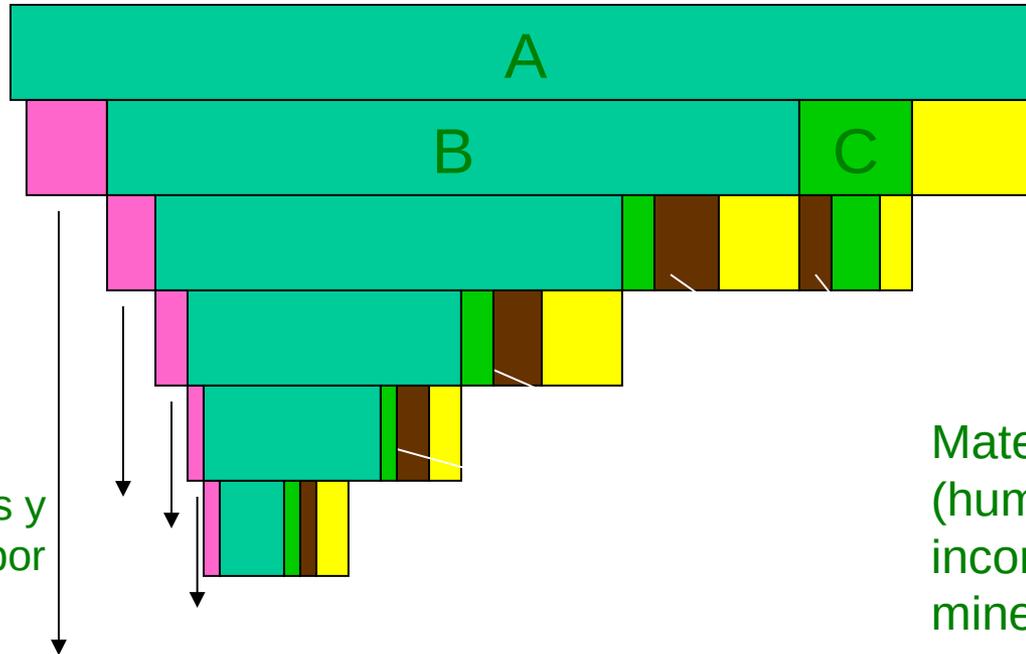
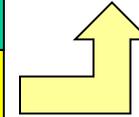
- Son hidrofóbicas.
- Regulan los movimientos de gases y agua en las células.
- Aislan heridas en los árboles.
- Las grasas son reservas alimenticias de las semillas.

**Mineralización:** Producción de iones inorgánicos provenientes de la oxidación de los compuestos orgánicos.

**Humificación:** Fase de descomposición de la materia orgánica que ocurre luego de la trituración de ésta, en que se sintetizan y edifican (polimerización) nuevas moléculas orgánicas. Éstas son generalmente de colores oscuros, menos solubles, más estables y complejas. Estas moléculas orgánicas constituyen la ***fracción húmica o humus del suelo.***

Pérdidas por mineralización y volatilización

$\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,...



Sustancias desprendidas y arrastradas por lixiviación

Material sintetizado (humus) que se incorpora al suelo mineral

A: Cantidad inicial de residuos orgánicos

B: Residuos restantes luego de ataque inicial por microorganismos

C: Cuerpos microbianos muertos producidos a partir de los residuos

# Factores que influyen en la descomposición de la materia orgánica:

## a) Factores del medio ambiente

- Clima y microclima
- Composición y estructura de la vegetación
- Topografía

## b) Factores del medio edáfico

- Propiedades físicas del suelo
- Propiedades químicas y mineralógicas del suelo
- Tipo y cantidad de organismos

## c) Factores antrópicos

# Secuencia de descomposición de la materia orgánica del suelo:



Hojas desprendidas de los árboles. La descomposición se puede iniciar incluso cuando la hoja no se ha desprendido.

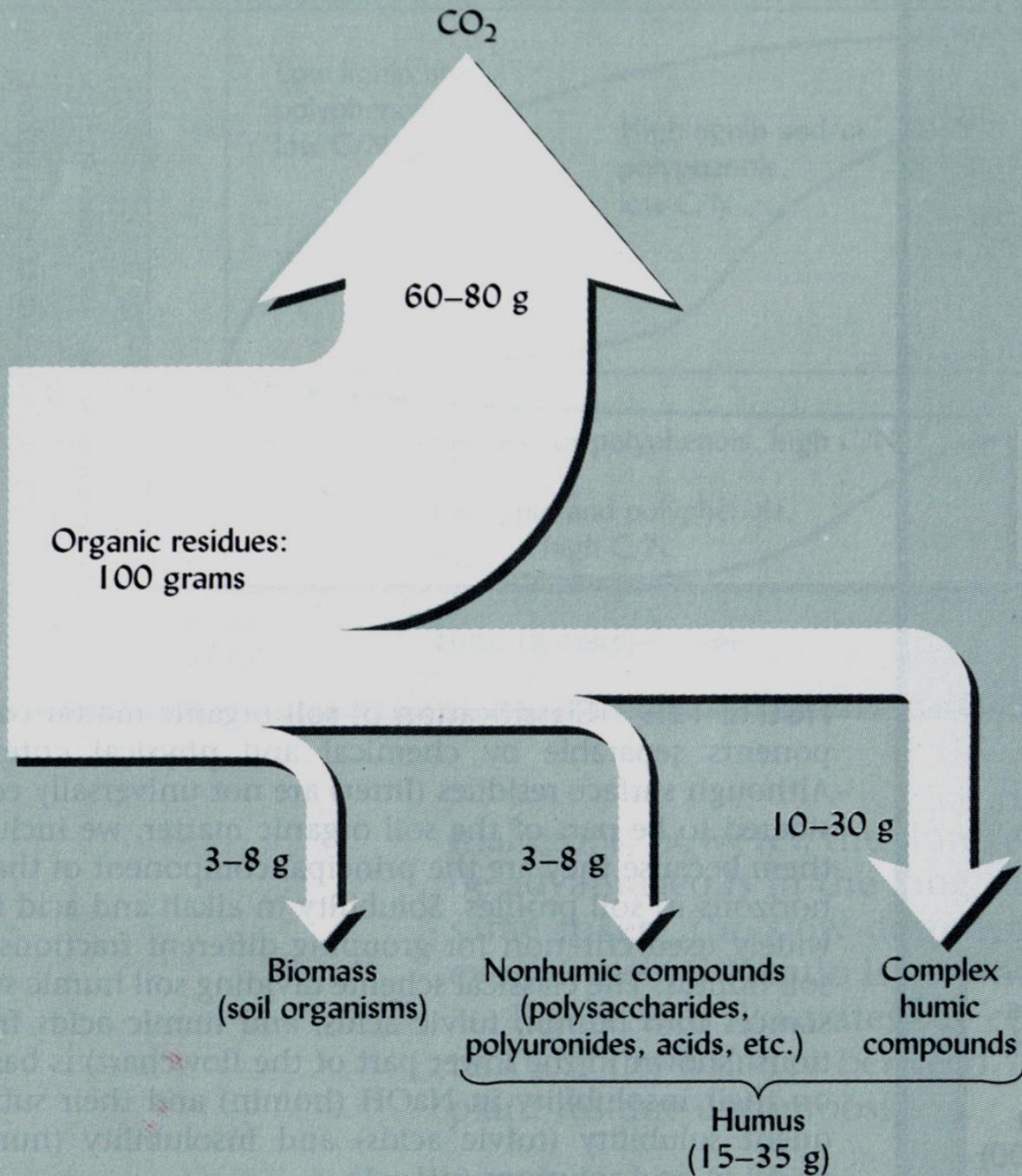


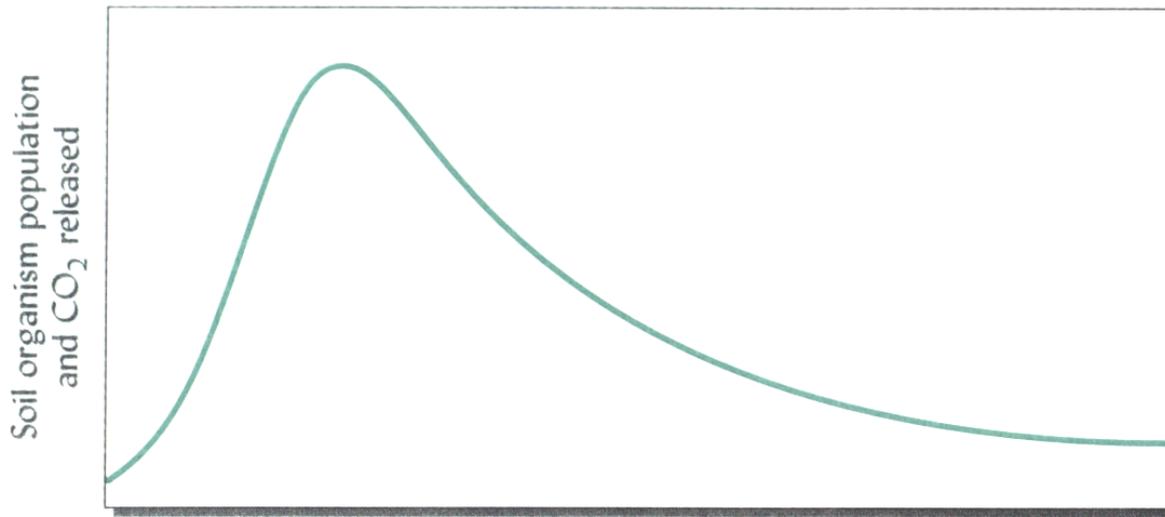
Fauna edáfica rompe los tejidos. Participan activamente insectos y microorganismos





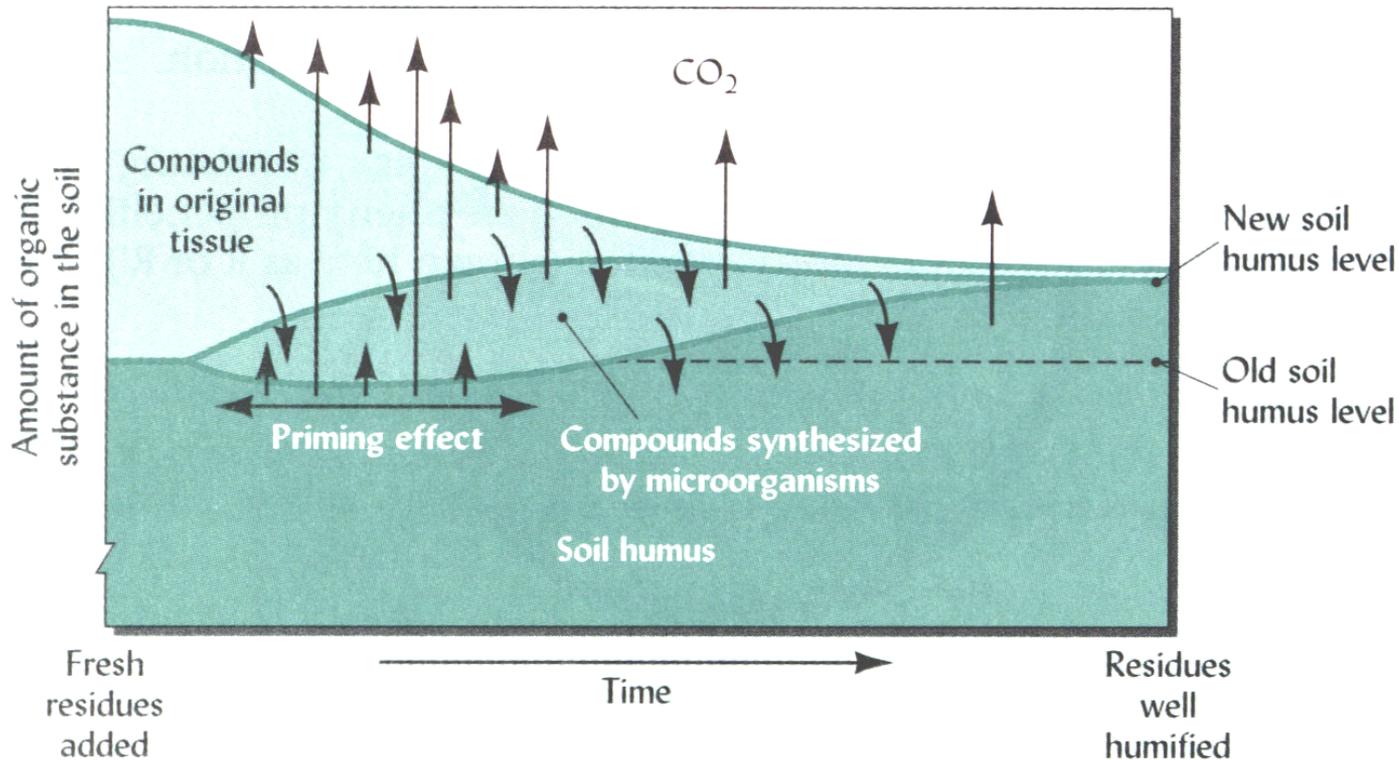
Material difícilmente identificable debido a su avanzado grado de desintegración



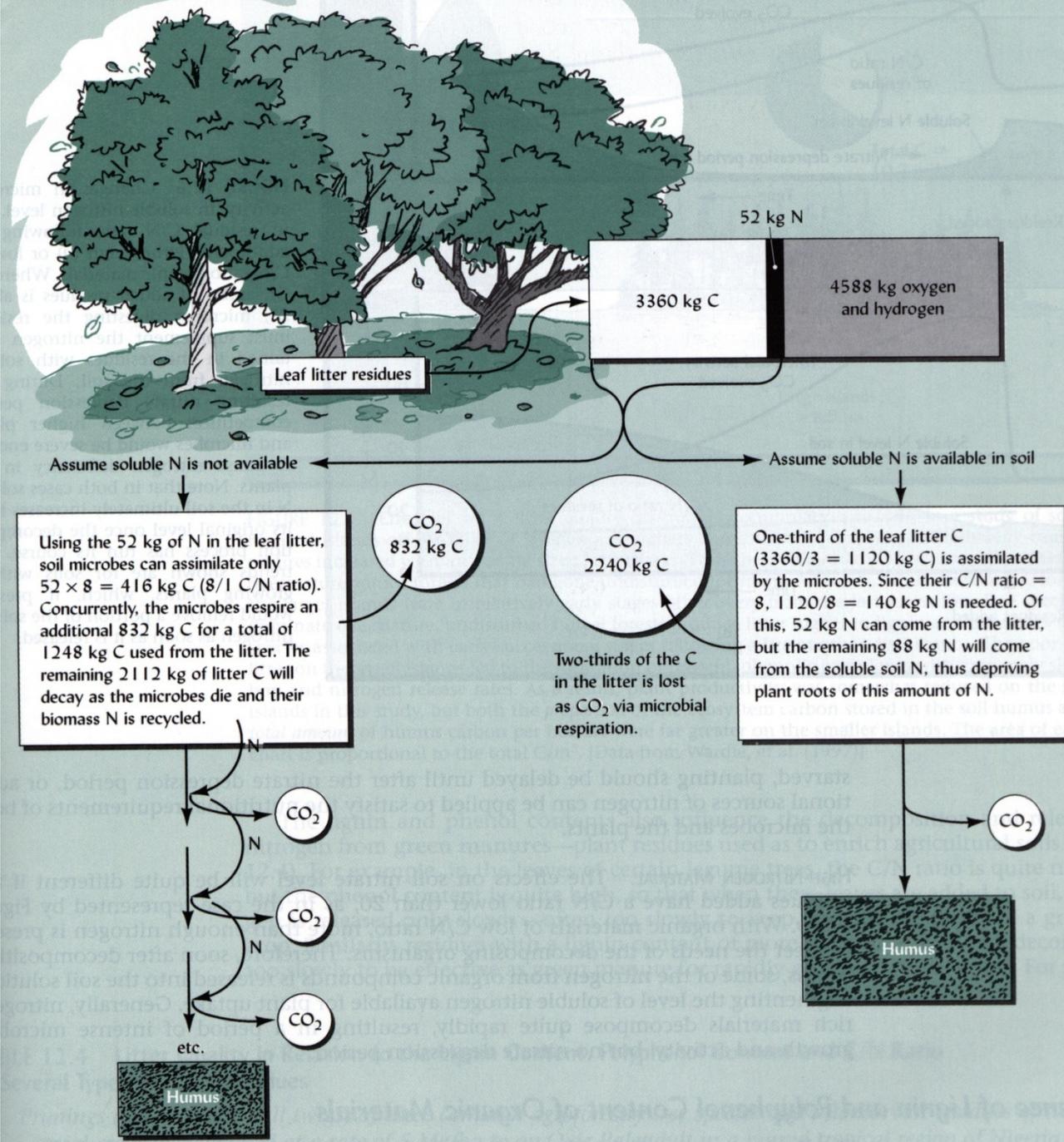


Cambios generales que ocurren cuando residuos frescos son adicionados al suelo.

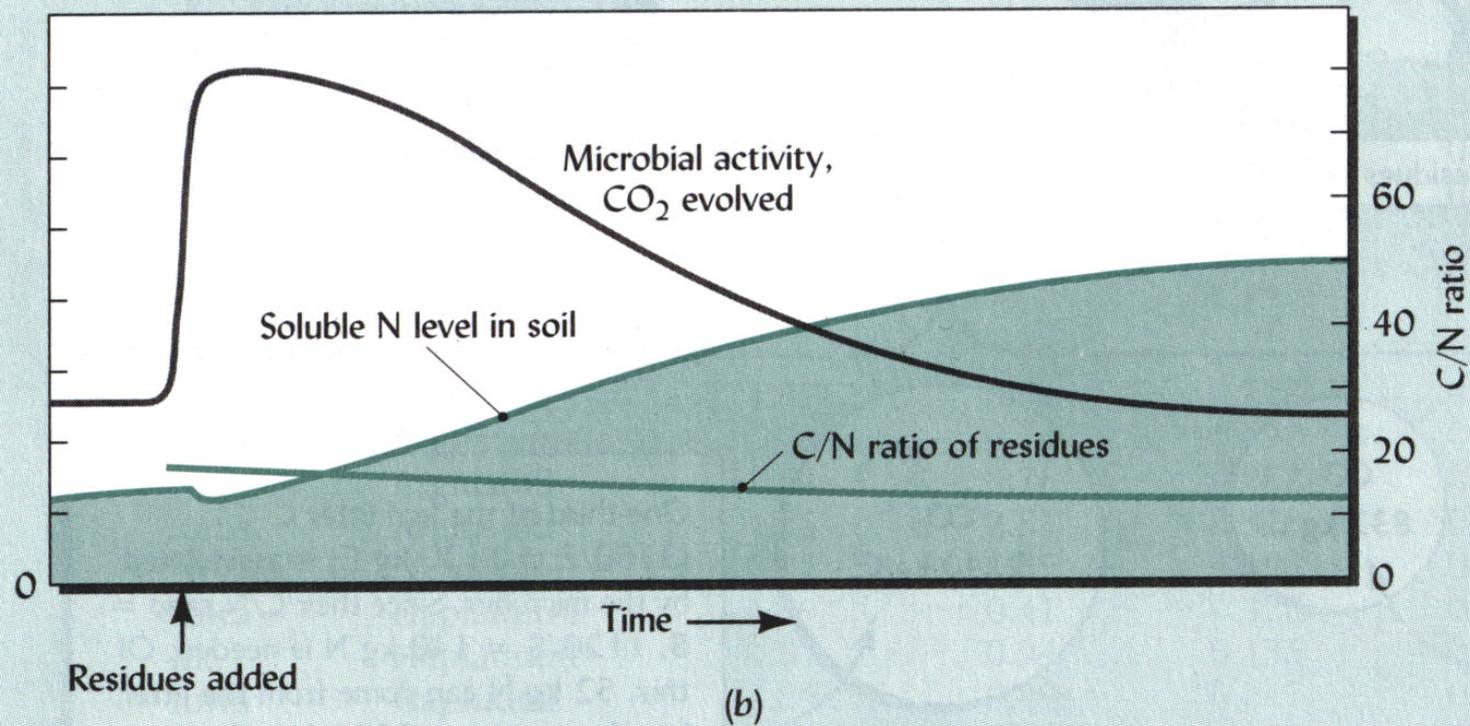
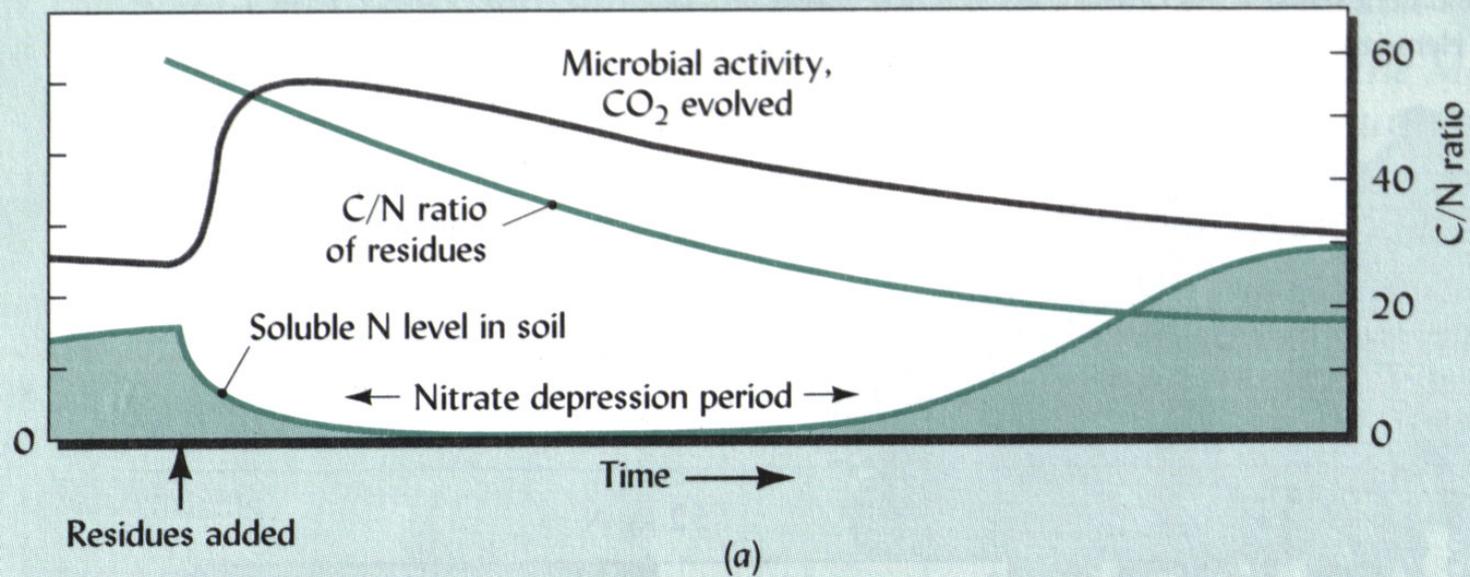
Las líneas indican transferencia de carbono entre los compartimentos. El tiempo requerido para este proceso dependerá del tipo de residuo, las condiciones climáticas del suelo y del tipo de suelo.



Leaf litter residues weighing 8000 kg/ha dry and containing 42% C and 0.63% N are added to the soil, giving the amounts of C, N and other elements shown. The C/N ratio is  $42/0.63 = 65/1$ .



Ejemplo de la descomposición de la materia orgánica en un suelo forestal.



Efecto de residuos con distinta relación C/N en la actividad microbiana y en el contenido de nitrógeno en el suelo.

# Clasificación de las sustancias húmicas o del humus del suelo

## Clasificación morfogenética:

Los residuos orgánicos pueden estar presentes en tres diferentes formas sobre el suelo mineral.

**L capa de litter:** capa de residuos orgánicos frescos posibles de identificar.

**F capa de fermentación:** Capa de descomposición activa. Los residuos orgánicos son difíciles de identificar y están parcialmente descompuestos.

**H capa de humificación:** Materia orgánica humificada, los tejidos no son posibles de identificar.

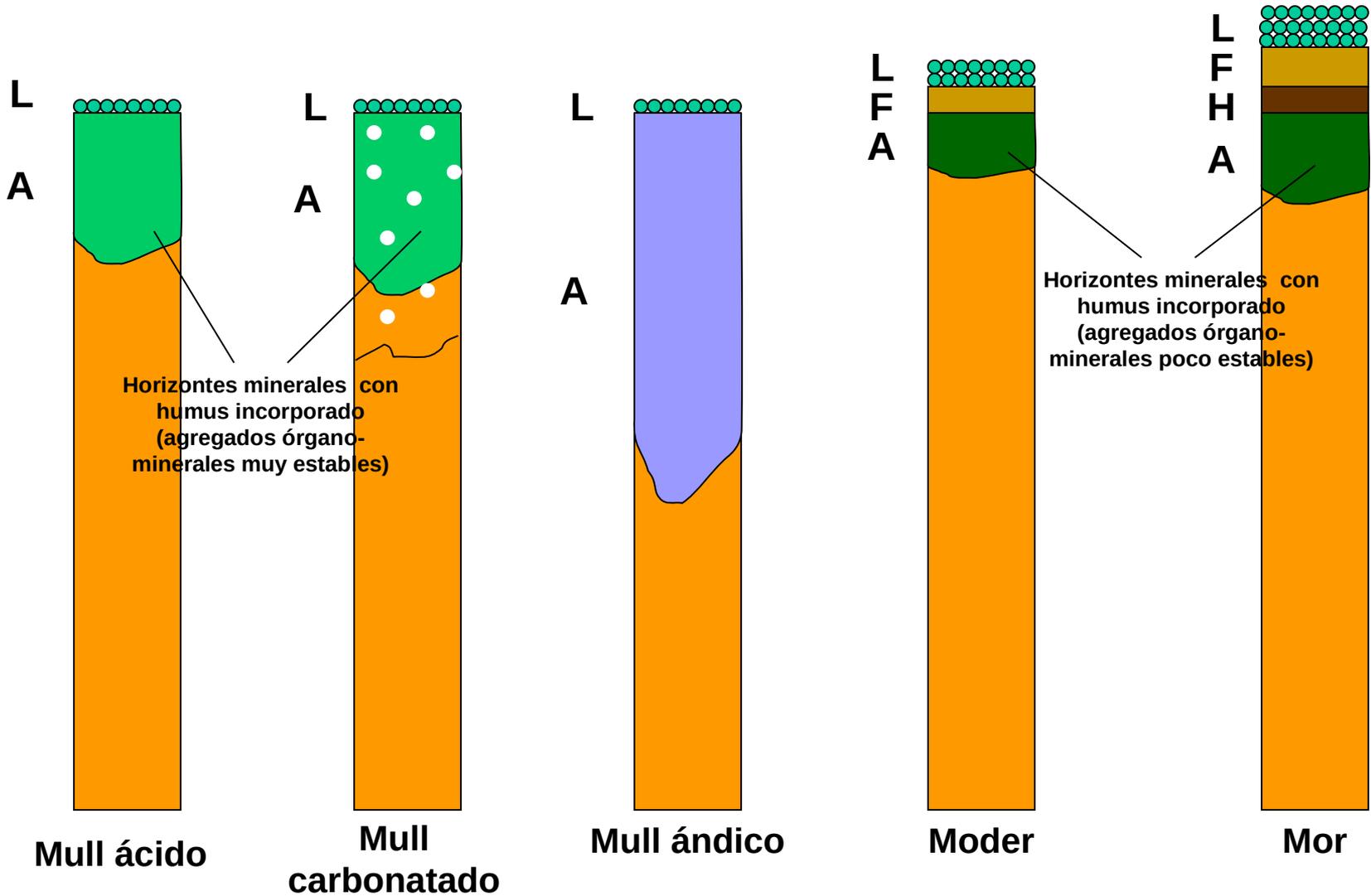
La presencia parcial o total de estas capas en un suelo dan origen a la clasificación morfogenética siguiente:

**Humus Mull:** Capas L presentes. Humus incorporado en el horizonte mineral A. Este tipo de humus se da en condiciones de pH neutro o alcalino, bajo bosques de especies caducifolias, con gran actividad biológica.

**Humus Moder:** Situaciones en que el pH del suelo es más ácido, lo que implica una menor actividad microbiana. Se generan las capas L y F . El humus está incorporado en el horizonte A.

**Humus Mor:** Suelos de alta acidez ( $\text{pH} < 5.5$ ), baja saturación de bases, vegetación de coníferas y material parental alto en Si. Población de organismos reducida lo cual incrementa el espesor de las capas orgánicas. Se presentan las tres capas L, F y H sobre el suelo mineral.

# LOS TIPOS DE HUMUS DE LAS FORMACIONES VEGETALES NATURALES SEGÚN LA CLASIFICACIÓN MORFOGENÉTICA



# Clasificación del humus de acuerdo a su composición química

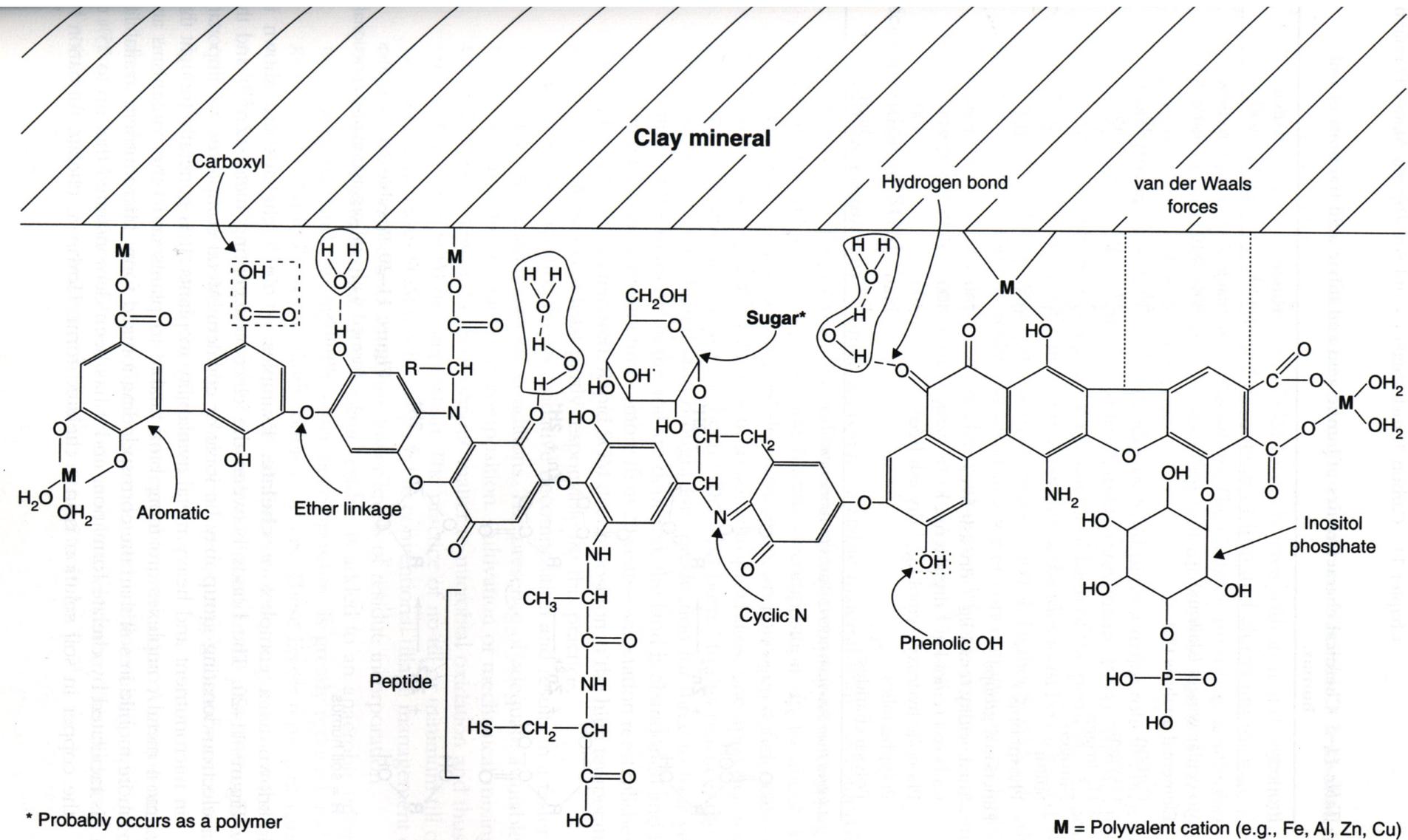
En forma tradicional, se definen tres fracciones de humus. Estas fracciones están basadas de acuerdo al método de aislamiento o extracción de estas sustancias.



**Extracción de compuestos húmicos con una solución acuosa alcalina y posterior aplicación de un ácido para disminuir drásticamente el pH de la solución.**



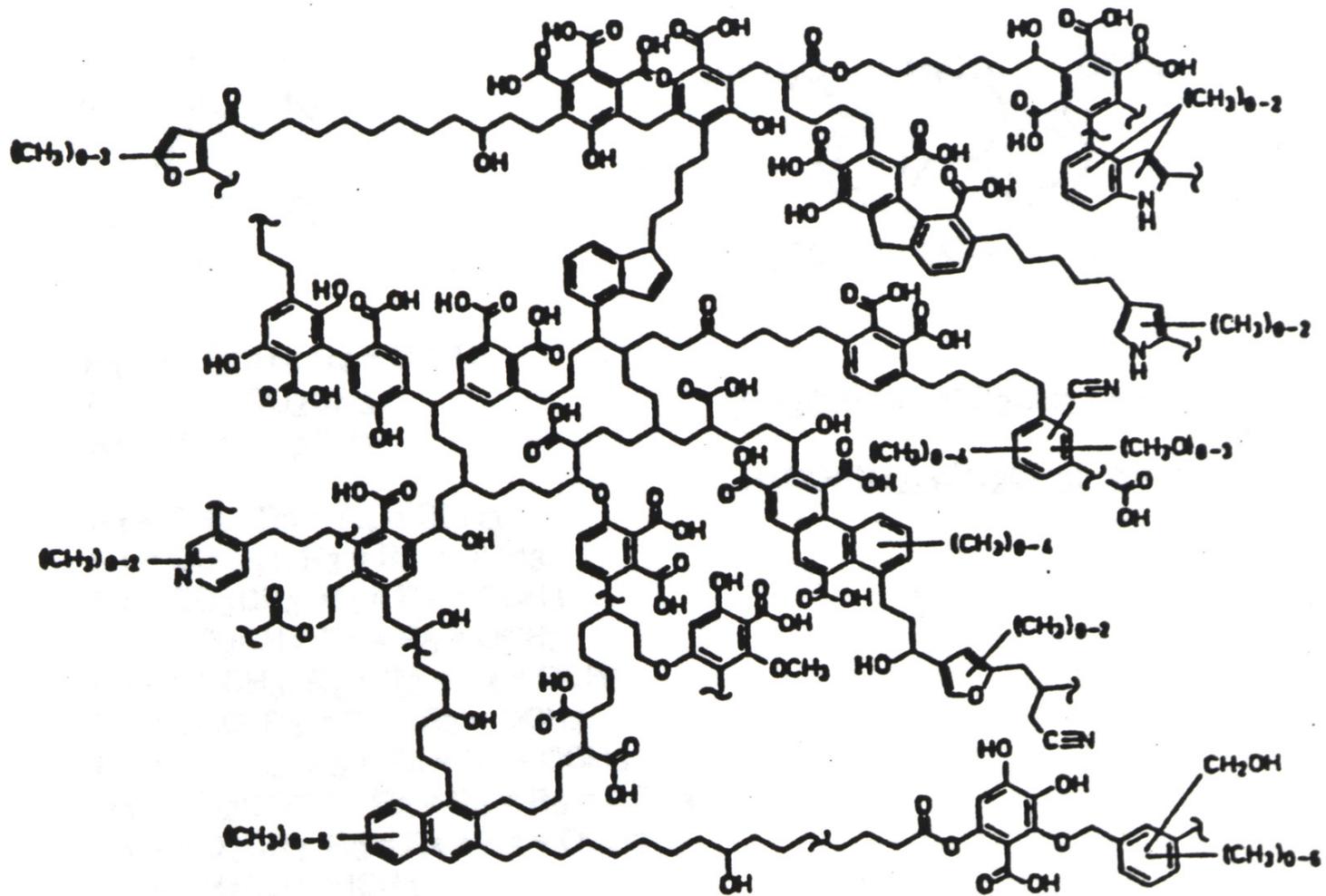
- Los actuales modelos relativos a la formación del humus establecen que los residuos de las plantas con altos contenidos de lignina son convertidos mayoritariamente en pools de humus químicamente estables. Mayor estabilización de estos compuestos humificados se debe a la asociación del humus con las arcillas y debido a la formación de complejos metálicos estables. Esta mayor estabilización genera grupos húmicos que pueden perdurar por aproximadamente 1000 años.
- En un contexto medioambiental, las sustancias húmicas interactúan con iones metálicos y compuestos no iónicos afectando fuertemente la movilidad de estos compuestos o elementos como contaminantes medioambientales.



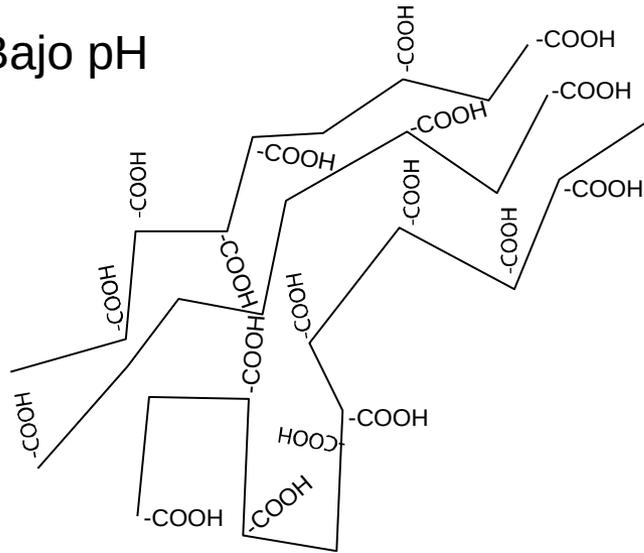
\* Probably occurs as a polymer

**Figure 11-19** Hypothetical model of a soil humus-clay complex. The mass of the structure shown represents about 2% of the total humus unit that would have a molecular weight of  $>10^5$ . Adapted with modifications from Stevenson and Ardakani (1972). Used with permission.

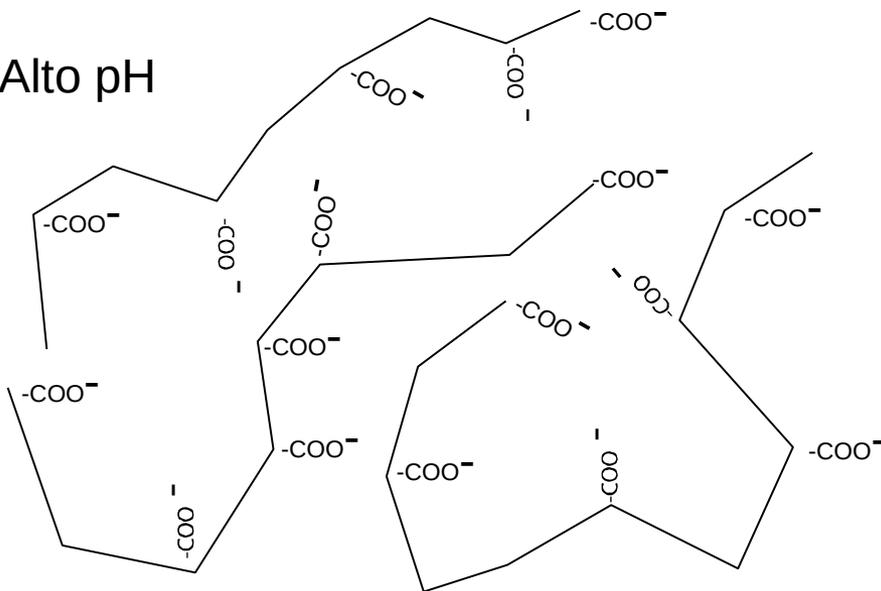
## Fórmula estructural tentativa de un ácido húmico



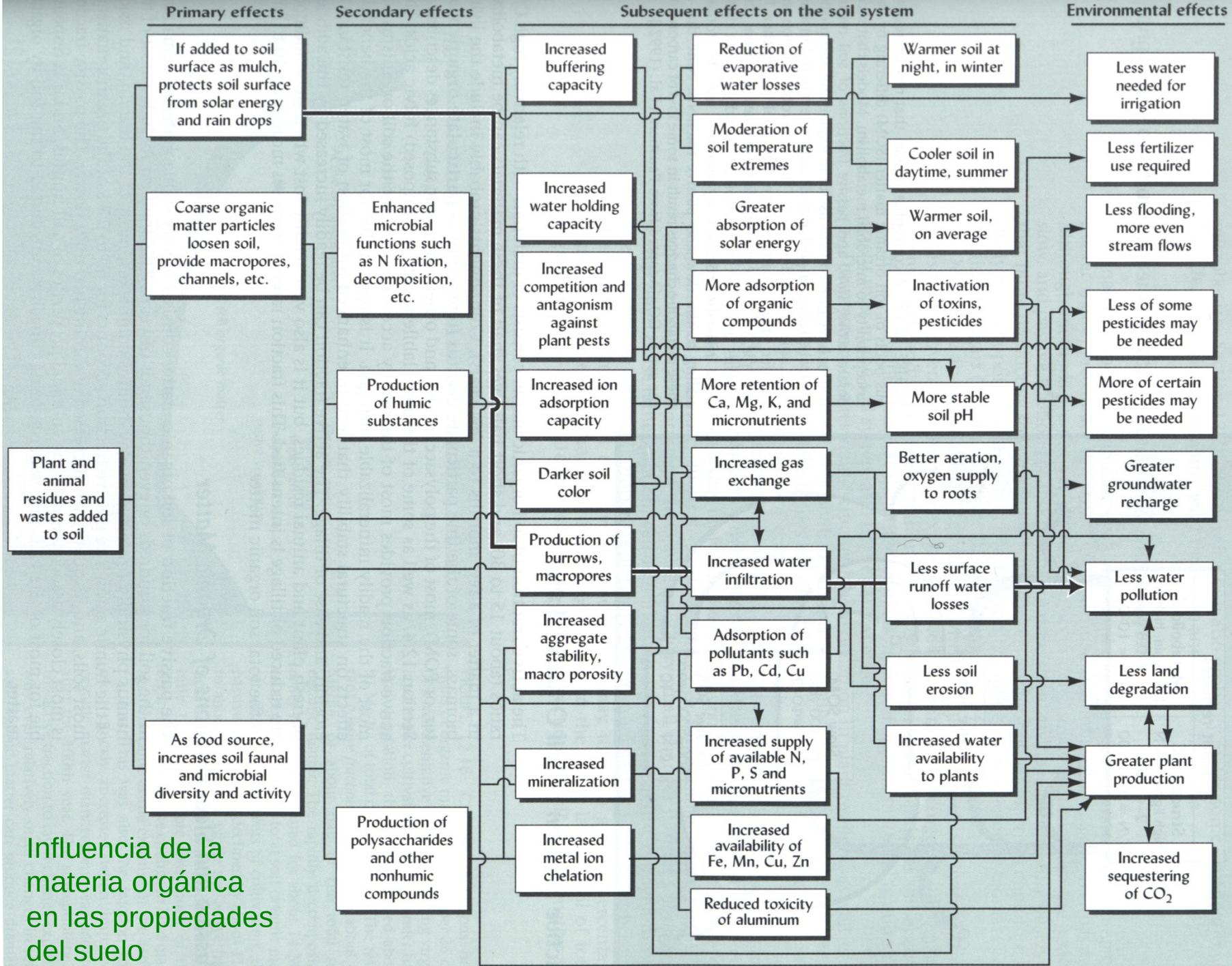
Bajo pH



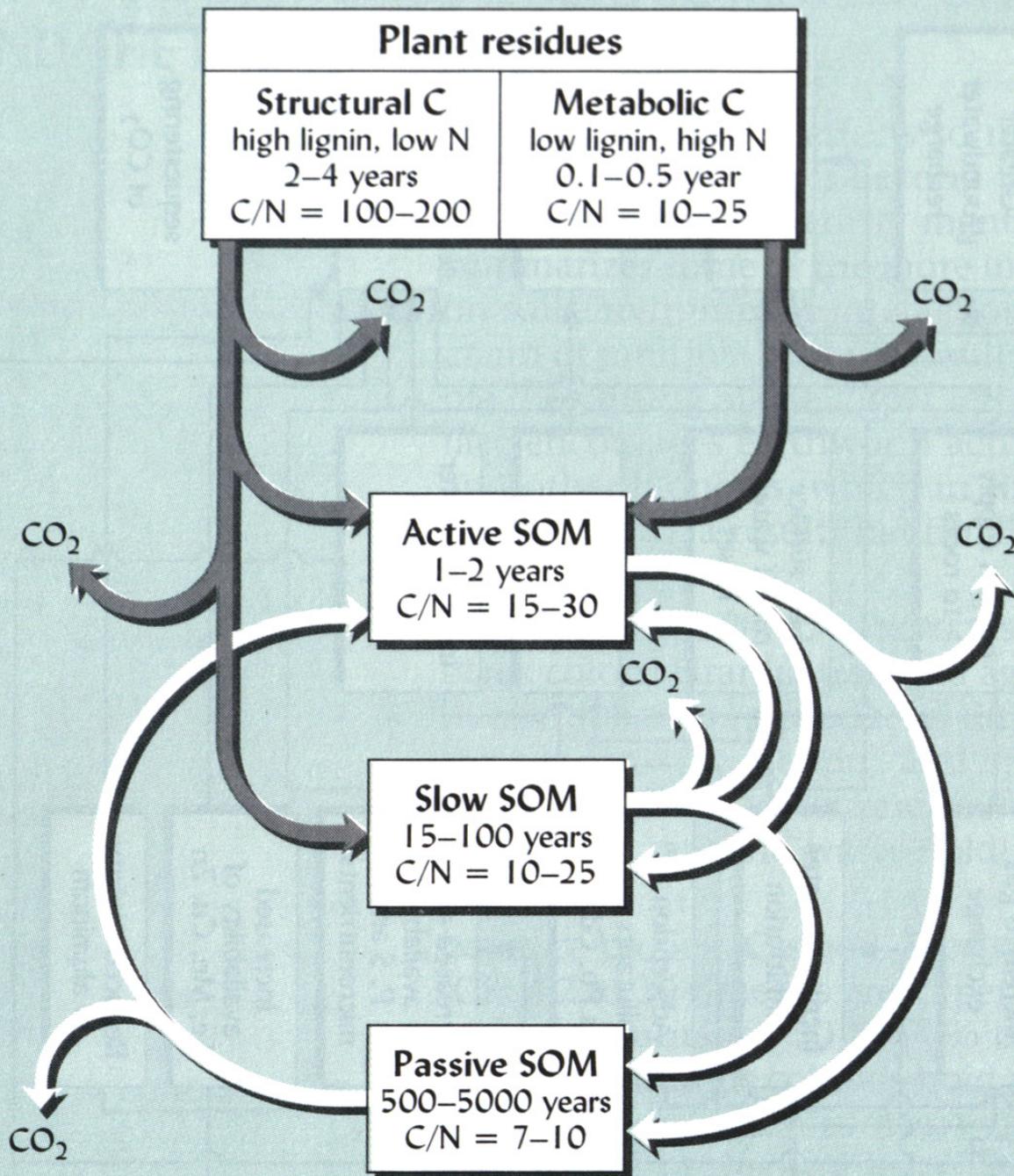
Alto pH



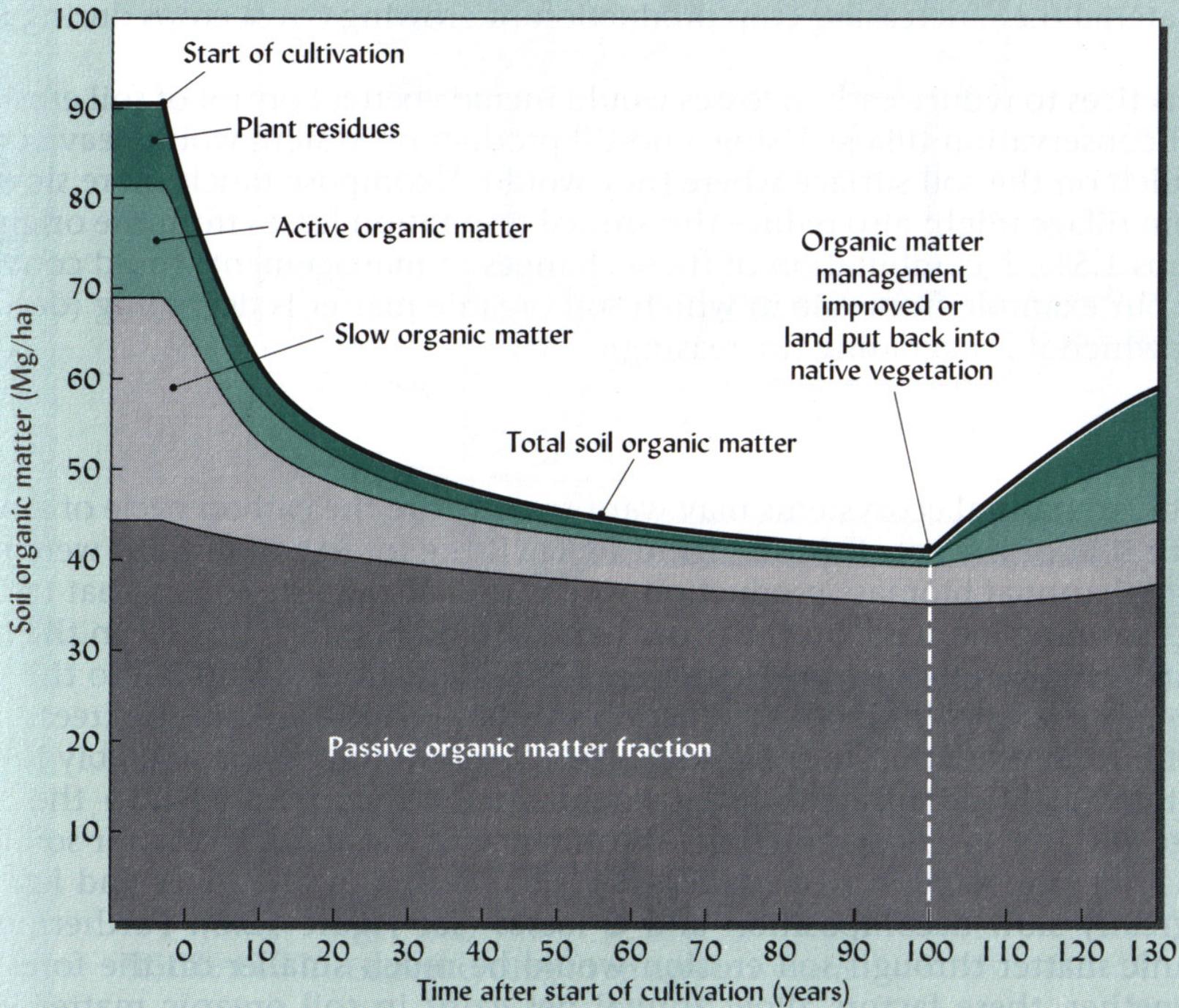
El humus presenta un gran número de grupos carboxílicos y fenólicos, los cuales presentan fenómenos de protonación y deprotonación (entrada y salida de iones H). Esto genera que la molécula orgánica pueda cambiar su forma. Con bajo pH, los iones hidrógeno tienden a formar puentes de hidrógeno, los cuales hacen que la molécula tenga una forma más enroscada. Con un pH más básico, se genera incluso repulsión entre los grupos COO<sup>-</sup>, por lo que la estructura molecular del humus se estira y presenta aún más sitios de intercambio catiónico.



Influencia de la materia orgánica en las propiedades del suelo

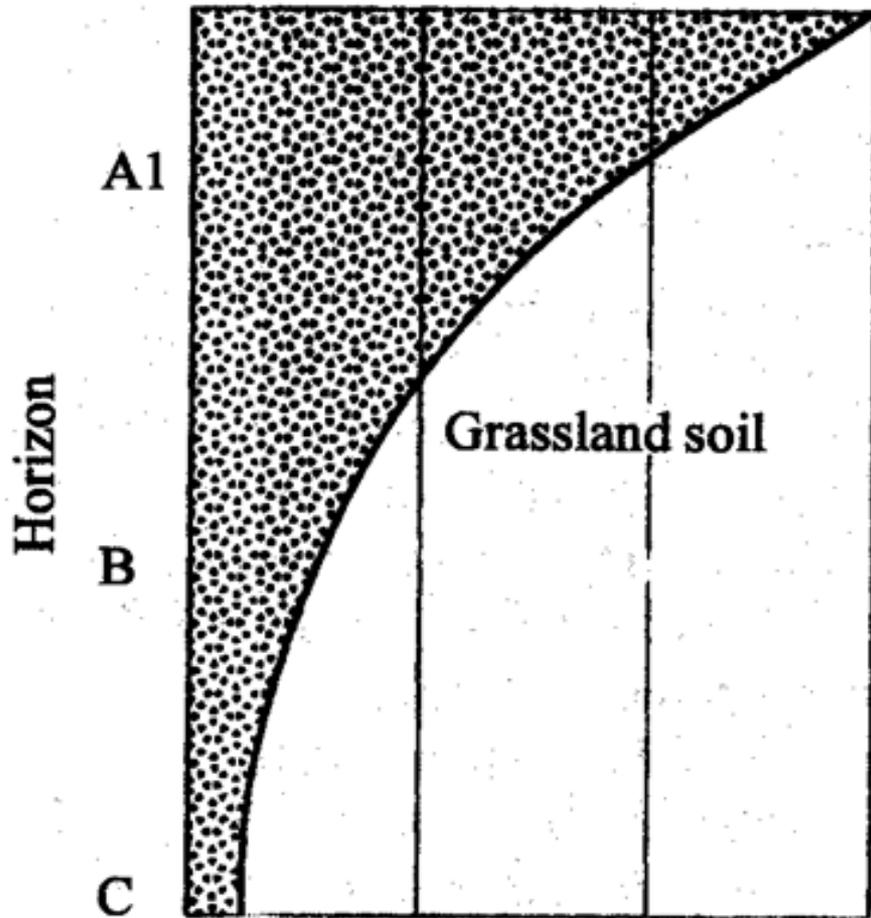


El concepto de materia orgánica del suelo pasiva, activa y de lenta descomposición

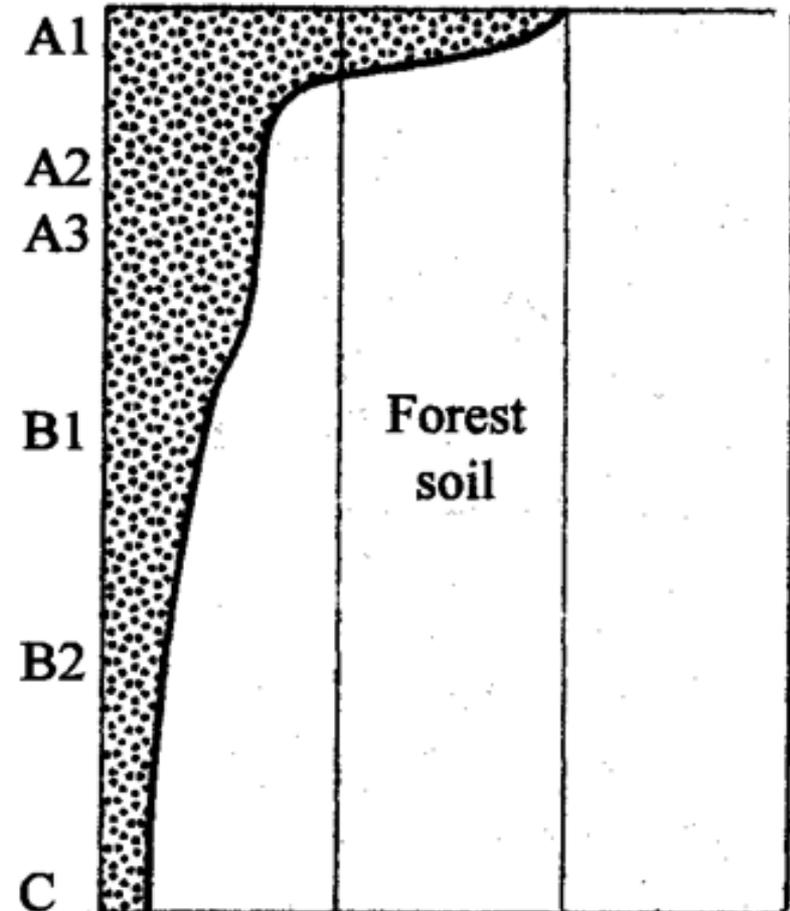


# Distribución de la materia orgánica en los suelos

Organic matter content



Organic matter content



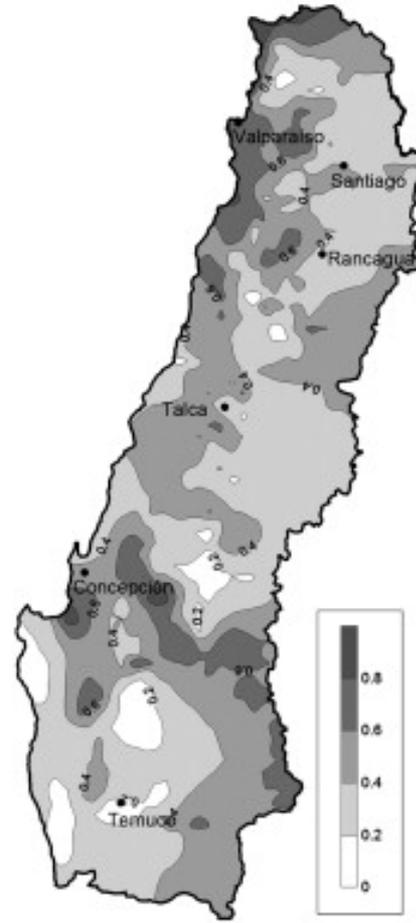
a) Clay content.



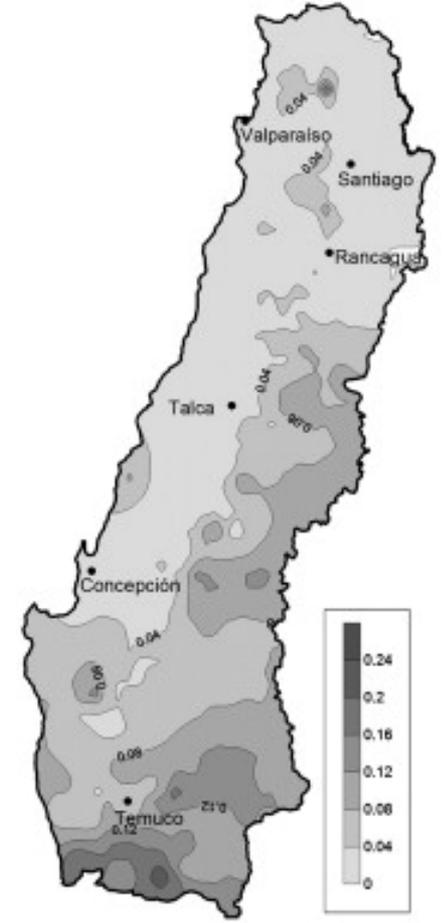
b) Silt content.



c) Sand content.



d) Organic matter content.



Distribución estimada de la materia orgánica del suelo (primeros 20 cm) en la zona Centro Sur de Chile. Los valores son expresados como fracción (i.e. 0.12 = 12% de materia orgánica [12 g materia orgánica por cada 100 g de suelo]).



Nivel original de la superficie del suelo

Septic tank

La descomposición acelerada de la materia orgánica producto del drenaje de tierras antes inundadas provoca la pérdida de suelo.