



Workshop **2025**

**Sembrando colaboración,
cosechando innovación**

DINÁMICA DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO CULTIVADO CON CAFÉ

Walter Osorio

Ingeniero Agrónomo (Univ. Nac. Col.-Medellín)

M.Sc. & Ph.D. Soil Sciences (Univ. Hawaii- Honolulu, USA)

Profesor titular Ciencias del Suelo

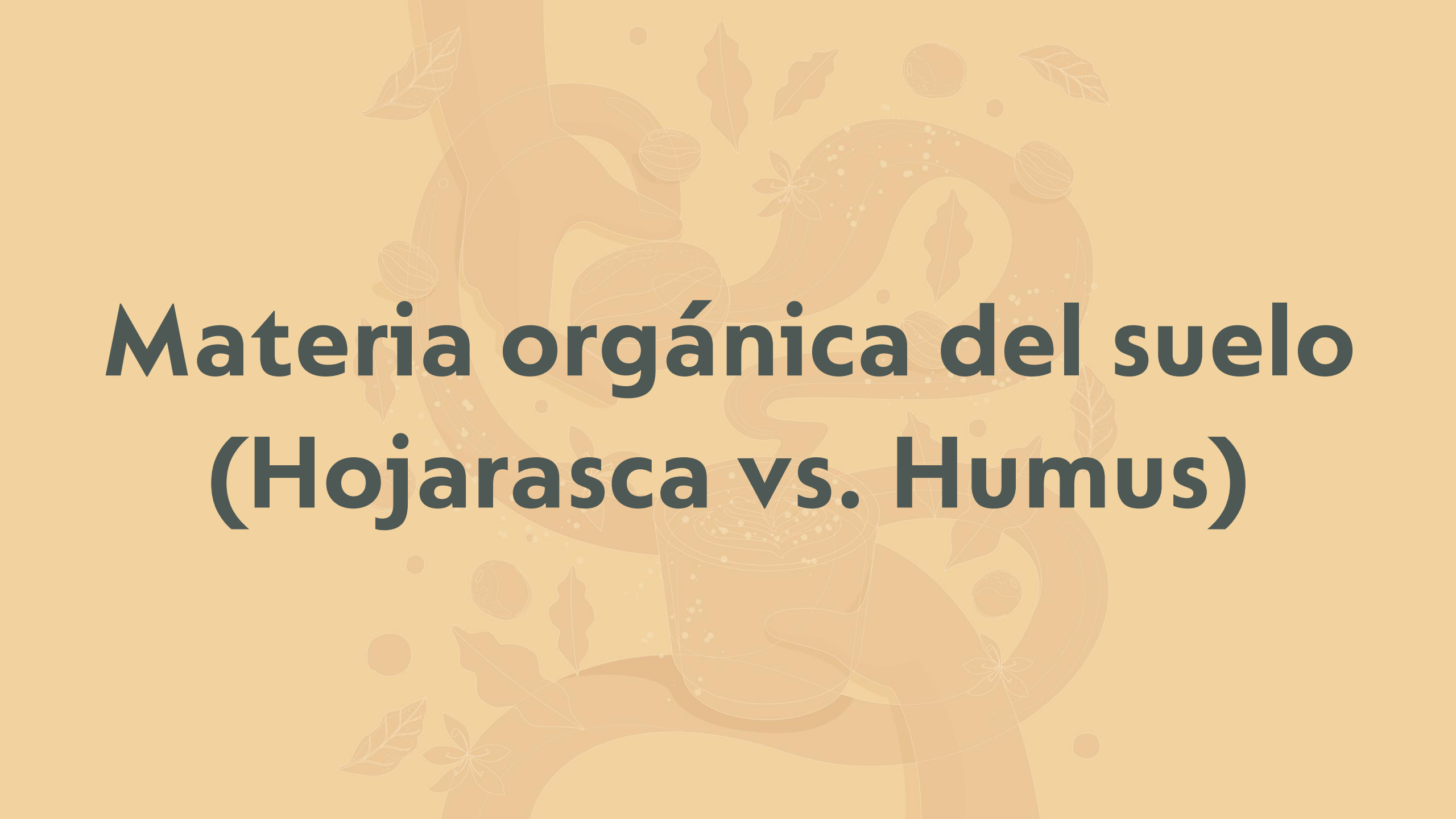
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Director- Fundador de Biofertilizar SAS- Lab Salud del Suelo

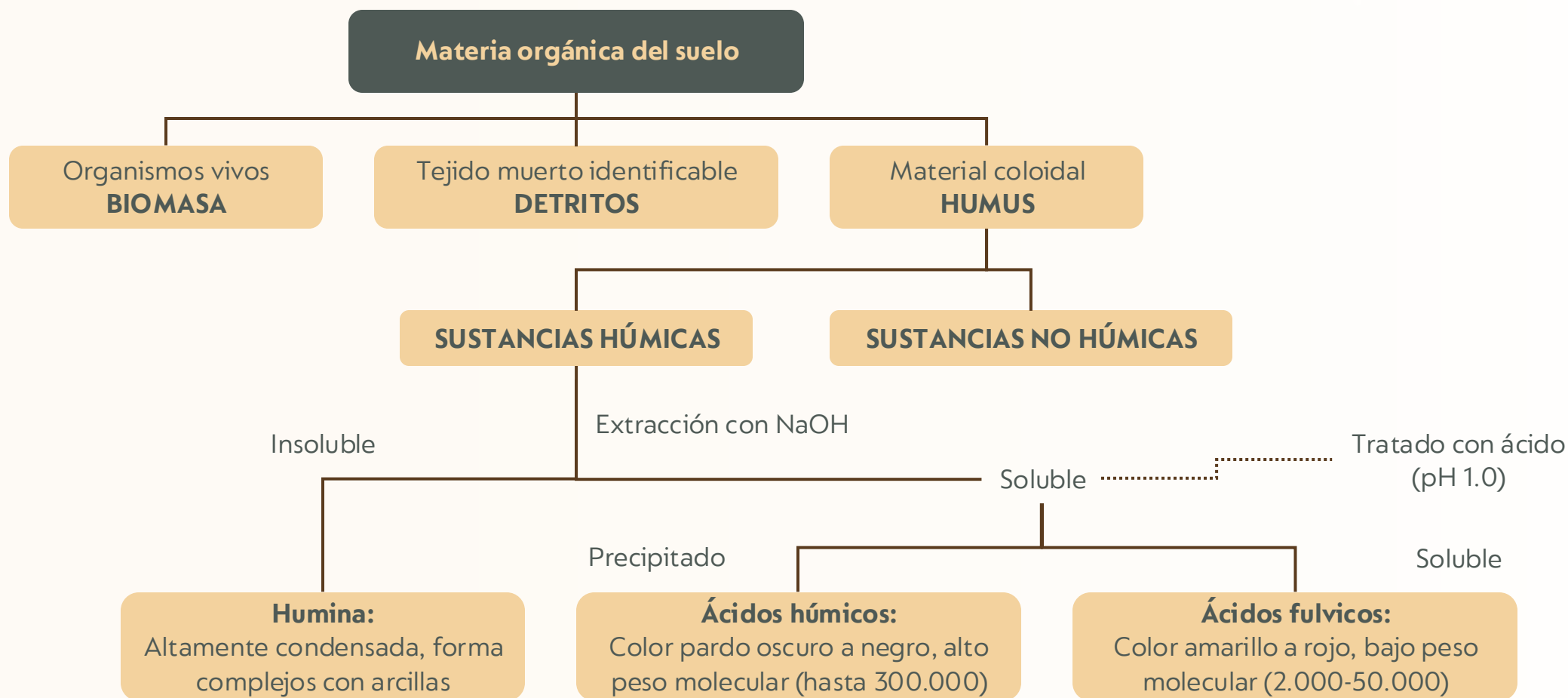
Director Grupo Investigación-Microbiología del Suelo



NESPRESSO

The background is a light beige color with a subtle, artistic illustration of soil organic matter. It features various elements like leaves, small flowers, and what appears to be a cross-section of soil with roots and organic particles, all rendered in a soft, painterly style. The text is centered over this background.

Materia orgánica del suelo (Hojarasca vs. Humus)



Distribución de la materia orgánica del suelo.
Fuente: Stevenson (1986).

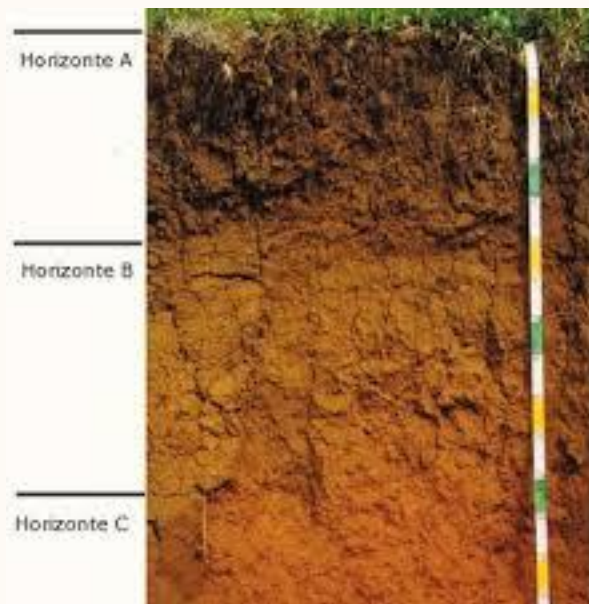
Distribución de la MO del suelo

- **Materia orgánica FRESCA –hojarasca en diferentes estados de descomposición**
 - Tasa de descomposición es variable, en función del tipo de hojarasca, especie vegetal y altitud:
 - **25-50%** clima frío (>2000 msnm)
 - **50-70%** clima medio (1500-1800 msnm)
 - **80-100%** clima cálido (<1000 msnm)
- **Materia orgánica HUMIFICADA –humus, estable a biodegradación**
 - Tasa de descomposición:
 - **0.1%** clima frío (Andisol 2400 m)
 - **1-2%** clima cálido (Entisol, Mollisol 320 m).
- **Materia orgánica VIVA – microorganismos del suelo (hongos, bacterias, ...)**



Hojarasca:

al descomponerse microbialmente libera nutrientes, produce CO_2 , mantiene activos los microorganismos del suelo; protege la superficie de la erosión, desecación, actúa como termoregulador, controla malezas, protege las raíces. Representa el **horizonte O** del perfil del suelo.



Humus:

coloidal, forma y estabiliza agregados (estructura del suelo), mejora retención de agua, aireación, porosidad; provee carga eléctrica negativa (CICE) y capacidad buffer del pH del suelo. Representa el horizonte A del perfil del suelo.



Horizonte O

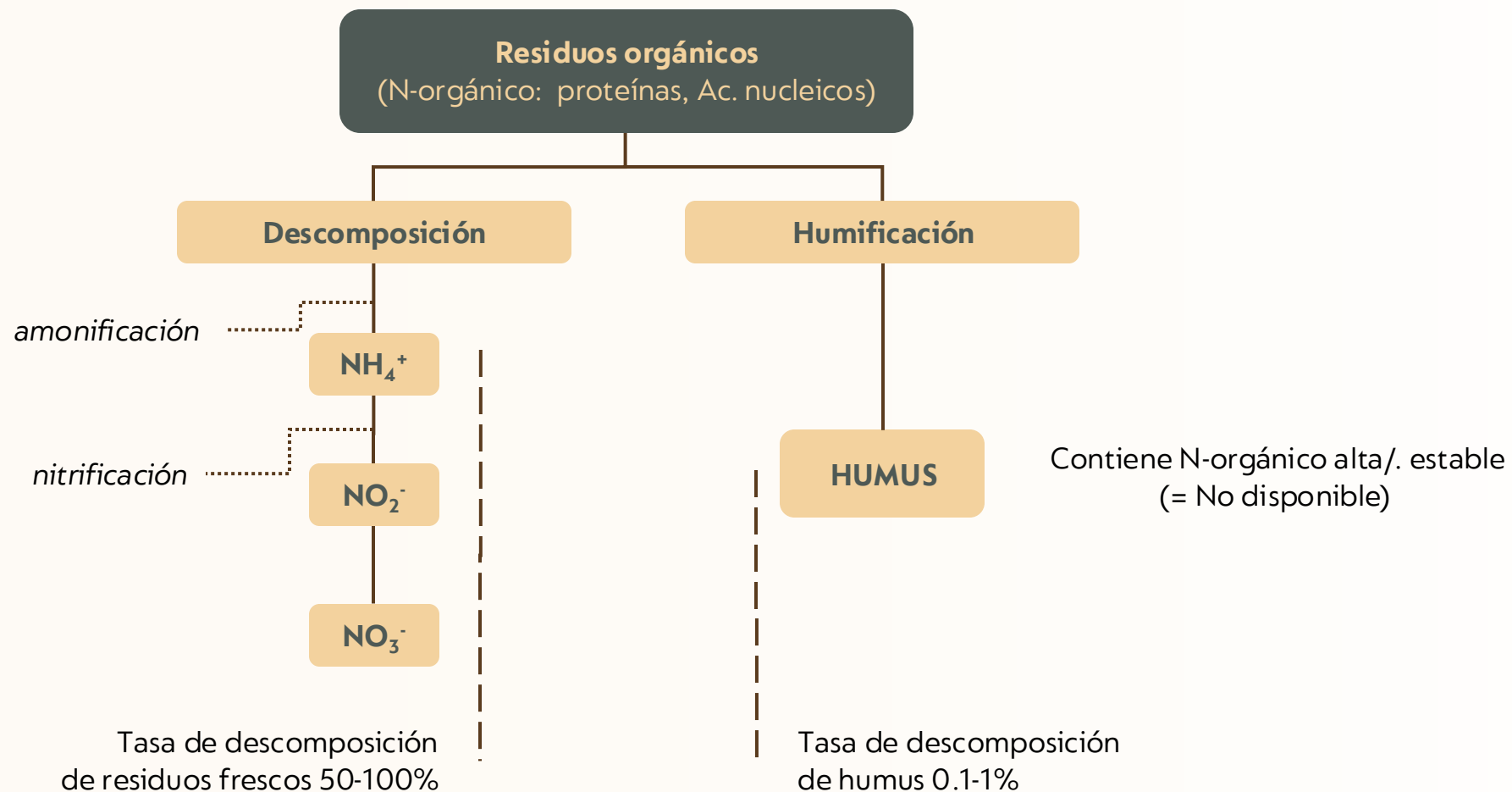
**Hojarasca
(100% MO)**



Horizonte A

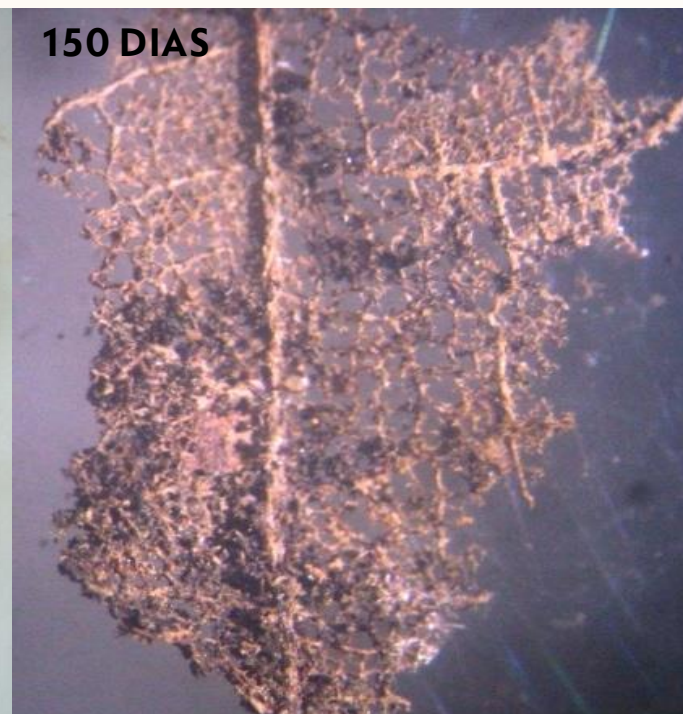
**Humus 1-30% MO
(Mineral 99-70)**

Descomposición (mineralización) vs. Humificación



The background features a light beige color with a subtle, artistic illustration. It includes a central coffee cup with a swirl of foam, surrounded by various coffee beans, some whole and some cracked open. There are also stylized leaves and small flowers scattered throughout the design, creating a warm and natural aesthetic.

Hojarasca, composición y descomposición



Descomposición de hojarasca en
sistemas silvopastoriles (Montería).
Tesis Ph.D., J. Martínez

0 días

187 días

233 días

**Bolsas de
descomposición
de hojarasca**

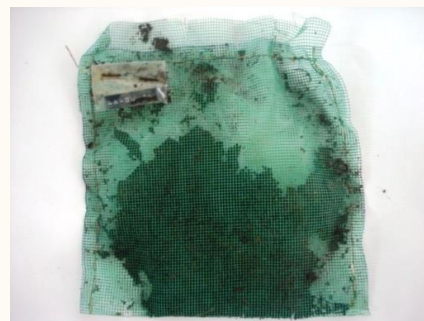




Figura 3. Izquierda, esquema de la trampa de follaje para recolección de material orgánico; derecha, trampa ubicada en el cafetal.

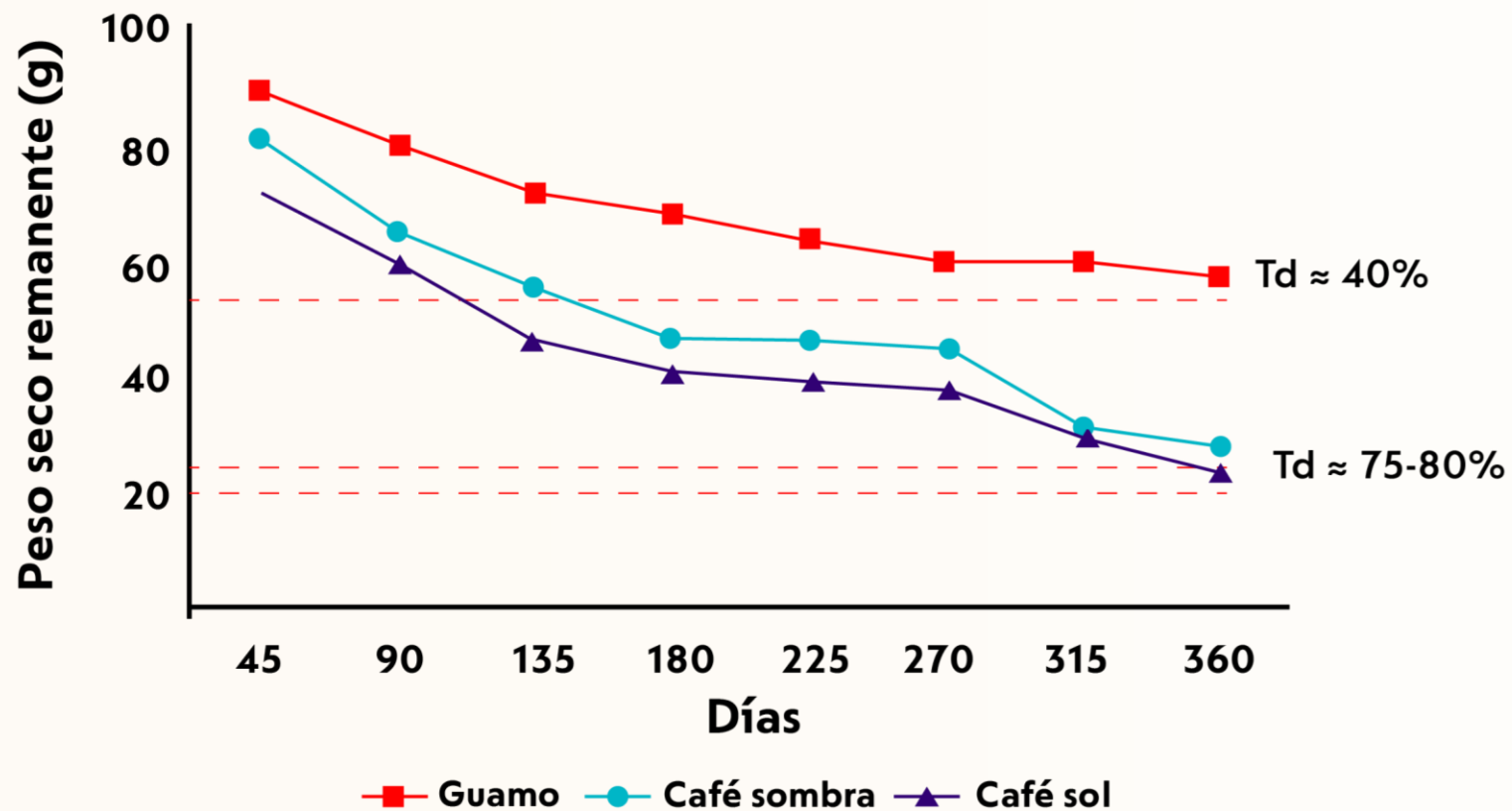


Figura 4. a) Ubicación de las bolsas para evaluar la descomposición del material vegetal dentro del cafetal; b) Bolsa ubicada en el lote.

Tabla 3. Peso seco del material orgánico ingresado en cada sistema evaluado.

Localidad	Café bajo sombrío (ton/ha/año)	Café a libre exposición solar (ton/ha/año)
Chinchiná	10,5	4,2
El Cairo	11,2	4,6

El Cairo



Cardona y Sadeghian (2005). Aporte de material orgánico y nutrientes en cafetales al sol y bajo sombrío de guamo. Avance Técnicos de Cenicafé 334.

Retorno anual de nutrientes en el material orgánico en un cafetal del El Cairo (Valle)

Nutriente	Cafetal bajo sombra (kg/ha año)	Cafetal a libre exposición (kg/ha año)
N	219	98
P	14	9
K	56	55
Ca	187	78
Mg	31	15
Fe	1,2	0,7
Mn	2,3	1,2
Zn	0,19	0,08

Cardona y Sadeghian (2005). Aporte de material orgánico y nutrientes en cafetales al sol y bajo sombrío de guamo. Avance Técnicos de Cenicafé 334.

Cálculos sobre liberación de N a partir de hojarasca

Guamo:

Hojarasca suelo (kg/ha) x Concentración de N en la hojarasca x tasa de descomposición

11.000 kg/

3%

+/- 40 %

$$\frac{11.000 \text{ kg hojarasca}}{\text{ha}} \times \frac{3 \text{ kg N}}{100 \text{ kg hojarasca}} \times 50\% = \frac{132 \text{ kg N}}{\text{ha}}$$

Café:

Hojarasca suelo (kg/ha) x Concentración de N en la hojarasca x tasa de descomposición

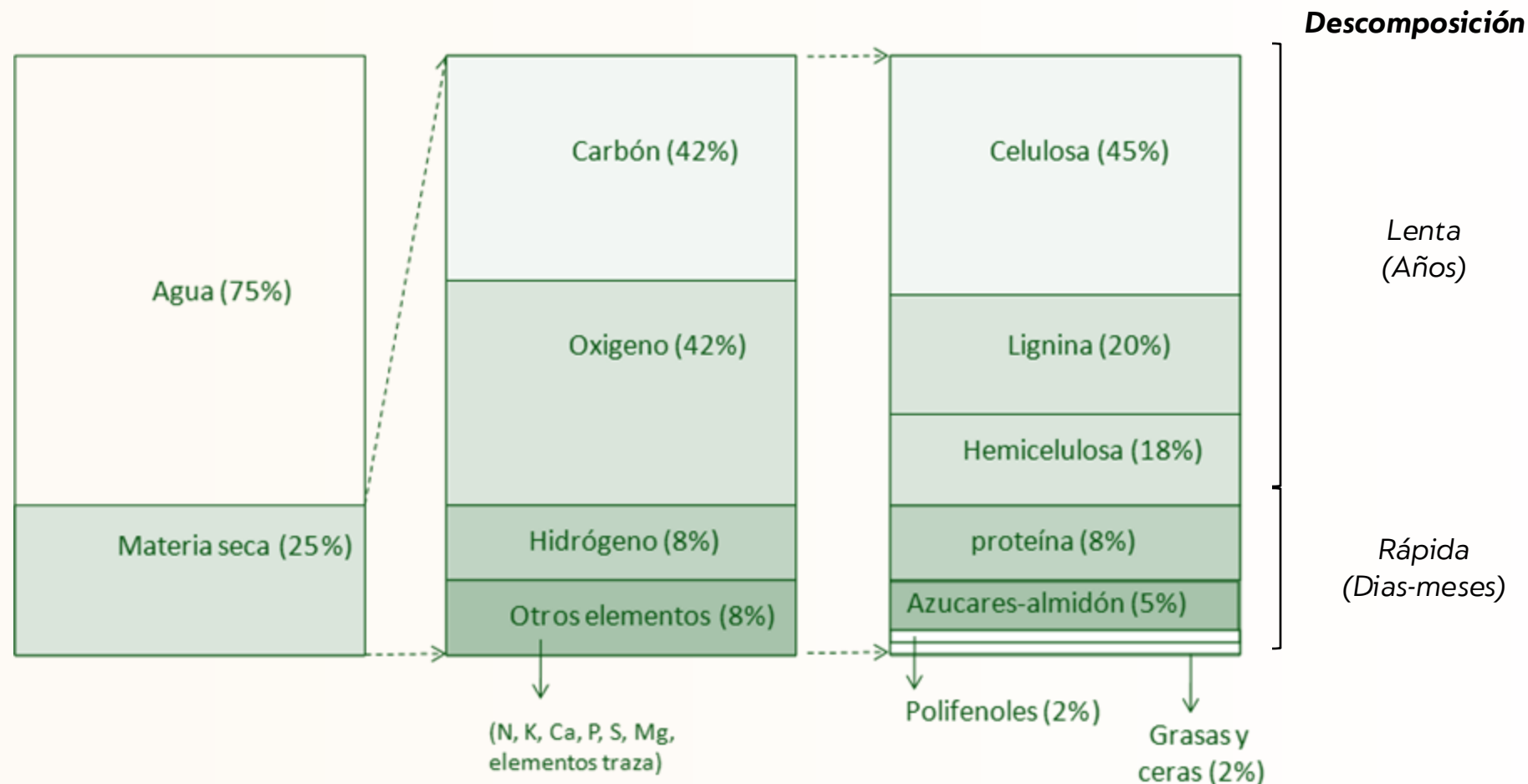
4.000 kg/

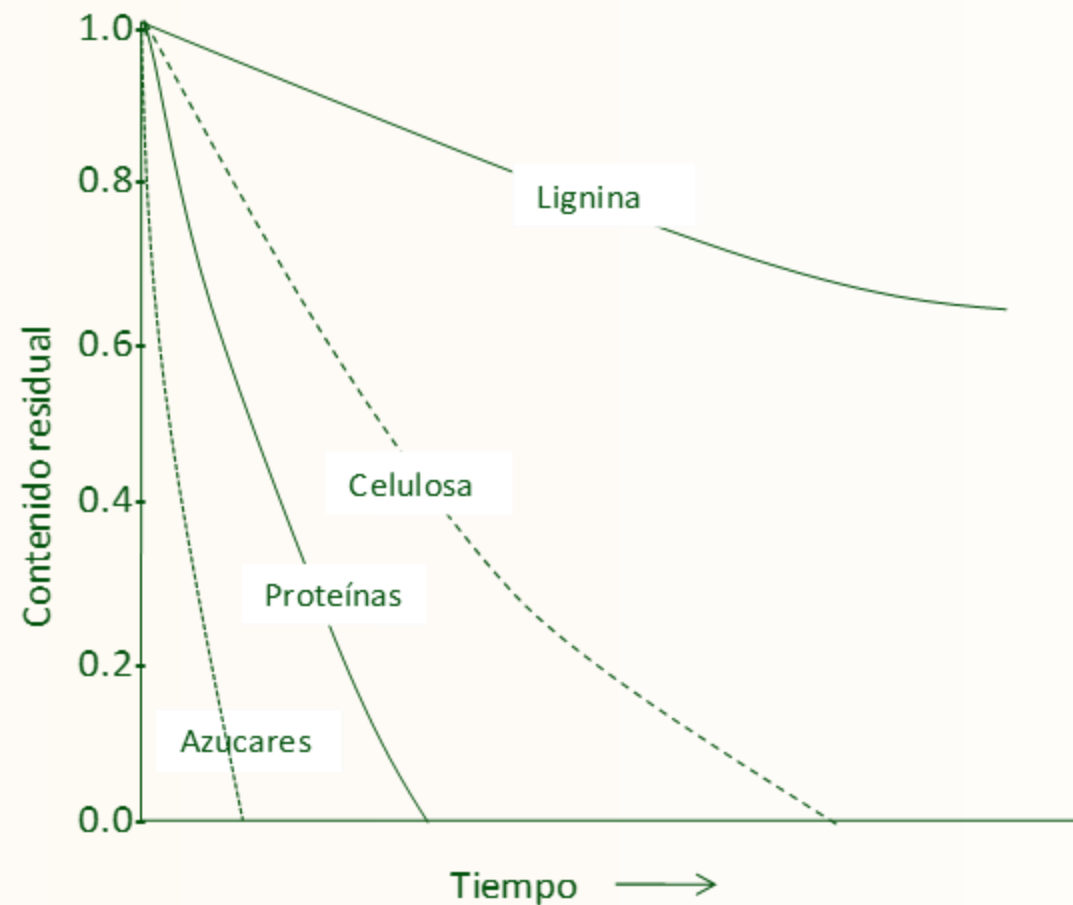
2%

+/- 75 %

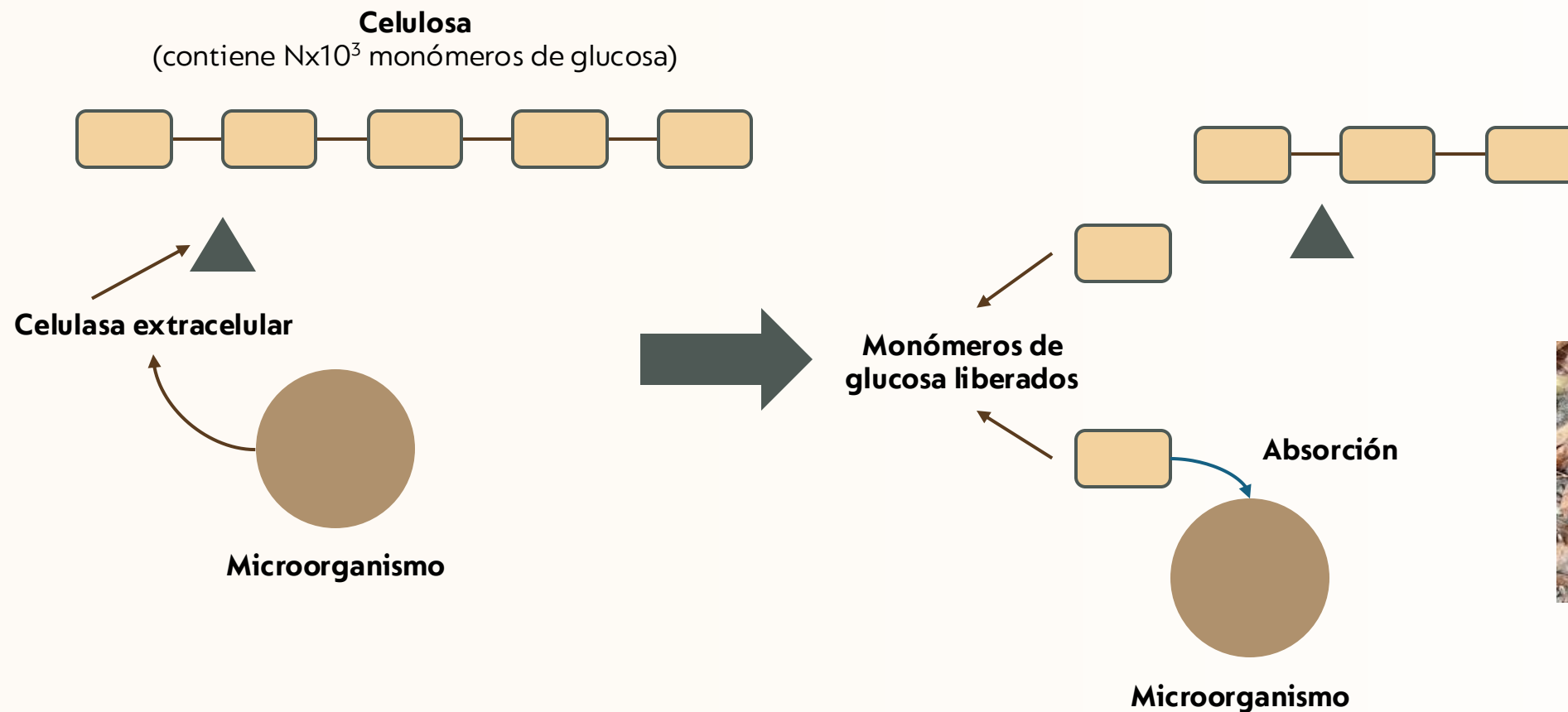
$$\frac{4.000 \text{ kg hojarasca}}{\text{ha}} \times \frac{2 \text{ kg N}}{100 \text{ kg hojarasca}} \times 75\% = \frac{60 \text{ kg N}}{\text{ha}}$$

Composición de la hojarasca



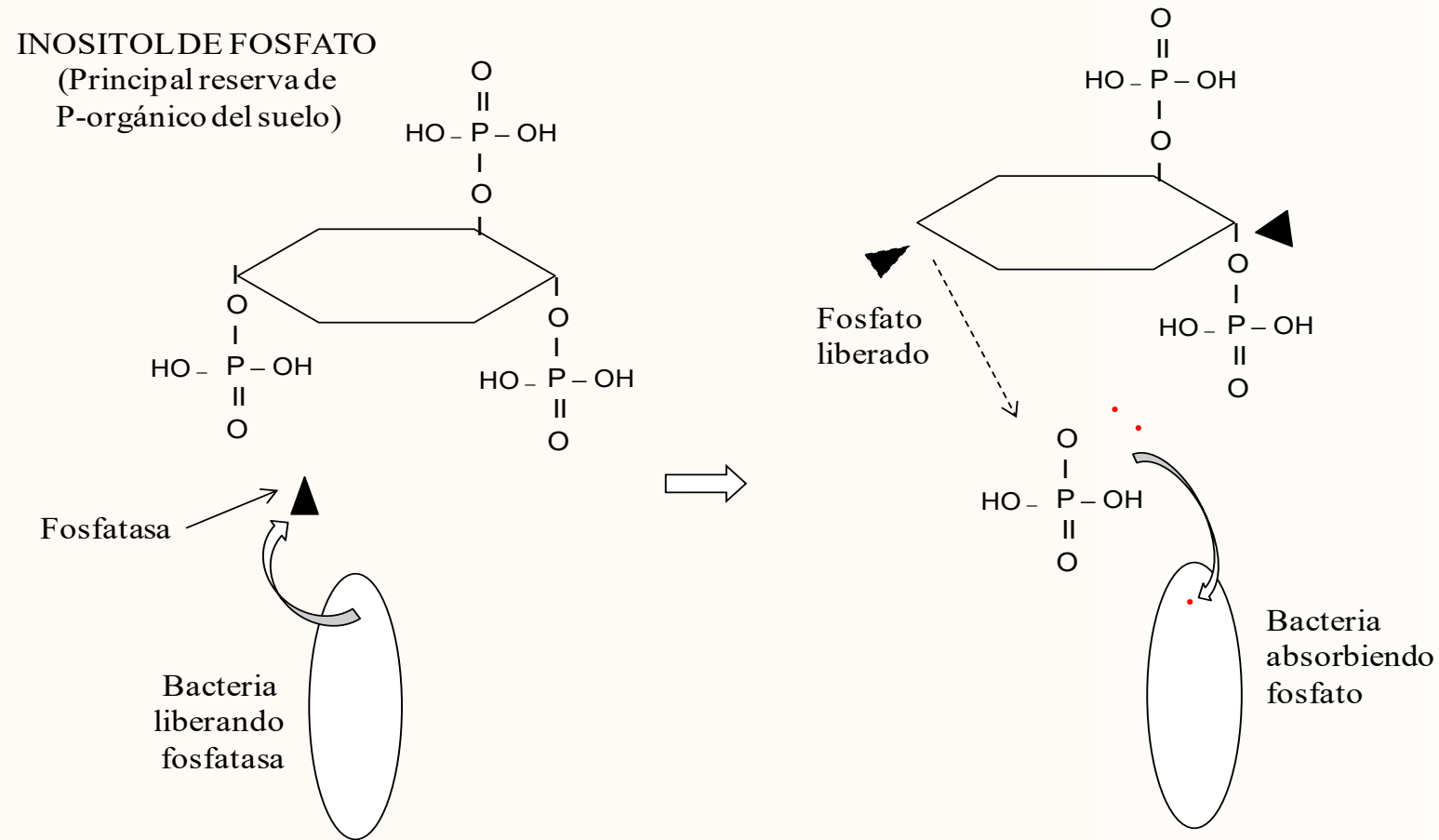


Contenido residual de diferentes compuestos orgánicos en la hojarasca a través del tiempo de descomposición. Los valores son expresados en términos de la concentración inicial. Fuente: Wagner y Wolf (1999).

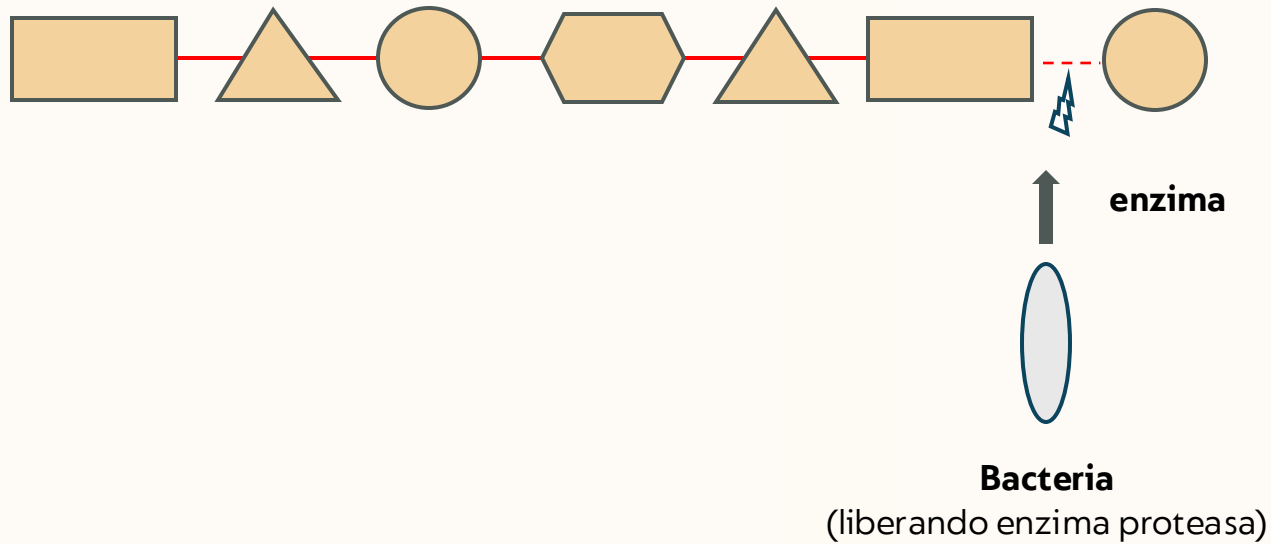


Celulosa: polímero de glucosa, con el mismo enlace.

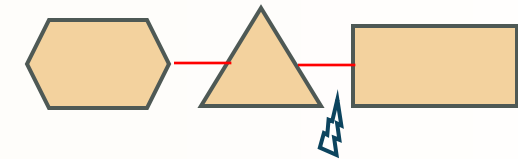
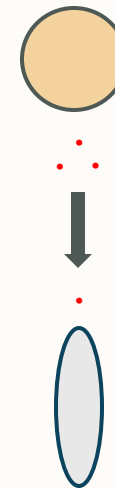
Actividad de la enzima celulasa de un microorganismo sobre la **celulosa** para liberar los monómeros de glucosa.



Actividad de la enzima fosfatasa sobre el inositol de fosfato para liberar iones fosfato. Ambos compuestos liberados son idealmente absorbidos por los microorganismos.



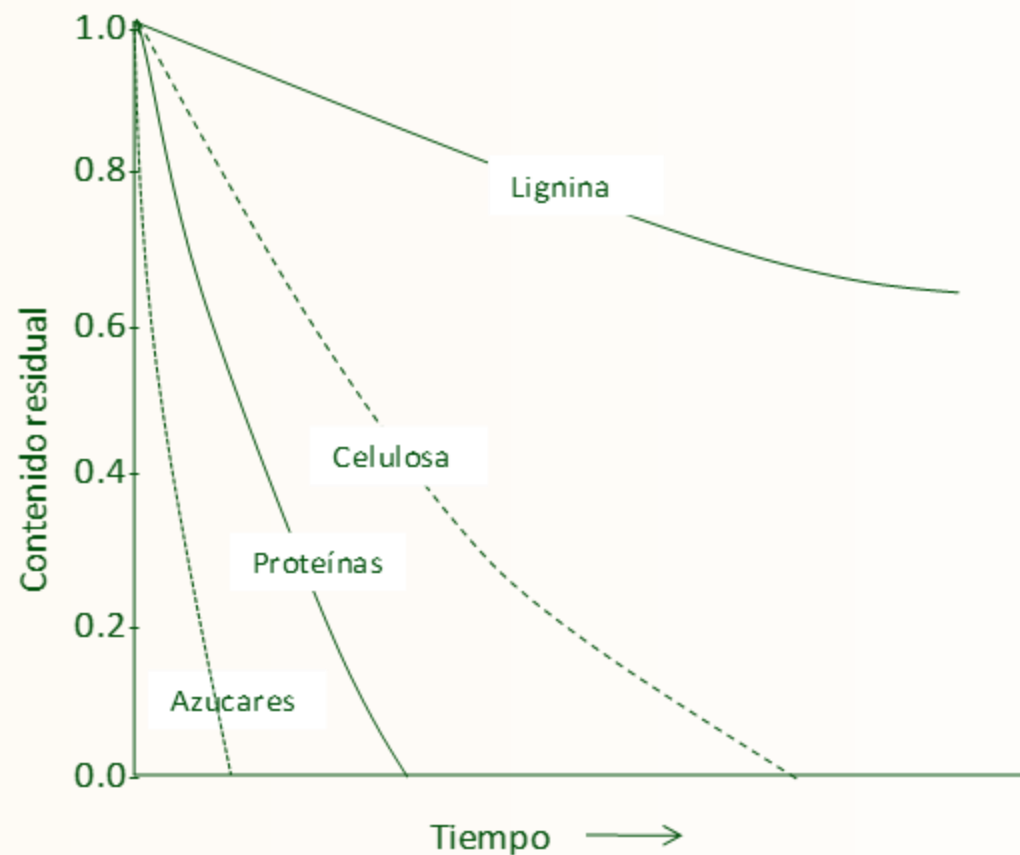
Aminoácido libre



Luego, la enzima queda libre para continuar con el siguiente enlace

Al romper el enlace se libera un aminoácido, este puede ser usado por la bacteria

Actividad de la enzima proteasa sobre proteínas para liberar aminoácidos que luego de liberados son idealmente absorbidos por los microorganismos. La proteína contiene aminoácidos diferentes, pero todo se unen a través del mismo tipo de enlace (péptido, -):

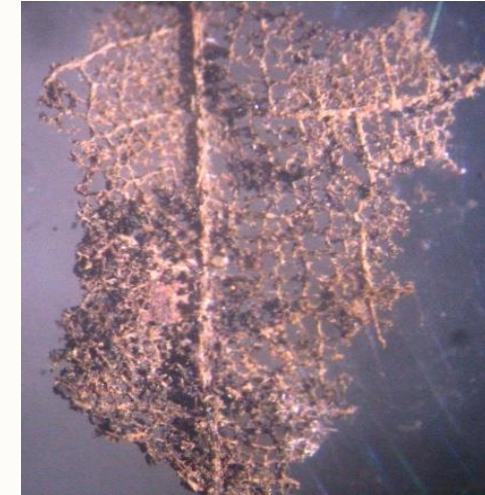
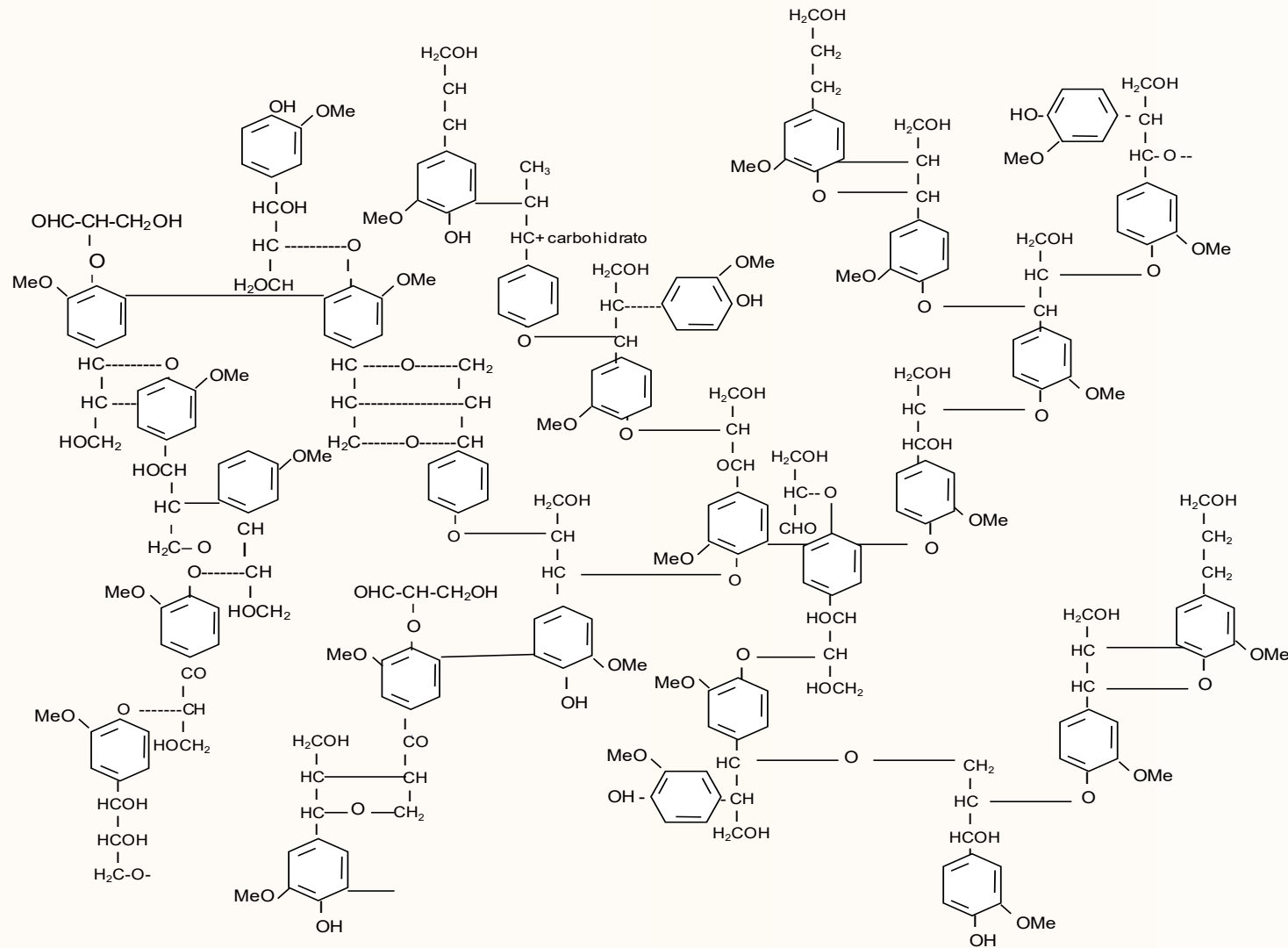


Contenido residual de diferentes compuestos orgánicos en la hojarasca a través del tiempo de descomposición. Los valores son expresados en términos de la concentración inicial. Fuente: Wagner y Wolf (1999).



Workshop 2025

Sembrando colaboración,
cosechando innovación



Estructura parcial de la lignina. **Note los diferentes enlaces** y arreglos de las unidades ente sí.
Me = catión polivalente. Dibujos N.W. Osorio a partir de Stevenson (1986).

Que controla la descomposición de la hojarasca

- Calidad del material orgánica (relación C/N): $<20/1$
- Altitud (temperatura): $>20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- pH suelo (5.5-6.0)
- Presencia de Al: inhibidor ($>0.5\text{-}1.0\text{ cmolc/kg}$)
- Disponibilidad de P (P Bray II $>10\text{ mg/kg}$)



Efectos de la pulpa compostada

Efecto de la aplicación de pulpa de café sobre la fertilidad del suelo.II. (Posada, C. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia)

- Almacigo de café
- Suelo= unidad suroeste
(Typic Dystrudept)
- Suelo:Compost pulpa (3:1, V:V)
- Crecimiento plantas (6 meses)



Posada, C. y N.W. Osorio. 2003. Respuesta del café c.v. Colombia a la fertilización foliar y la aplicación de pulpa de café compostada. Revista Facultad Nacional de Agronomía

Efecto de la aplicación de pulpa de café sobre la fertilidad del suelo.II.

Tratamiento	pH	M.O. (%)	P-Bray II (mg·kg ⁻¹)	Al (cmol _c ·kg ⁻¹)	Sat.Al (%)
Suelo (control)	5.0	4.6	1	3.1	47.4
Suelo+Compost pulpa	4.9	10.1	14	0.9	7.3

Posada, C. y N.W. Osorio. 2003. Respuesta del café c.v. Colombia a la fertilización foliar y la aplicación de pulpa de café compostada. Revista Facultad Nacional de Agronomía

Efecto de la aplicación de pulpa de café sobre la fertilidad del suelo.II.

Tratamiento	CIC	Ca	Mg	K
	(cmol _c ·kg ⁻¹)			
Suelo (control)	6.5	2.2	0.9	0.34
Suelo+Compost pulpa	12.4	6.1	3.1	2.3

Posada, C. y N.W. Osorio. 2003. Respuesta del café c.v. Colombia a la fertilización foliar y la aplicación de pulpa de café compostada. Revista Facultad Nacional de Agronomía

Sin pulpa

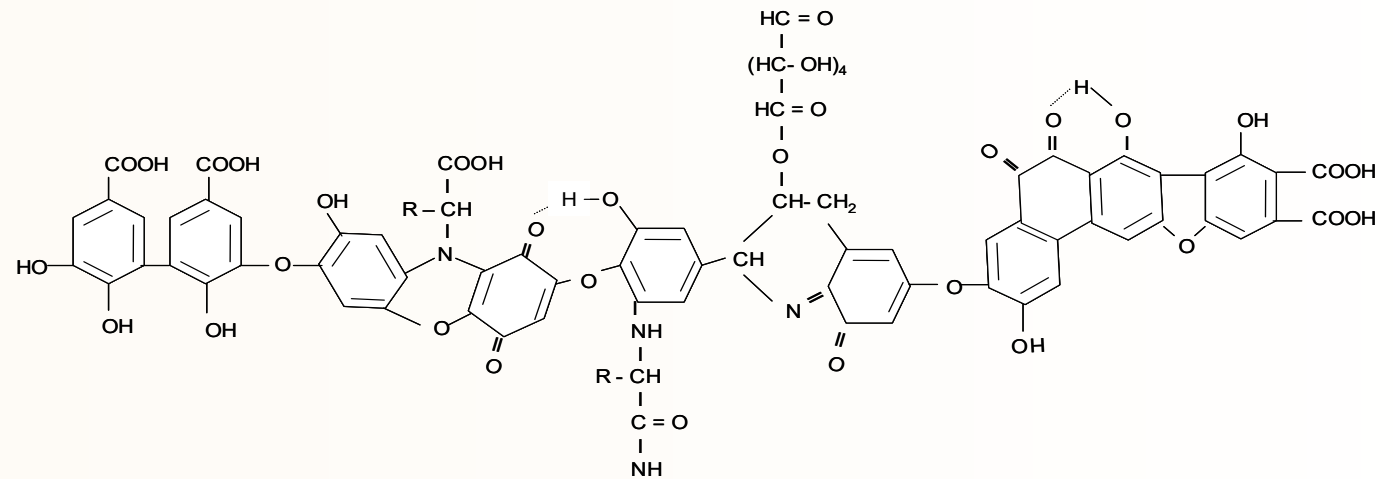
Con pulpa + Hongo micorrizal



Osorio NW, Alzate JM, Ramírez GA (2002) Coffee seedling growth as affected by *mycorrhizal* inoculation and organic amendment. Communications in Soil Science and Plant Analysis.



15%



85% Fracción mineral



Workshop 2025

Sembrando colaboración,
cosechando innovación

Residuos orgánicos de origen vegetal y animal

Polímeros fácilmente degradables

(celulosa, almidón, proteínas, etc)

Actividad enzimática extracelular

Monómeros degradables

(glucosa, aminoácidos, otros azúcares)

Glicolisis, ciclo de Krebs, ETC

Subproductos:

Aumento de la biomasa, CO_2 , H_2O , nutrientes libres (NH_4^+ , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , etc), ácidos orgánicos, fenoles

Estructuras
aromáticas

Biosíntesis de polifenoles

Polímeros difícilmente degradables

(lignina, polifenoles)

Degradación microbial

Unidades poli fenólicas más pequeñas, metoxi-fenoles, fenoles

Oxidación de grupos alifáticos y grupos metílicos, hidroxilación de anillos y decarboxiliación

Numerosos grupos mono-, di y tri-hidroxifenólicos y ácidos benzoicos

Oxidación enzimática

Radicales fenólicos e hidroxibenzoquinonas

Polimerización & Condensación

HUMUS

Proceso que puede
tomar décadas/siglos.

Formación de humus a través de diferentes rutas que incluyen la descomposición de compuestos de fácil y difícil degradabilidad y la síntesis microbial de compuestos intermedios. Fuente: adaptado de Wagner y Wolf (1999).

Estructura parcial del humus

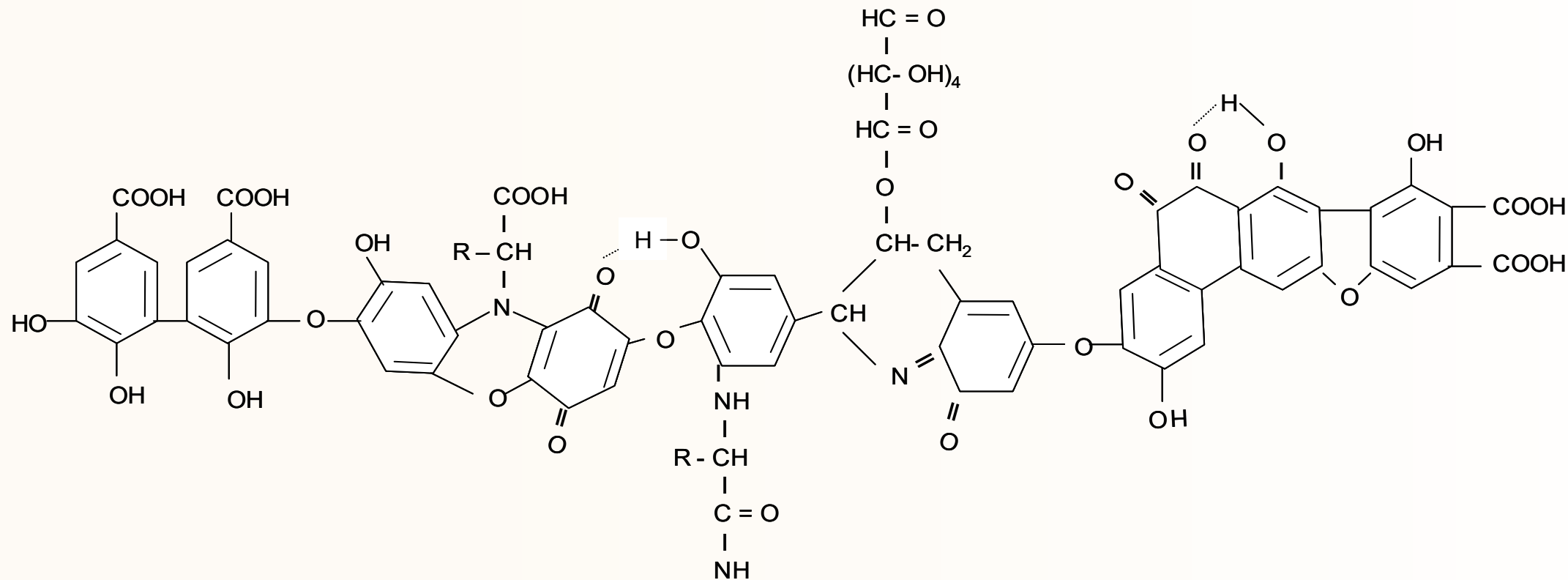
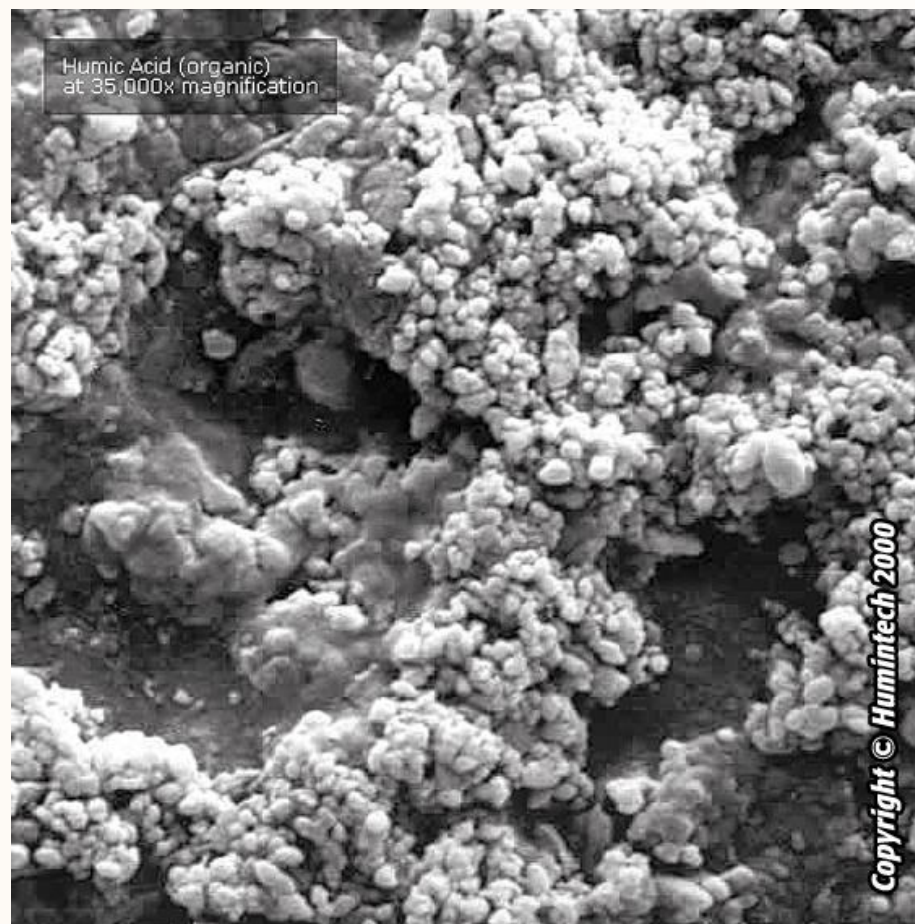


Imagen de ácidos húmicos luego de extraerse del suelo en el laboratorio



Humificación

- Los ácidos húmicos se forman a partir de fragmentos de lignina y de compuestos más simples proteínas, grasas, carbohidratos que fueron parcialmente descompuestos, pero que los microorganismos no pudieron usar.
- La actividad de las enzimas extracelulares son independientes del microorganismo. La enzima puede continuar funcionando y el microorganismos puede estar muerto o inactivo por baja temperatura o sometido a una toxicidad por Aluminio o por una deficiencia de fosfato.
- Así, los productos de la descomposición no son usados, se acumulan en el suelo y reaccionan entre sí y con partículas del suelo. Algunos iones como Al^{3+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} sirven como núcleos de aglomeración de tales partículas orgánicas.
- El resultado es una nuevo tipo de materia orgánica con componentes diversos y con DIFERENTES ENLACES, que hacen que este material sea difícil de atacar por un solo tipo de microorganismo. Si persisten las condiciones de baja actividad microbial (bajo consumos de compuestos) más y más humus se continuará formando a través del tiempo.
- Humus: recalcitrante a la descomposición microbial. Tiene un alto contenido de nutrientes (N, P, ...), pero no se pueden liberar. Sin embargo, los beneficios del humus en otros aspectos son múltiples.

Beneficios del humus del suelo

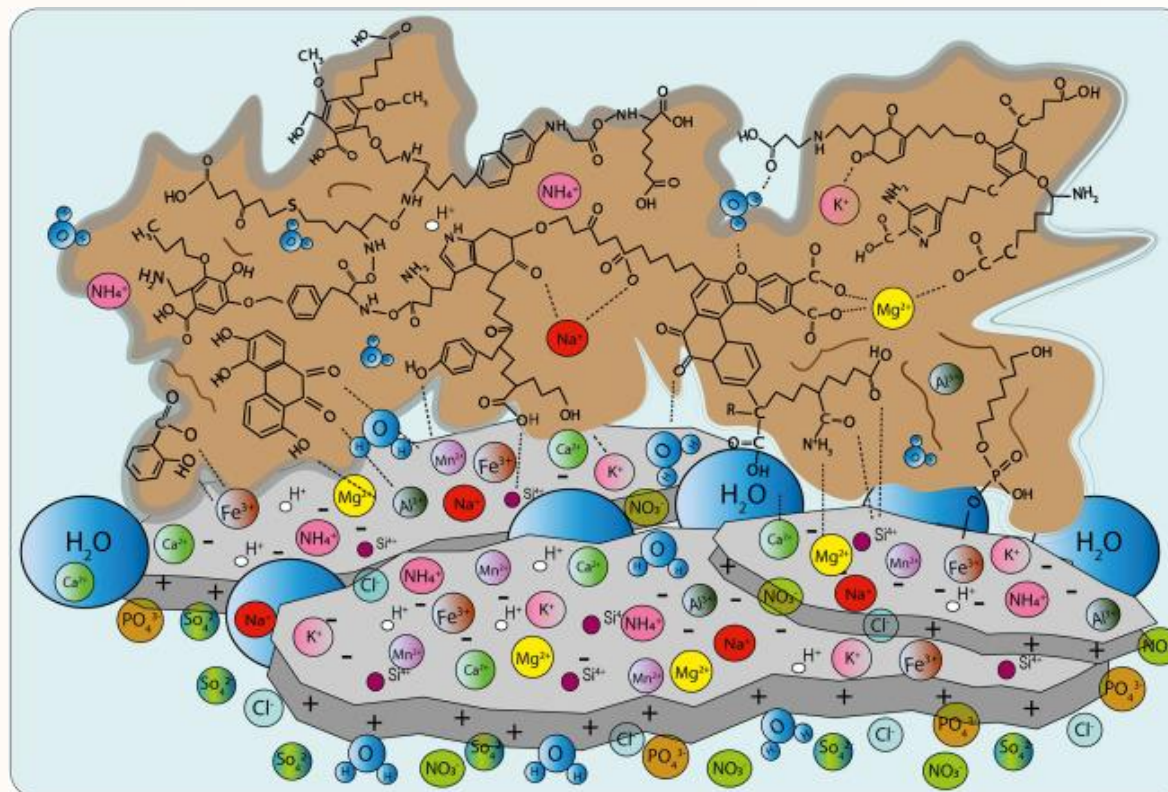
- Contribuye a la promoción y estabilidad de la estructura del suelo
- Aumenta el volumen de poros del suelo
- Disminuye la densidad aparente del suelo
- Incrementa la capacidad del suelo para retener agua en los microporos
- Incrementa la CIC del suelo
- Crea una condición buffer en el suelo
- Se constituye en una reserva de C que se acumula en el suelo, evitando su paso directo a la atmósfera como CO₂ (secuestro de C).
- Provee una superficie específica alta para retener metales pesados y compuestos xenobióticos tóxicos (insecticidas, herbicidas, etc.), lo cual disminuye su bio-disponibilidad en el ambiente.
- Se constituye en una reserva de nutrientes (N, P, S, etc.) de muy lenta liberación

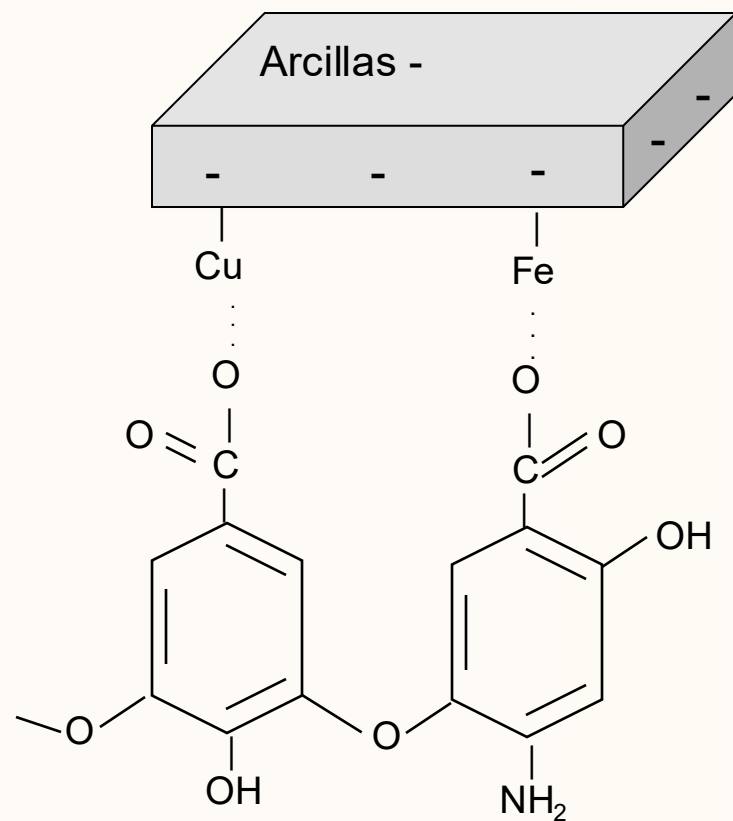
Limitaciones en el diagnóstico de la MO

- Desafortunadamente hay confusión entre los dos tipos de materia orgánica y su funcionalidad.
- Se falla en el diagnóstico y en la interpretación en los análisis de suelos (Horizonte A, Humus). El horizonte A es un pobre aportante de nutrientes vía descomposición, pero es responsable de ellos vía intercambio catiónico. La formación de complejos húmico-arcillosos hace que el humus se más recalcitrante a la descomposición microbial.
- En muchos casos no hay horizonte O (no hay hojarasca). Y cuando existe (sistemas agroforestales, silvopastoriles o sistemas orgánicos) no hay criterios de diagnóstico sobre su significado y aporte nutricional.
- En muchas referencias bibliográficas se considera la materia orgánica del suelo solo al humus y la hojarasca (si es que hay) queda largamente ignorada.

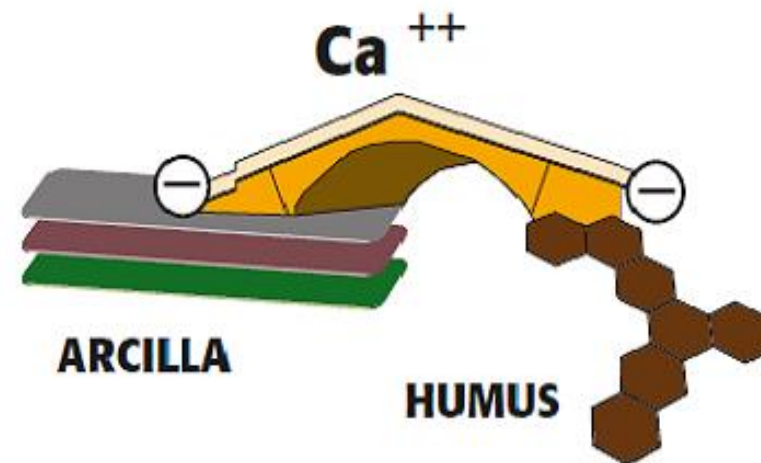
Humus del suelo y su complejidad que lo hace recalcitrante a la descomposición micorrbial

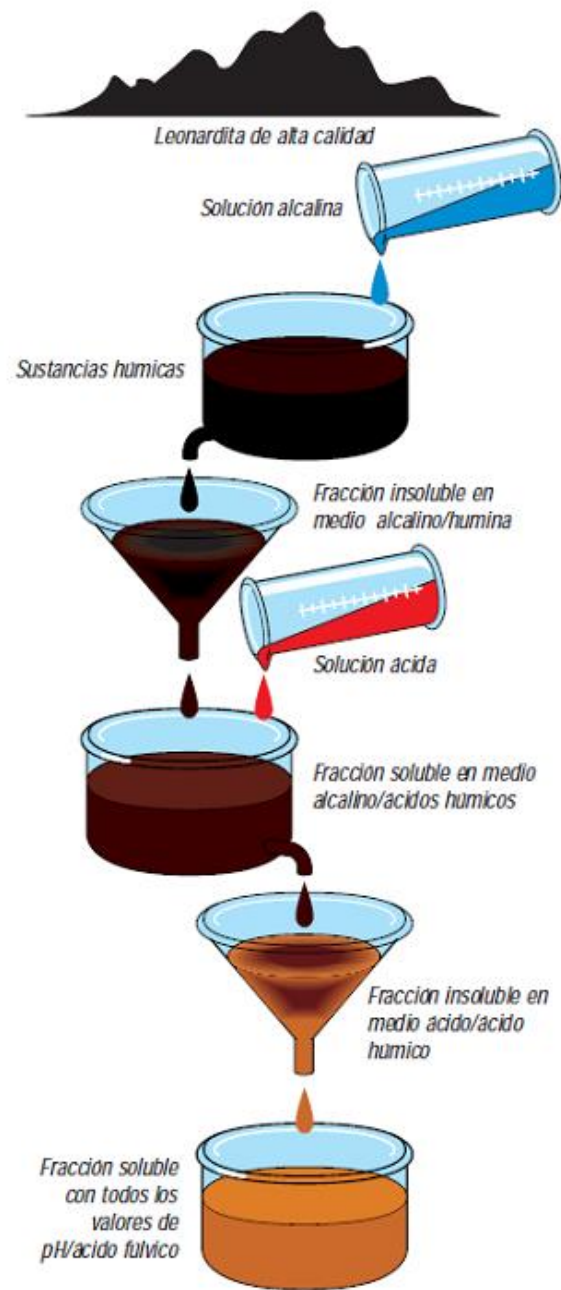
Complejos de Humus-arcillas-óxidos





Compuestos orgánicos unidos a arcillas a través de metales polivalentes (Al^{3+} , Fe^{3+} , Cu^{2+})





González et al. 2008. Fraccionamiento de la MO en suelos de la zona cafetera de Caldas. CENICAFE 59(4): 310-320

Tabla 2. Promedios de temperatura, espesor del horizonte A y MO en los agroecosistemas en las unidades de suelos analizadas.

Unidad de suelo	Temperatura (°C)		Sombrio				Al Sol			
			MO		Horizonte A		MO		Horizonte A	
	Suelo	Aire	(%)		(cm)		(%)		(cm)	
Chinchiná	21,29	19,97	14,70	a	55,10	a	14,50	a	42,28	a
Guamal	23,66	21,40	11,73	a	42,66	a	8,50	b	10,66	b
Doscientos	20,50	20,48	12,01	a	38,60	a	12,00	a	25,70	a
Tablazo	20,00	18,70	11,95	a	68,50	a	10,90	a	43,00	a
Maiba	21,00	19,40	7,85	a	35,00	a	6,80	a	21,50	a
Cascarero	24,00	20,00	8,20	a	13,70	b	7,50	a	42,12	a

Letras distintas indican diferencia estadística entre agroecosistemas según la prueba *t* al 5%.

314 Cenicafé, 59(4):310-320.2008

González et al. 2008. Fraccionamiento de la MO en suelos de la zona cefetera de Caldas. CENICAFE 59(4): 310-320

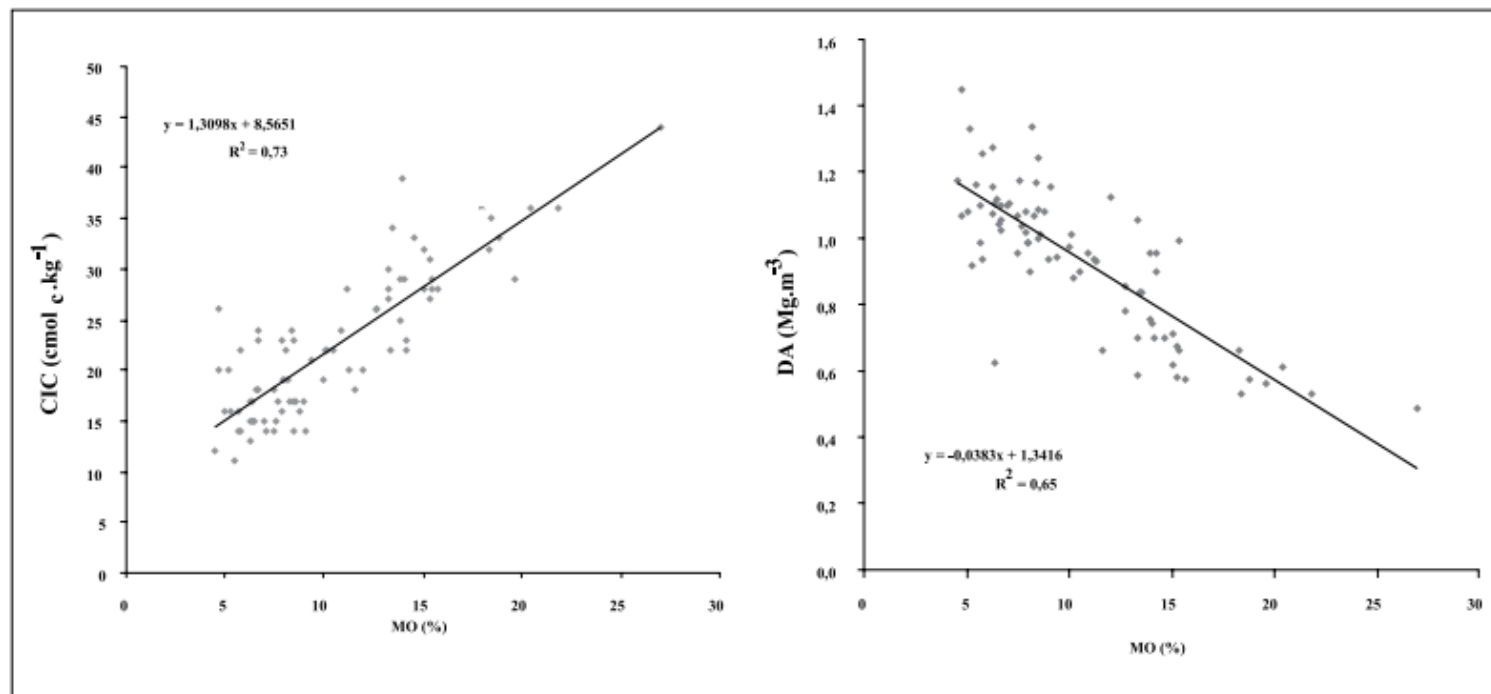


Figura 1. Variaciones en la CIC y la DA en función de los contenidos de MO.

Cenicafé, 59(4):310-320.2008 315

Gonzalez et al. 2008. Fraccionamiento de la MO en suelos de la zona cefetera de Caldas. CENICAFE 59(4): 310-320

Tabla 1.

Contenidos de materia orgánica en los primeros 30 cm, en algunas unidades de suelos de la zona cafetera.

Unidad de suelos	Libre exposición solar MO (%)	Sistema agroforestal MO (%)
Chinchiná	11,70	14,50
Guamal	11,73	8,50
Doscientos	12,01	12,00
Tablazo	11,95	10,90
Maiba	7,85	6,80
Cascarero	8,20	7,50

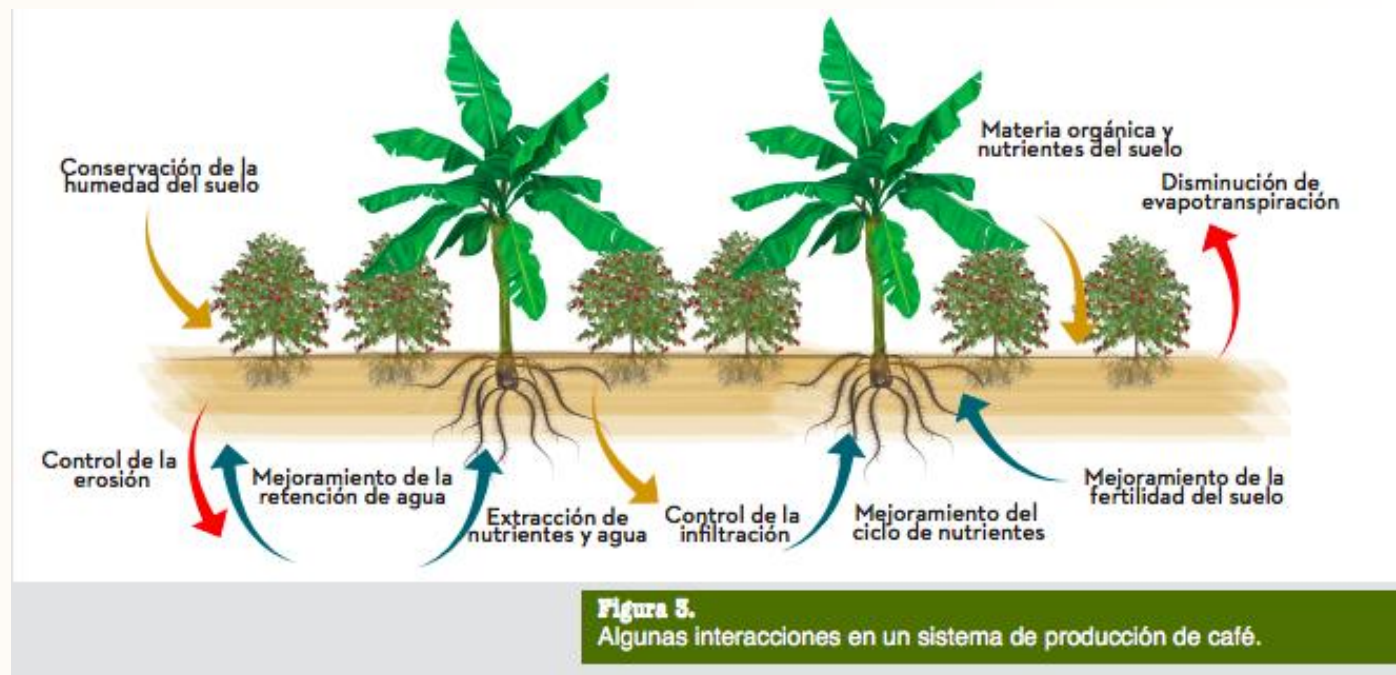


Figura 3.
Algunas interacciones en un sistema de producción de café.

Farfán-Valencia, F. (2020). Sistemas de producción: Conceptos y definiciones. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café (pp. 14–33). Cenicafe. https://doi.org/10.38141/10791/0002_1

Cálculos sobre liberación de N a partir del humus

Masa suelo (kg/ha) x Contenido de MOS (%) x Contenido de N en la MO x tasa de liberación de N

1.0 - 2.6 x 10⁶

1-20%

+/- 1-3 %

0.1-1 %

$$\frac{2.000.000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}} \times \frac{2.5 \text{ kg MO}}{100 \text{ kg suelo}} \times \frac{3 \text{ kg N}}{100 \text{ kg MO}} = \frac{1.500 \text{ kg N orgánico}}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ kg N disponible}}{100 \text{ kg N orgánico}} = \frac{15 \text{ kg N}}{\text{ha}}$$

$$\frac{1.200.000 \text{ kg suelo}}{\text{ha}} \times \frac{20 \text{ kg MO}}{100 \text{ kg suelo}} \times \frac{3 \text{ kg N}}{100 \text{ kg MO}} = \frac{7.200 \text{ kg N orgánico}}{\text{ha}} \times \frac{0.1 \text{ kg N disponible}}{100 \text{ kg N orgánico}} = \frac{7.2 \text{ kg N}}{\text{ha}}$$

Cultivo	Rendimiento (Ton ha ⁻¹)	N removido (kg ha ⁻¹)
Maíz	6	120
Arroz	6	100
Papa	40	175
Yuca	40	150
Frijol	2.5	105
Palma Africana (racimos)	25	190
Tomate	50	140
Lechuga	30	90
Repollo	40	175
Café (pergamino)	1.5	120
Zanahoria	30	120
Coliflor	50	250
Cebolla	35	85
Aguacate	15	40
Banano	40	250
Mango	15	100
Elefante	10	144
	10	107
Guinea	23	288
	35	560

Conclusiones

Por su funcionalidad separemos dos tipos de MO en el suelo):

1. Horizonte O= **hojarasca** (litter, MO fresca). Ciclaje y liberación microbial de nutrientes (particularmente importante para N). Tambien protege al suelo de la erosión, controla malezas, mantiene la humedad, y termoregula. Mantiene las poblaciones microbiales.
 - a) Diagnóstico del horizonte O no es rutinario y se ignora en los analisis de suelos: Tasa de descomposición anual 40-80% en zona cafetera; el aporte de nutrientes depende de la altitud, la relación C/N y la cantidad acumulada.
 - b) En los suelos debemos promover la hojarasca, evitar removerla y no-quemarla.
2. Horizonte A= **humus** (MO-humificada). Forma y estabiliza agregados (porosidad, infiltración y drenaje agua en el suelo). Responsable de la CIC del suelo y la capacidad buffer del pH del suelo. Secuestramiento de Carbono. Reduce perdida de nutrientes por lixiviación.
 - a) Diagnóstico del horizonte A está incorporado en los análisis de suelos. Tasa de descomposición anual: 0.1-1% zona cafetera.
 - b) Su funcionalidad se mejora al mantener con el enclamiento un pH 5.5-6.0 (Ca^{2+} ión floculante y pH más alto mayor CIC)

La materia orgánica es fundamental porque centraliza la dinámica de nutrientes, la actividad microbiana, la retención de agua y la aireación.

Por ello, el monitoreo dual de la hojarasca y el humus no es una opción, sino una necesidad.

Solo así podremos evaluar la eficacia de nuestra gestión, asegurando la sostenibilidad productiva y ambiental.



Preguntas