

PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS

Roberto Ramírez Carvajal



CC BY-NC-ND



FENALCE



SAC

Reg. 8
COL
347
1997

CORPOICA
Centro de Información y Documentación
Regional (Cindor) S. A. - YUCA

R/ 323
COL 347



PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS

Roberto Ramírez Carvajal

*Agradecemos al Ministerio de Agricultura
y al Fondo Nacional Cerealista, su apoyo para la
publicación de estos boletines.*

Santafé de Bogotá, DC., septiembre de 1997



© **CONVENIO FENALCE - SENA - SAC**
Primera edición: septiembre de 1997

Tipo de publicación: Boletín informativo
Edición: Carlos Naranjo O.
Fotografías de carátula: Carlos Molina
Diseño total: Édgar A. Agudelo F.

PRODUCCIÓN EDITORIAL
Fotomecánica, impresión y encuadernación:



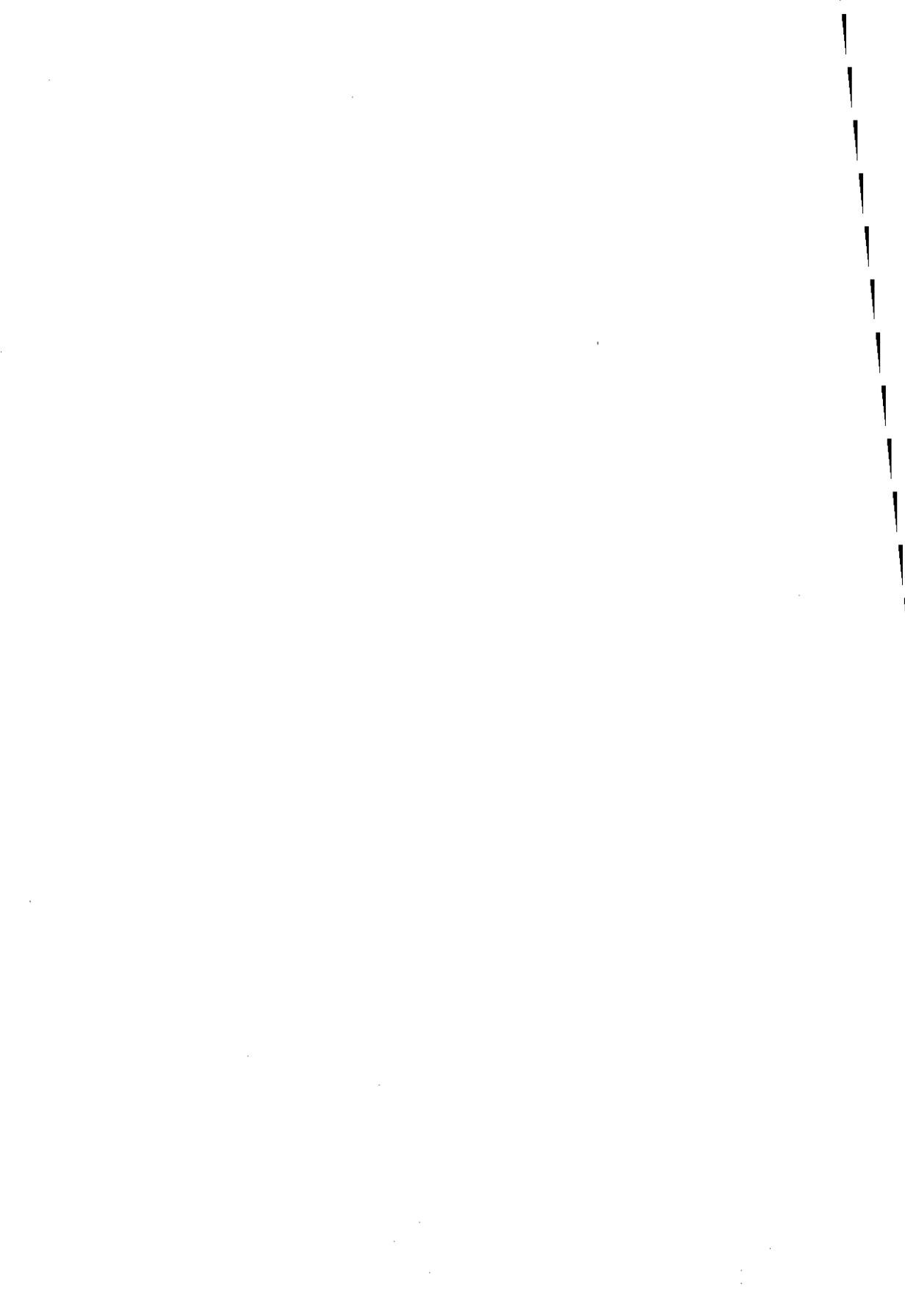
Teléfono: 285 7311 - 288 53 38
Carrera 13A No. 37 - 68

**EL CONTENIDO DE ESTA PUBLICACIÓN ES PROPIEDAD
DEL CONVENIO FENALCE - SENA - SAC
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARA FINES COMERCIALES**

Impreso en Colombia
Printed in Colombia

CONTENIDO

CONCEPTO DE SUELO	6
FACTORES FORMADORES DE SUELOS	6
PROCESOS FORMADORES DE SUELOS	7
FASES DEL SUELO	8
PROPIEDADES FÍSICAS	9
DENSIDAD APARENTE	9
DENSIDAD REAL	10
TEXTURA	10
ESTRUCTURA	11
COLOR	11
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	12
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	12
pH	13
CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS	14
PROCESOS BIOLÓGICOS DE ALGUNOS ELEMENTOS EN EL SUELO	15
Nitrógeno	15
Mineralización	15
Denitrificación	16
Fijación biológica	16
Azufre	16
Mineralización	17
Inmovilización	17
Oxidación de azufre inorgánico	17
Reducción de azufre inorgánico	17
Fósforo	17
BIBLIOGRAFÍA	24



PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS

Roberto Ramírez Carvajal¹

La crisis que afronta el sector agrícola en Colombia no sólo es producto de las políticas macroeconómicas del gobierno, los altos costos de los insumos, el subsidio de los países desarrollados a sus productos agrícolas, entre otros, sino también por la falta de implementación de nuevas tecnologías para una producción de competencia en cuanto a calidad y precios de los diferentes productos agrícolas con respecto a los de los demás países.

En esta implementación de tecnologías adecuadas se debe tener en cuenta el recurso suelo, el cual, en gran parte, es el responsable de una óptima producción.

En la mayoría del país, y más específicamente en la Orinoquia colombiana, se desconoce el manejo adecuado de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, orientadas hacia un desarrollo sostenible.

La alta evolución de los suelos de los Llanos Orientales involucran una gran susceptibilidad a ser degradados. Además, el bajo contenido de materia orgánica, las grandes concentraciones de hierro y aluminio, los pocos nutrientes, y los suelos muy ácidos, entre otras, son limitantes para la explotación agrícola.

La mecanización desmedida de estos suelos ha traído como consecuencia la compactación de horizontes (ple de arado), la degradación general de las propiedades físicas, la limitación en las propiedades químicas y la disminución de las propiedades biológicas.

Hasta el momento, a las propiedades físicas y biológicas del suelo no se les ha dado la importancia que merecen. El estudio del suelo casi que se ha limitado a las propiedades químicas y en una forma superficial, con criterios poco fundamentados sobre el manejo de ellas.

Para lograr un manejo sostenible del recurso suelo es necesario correlacionar las propiedades físicas, químicas y biológicas ya que entre ellas se

¹ Agrólogo. Docente Universidad de los Llanos. Director Laboratorio de Suelos. Km 11 vía Puerto López. Apartado Aéreo 2621. Tel. 986-631292.

presenta una interdependencia directa y, por ende, no se pueden tomar como propiedades aisladas.

A continuación se dan conceptos generales para lograr entender las interacciones que se presentan entre las diferentes propiedades de los suelos.

CONCEPTO DE SUELO

Es una colección de cuerpos naturales; está compuesto por el material orgánico y mineral que cubre la mayoría de la superficie terrestre; contiene materia viva y sirve de soporte para la vegetación en campo abierto y en lugares transformados por la actividad humana. Es un sistema abierto, trifásico y tridimensional. (Soil Survey Staff).

FACTORES FORMADORES DE SUELOS

Según Boul *et al* (1980), los factores formadores se refieren a los "agentes, fuerzas o condiciones que influyen, han influido o pueden influir sobre el material del suelo con la potencialidad de cambiarlo".

Son las condiciones ambientales externas al suelo como tal. Hacen referencia a lo siguiente:

Organismos: Dentro de estos se encuentran macroorganismos, mesoorganismos y microorganismos, y pueden ser de origen vegetal o animal. Afectan al suelo química y físicamente, aportando material orgánico como fuente de nutrientes, transformando los diferentes compuestos y realizando la transformación mecánica de sus agregados.

Clima: Es el factor ambiental más activo y de mayor influencia sobre la evolución de los suelos; actúa sobre éstos de acuerdo con el grado de intensidad y frecuencia. Dentro de los factores climáticos se encuentran la precipitación, la temperatura, los vientos y los fenómenos de evapotranspiración. Su influencia se da sobre el pH, el contenido de materia orgánica, la formación de diferentes horizontes, la actividad microbiológica, etc.

Material parental: Es el material del cual se deriva el suelo. Sobre este factor influyen el clima y los organismos (factores activos), los cuales lo transforman dando como resultado un tipo de suelo determinado. De él se derivan las propiedades físicas (color, textura, profundidad, mineralogía, etc.) y las propiedades químicas (fertilidad, pH, % de materia orgánica, etc.).

Relieve: Hace referencia a las formas del terreno y la pendiente. Afecta directamente la acumulación o acarreo de materiales, los cuales determinan la profundidad del suelo, la concentración de sales, la erosión, etc.

Tiempo: Se refiere a la edad absoluta durante la cual han actuado los demás factores y que han llegado a formar el suelo. De acuerdo al tiempo, se encuentran suelos jóvenes, maduros o altamente evolucionados.

De la combinación de todos los anteriores factores se originan los suelos, los cuales experimentan una serie de procesos generales que van a caracterizar a cada uno.

PROCESOS FORMADORES DE SUELOS

Los factores formadores de suelos, como son el clima y los organismos actúan sobre el material parental, en un relieve determinado y a través del tiempo, dando origen a un tipo de suelo. Durante toda la evolución de éste ocurren una serie de procesos, los cuales determinan la dinámica pedogenética.

Los procesos formadores pueden agruparse en dos categorías, siendo los procesos generales los que sirven para entender los procesos dominantes en la formación y evolución de los suelos; los específicos, son procesos que indican en una forma más detallada la evolución de éstos.

Los procesos generales son:

- ❖ Adiciones o ganancias. Es el enriquecimiento de materiales orgánicos y minerales, ya sea por acumulación o incorporación de sedimentos aluviales, eólicos o por mezcla orgánico-mineral sobre el suelo.
- ❖ Pérdidas o sustracción de materia orgánica o mineral por erosión, lavado, extracción de cosechas o volatilización de elementos.
- ❖ Translocaciones. Son los movimientos de los elementos o compuestos en dirección ascendente, descendente u oblicua dentro del suelo.
- ❖ Transformaciones. Son las alteraciones o cambios químicos de material orgánico o mineral dentro del perfil del suelo.

Los procesos más específicos que se dan en los suelos de la Orinoquia son: la lixiviación o pérdida de arcillas y de hierro por acción del agua; la rubefacción; la ferruginación, que es la liberación de óxidos de hierro, caracterizándose por la coloración rojiza que le da al suelo; la laterización, que hace referencia a la liberación de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, formándose durante este proceso las corazas de hierro o concreciones llamadas plintita; y, por último, la gleyzación o procesos de óxido-reduc-

ción de hierro, como consecuencia de la fluctuación del nivel freático, que se caracteriza por coloración verdosa a gris en las partes afectadas del perfil de suelo.

El suelo, por ser un sistema trifásico, está compuesto por tres fases esenciales: sólida, líquida y gaseosa.

FASES DEL SUELO

La fase sólida, formada por materia mineral y orgánica: la mineral, que está compuesta por partículas de varios tamaños, como son la arena, el limo y la arcilla, que ocupan 45% del total, en volumen; la materia ocupa 5% del total del volumen, e incluye residuos vegetales en descomposición y organismos en vida activa.

La fase líquida está constituida por el agua con sustancias en solución y ocupa una parte o todos los espacios porosos entre las partículas sólidas. Su contenido puede ser variable de acuerdo a las condiciones del suelo.

La fase gaseosa, o de vapor, ocupa aquellos espacios que se encuentran vacíos, es decir, los poros que no son ocupados por el agua.

Como se dijo antes, de acuerdo con la dinámica de los factores y procesos formadores se origina un suelo con sus propiedades particulares. Es de-

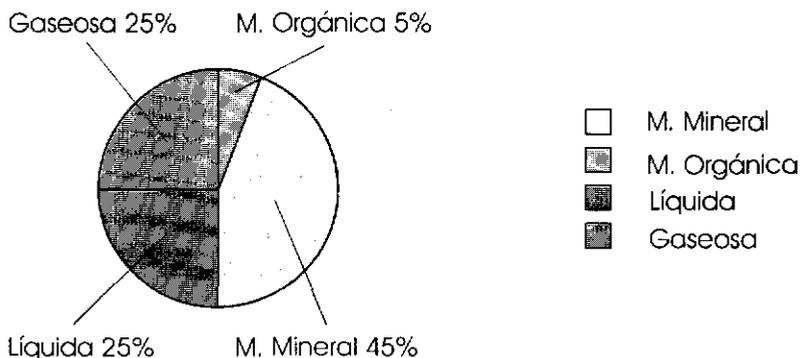


FIGURA 1. Composición por volumen de un suelo de textura media, considerado como óptimo para el crecimiento de las plantas. (Tomado de Propiedades Físicas de los Suelos, IGAC).

cir, un suelo presenta características químicas, físicas y biológicas inherentes a él.

PROPIEDADES FÍSICAS

Las características físicas son en gran parte responsables del buen desarrollo de las plantas, pero muy pocas veces se les tiene en cuenta, pues generalmente sólo se consideran las características químicas.

En realidad, para que exista un medio óptimo para el crecimiento de las plantas debe darse una interacción dinámica entre las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Las propiedades físicas pueden ser: *Fundamentales*, aquellas que no se derivan de otras y se encuentran dentro de este grupo el color, la textura, la estructura, la densidad, la consistencia, la temperatura, etc. *Derivadas*, que, como su nombre lo indica, son todas las que nacen de la interacción de las fundamentales.

DENSIDAD APARENTE

Es la relación existente entre la masa y el volumen de suelo, en este volumen está considerado todo el espacio poroso existente. Es una característica que nos da a conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación, la porosidad, la disponibilidad de agua y de oxígeno, etc. Los suelos de los Llanos presentan una densidad aparente que oscila de 1.2 a 1.95 g/cc.

El suelo empieza a tener problemas por compactación cuando estos valores son superiores a

1.6 g/cc. A continuación se presenta una tabla de la relación entre la densidad aparente y la porosidad total. Según Duchaufour, 1965, a medida que aumenta la densidad aparente disminuye la porosidad total, viéndose así afectada la disponibilidad de agua y de oxígeno, la penetrabilidad de las raíces y otras características.

TABLA 1. Relación entre la densidad aparente y la porosidad total (Duchaufour, 1965).

DENSIDAD APARENTE, G/CC	POROSIDAD TOTAL, %
<1.0	>63
1.0-1.2	55-62
1.2-1.4	47-54
1.4-1.6	40-46
1.6-1.8	32-39
>1.8	<31

DENSIDAD REAL

Es la relación entre el volumen de las partículas de suelo y el volumen de éstas sin considerar el espacio poroso. La densidad real, cuando no se presentan cantidades considerables de materia orgánica, fluctúa entre 2.5 y 2.6 g/cc, y alcanza el mayor valor (2.65 g/cc) en suelos arcillosos o arenosos con muy poca materia orgánica. En suelos con abundante contenido de hierro se pueden alcanzar valores superiores a 2.7 g/cc (suelos ferralíticos) (según "propiedades físicas de los suelos", IGAC).

El estado de porosidad del suelo se puede conocer mediante la siguiente relación:

$$PT = (Dr - Da) / Dr \times 100$$

donde: PT: porosidad total expresada en porcentaje

Dr: densidad real

Da: densidad aparente

También se pueden deducir los macroporos (espacios donde se encuentra el oxígeno disponible) y los microporos, que contienen el agua aprovechable por las plantas:

Microporos = $Da \times \%HE$

Macroporos = $PT - \text{Microporos}$

donde: HE es el contenido de humedad equivalente del suelo, expresado en porcentaje.

TEXTURA

Es la distribución de las partículas del suelo, expresada en porcentaje. Estas partículas son: la arena (2 - 0.02 mm), el limo (0.02 - 0.002 mm) y la arcilla (0.002 mm).

Esta característica influye sobre la velocidad de infiltración del agua, la facilidad de preparación o laboreo del suelo, el drenaje, etc.

TABLA 2. Valores generalizados para la retención de humedad a 0.3 y 15 bar, según la clase de textura para diferentes suelos (IGAC).

CLASE TEXTURAL	RETENCIÓN DE HUMEDAD %	
	0.3 bars	15 bars
Arenosa	5-15	2-10
Franco arenosa	12-32	5-18
Franca	18-40	10-30
Franco arcillosa	20-50	12-35
Arcillosa	25-75	15-45

ESTRUCTURA

Forma como se agregan las partículas del suelo. Es la responsable de las relaciones de aireación, infiltración, humedad y temperatura del suelo. Se caracteriza por la estabilidad estructural, es decir, la resistencia que los agregados del suelo hacen para no ser destruidos.

COLOR

Es una de las características que guarda relación directa con la temperatura, la dinámica de los elementos y la movilidad del agua en el suelo, el contenido de materia orgánica, la cantidad de organismos, la evolución de los suelos etc. A simple vista se pueden deducir diferentes procesos y fenómenos que han ocurrido en el suelo a través del tiempo y en épocas actuales.

A continuación se dan diferentes tablas para la interpretación de otras propiedades físicas.

TABLA 3. Rangos para interpretar la estabilidad estructural con relación al diámetro ponderado medio - DPM (IGAC).

DPM (mm)	INTERPRETACIÓN
<0.5	Inestable
0.5-1.5	Lig. estable
3.0-5.0	Estable
>5.0	Muy estable

TABLA 4. Rangos para interpretar la humedad equivalente (IGAC).

CONTENIDO DE HUMEDAD %	INTERPRETACIÓN
<5	Muy baja
5-15	Baja
15-25	Media
25-35	Alta
>35	Muy alta

TABLA 5. Clasificación de la velocidad de infiltración (IGAC).

INFILTRACIÓN cm/h	INTERPRETACIÓN
<0.1	Muy lenta
0.1-0.5	Lenta
0.5-2.0	Moderadamente lenta
2.0-6.3	Moderada
6.3-12.7	Moderadamente rápida
12.7-25.4	Rápida
>25.4	Muy rápida

TABLA 6. Clasificación de la conductividad hidráulica (IGAC).

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA		INTERPRETACIÓN
cm/hora	m/día	
<0.1	<0.03	Muy lenta
0.1-0.5	0.03-0.12	Lenta
0.5-1.6	0.12-0.38	Moderadamente lenta
1.6-5.0	0.38-1.20	Moderada
5.0-12.0	1.20-2.90	Moderadamente rápida
12.0-18.0	2.90-4.30	Rápida
>18.0	>4.30	Muy rápida

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

Dentro de todos los procesos que se dan en el suelo, el más importante es el intercambio iónico. Junto con la fotosíntesis, son los dos procesos de mayor importancia para las plantas. El cambio iónico es debido casi en su totalidad a la fracción arcilla y a la materia orgánica. La capacidad de intercambio catiónico se define como el número de cargas negativas del suelo y se expresa en meq/100g de suelo. Aumentos en el pH traen como consecuencia un incremento en las cargas negativas, ya que el aluminio se precipita, la concentración de hidrogeniones disminuye, por lo tanto la CIC aumenta.

A valores altos de la CIC existe una gran disponibilidad de los diferentes elementos en el suelo. Menores a 10 meq/100g.s. son bajos, entre 10 y 20 medios, de 20 a 30 altos y mayores a 30 meq/100g.s. muy altos. Los suelos de la Orinoquia presentan en su mayoría CIC menor a 10 meq/100g.s., reflejándose en este valor la baja cantidad de cargas negativas debido a la escasa materia orgánica y a la presencia de arcillas de relación 1:1, como lo es la caolinita.

pH

Es una de las propiedades fisico-químicas más importante en los suelos, ya que de él depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas, determinando su solubilidad y la actividad de los microorganismos, los cuales mineralizan la materia orgánica. También determina la concentración de iones tóxicos, la CIC y diversas propiedades importantes que en últimas apuntan a la fertilidad del suelo.

Influencia del pH sobre los diferentes elementos en el suelo, y otras características:

Nitrógeno: La disponibilidad de este elemento depende de la mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos. Esta mineralización se da en valores cercanos a pH 7, que es donde mayor desarrollo presentan las bacterias encargadas de la nitrificación y la fijación de nitrógeno.

Fósforo: Si el pH es ácido, la solubilidad del aluminio y del hierro es alta. Estos compuestos precipitan con el fósforo como compuestos insolubles. En pH alcalino, es decir, superior a 7.5, el calcio aumenta su solubilidad y reacciona con los fosfatos precipitándolos y formando compuestos insolubles como la apatita; por lo tanto, el fósforo presenta su mayor disponibilidad con pH entre 6.5 y 7.5, siendo en ese rango donde se presenta la mayor mineralización de compuestos de fósforo orgánico y mineral.

Calcio, magnesio y potasio: Estos elementos aumentan su solubilidad con pH de 7 a 8.5. En suelos ácidos, la CIC disminuye y, por lo tanto, aumenta la posibilidad de que estos elementos sean lavados del perfil.

Azufre: Se presenta en forma asimilable como SO_4 . A pH ácidos, éstos reaccionan y son absorbidos por el hierro y el aluminio haciéndolos inasimilables por parte de las plantas. La elevación del pH a valores cercanos a la neutralidad aumenta la disponibilidad del azufre, ya que se favorecen las reacciones biológicas y la solubilidad de los compuestos inorgánicos que contienen este elemento; el pH óptimo está entre 6 y 8.

Hierro y manganeso: Se encuentran disponibles en valores ácidos, ya que en pH alto precipitan en compuestos insolubles como hidróxidos y óxidos, respectivamente. El pH óptimo para manganeso está entre 5 y 6.5, para hierro entre 3.5 a 6.5.

Cobre y zinc: La solubilidad de estos elementos, al igual que los anteriores, es muy limitada a pH elevados, además de incrementar su adsorción con compuestos orgánicos e inorgánicos. Por lo tanto, su mayor disponibilidad se encuentra en pH ácidos a neutros, de 5 a 7.

Boro: Incrementos en el pH limitan la solubilidad del boro. Por lo tanto, la mayor solubilidad de éste se presenta en pH entre 5 y 7, debido a que con valores mayores reacciona con compuestos orgánicos.

Molibdeno: Este es el único micronutriente que aumenta su disponibilidad con el incremento en el pH, debido a que se encuentra retenido por óxidos hidratados de hierro y aluminio. Al elevarse el pH, se precipita el hierro y el aluminio dejando disponible este elemento.

% de saturación de bases: Un incremento en el pH, a valores cercanos a 7, da como resultado mayor solubilidad para los diferentes elementos, por lo que provoca un mayor porcentaje de saturación de bases.

Capacidad de intercambio catiónico: Un aumento en el pH origina cargas negativas libres y que pueden ser posiciones intercambiables entre los cationes presentes en la solución del suelo.

Concentración de iones tóxicos: A pH ácidos existe mayor solubilidad del aluminio y el manganeso, los cuales pueden alcanzar concentraciones que son tóxicas para las plantas. Se ha encontrado que un contenido de aluminio mayor del 1meq/100g suelo empieza a afectar notoriamente el desarrollo de los cultivos. Lo mismo ocurre con el manganeso, el cual empieza a presentar niveles de toxicidad cuando alcanza una concentración en el suelo de 100 ppm.

CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

La biología del suelo es la ciencia que se ocupa del estudio de los organismos que de una u otra forma actúan sobre el suelo modificando su composición, su estructura y su funcionamiento.

Los microorganismos del suelo se clasifican según su tamaño:

- ❖ **Macrofauna:** son organismos mayores a 1 cm de diámetro. Es decir, se pueden observar a simple vista y efectúan sobre el suelo cambios físicos y, en algunos casos, cambios químicos. Pueden ser: vertebrados, organismos que tienen relación directa con el suelo y que son de vida silvestre. Invertebrados, dentro de los cuales están moluscos como el caracol y las babosas, anélidos como la lombriz de tierra, onicoforos como la oruga, artrópodos como los curstáceos, insectos y milípedos.
- ❖ **Mesofauna:** son aquellos con diámetros que están entre doscientas micras y 1 cm, Se encargan de producir en el suelo cambios físicos y químicos. En la mesofauna, los de mayor importancia son los nemátodos.

❖ **Microfauna:** Son los responsables de las transformaciones químicas correspondientes a los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica. Tienen un diámetro entre 20 y 200 micras. Los de mayor importancia son los protistos. Las bacterias son los microorganismos más prolíferos en el suelo y los más importantes para transformar químicamente diferentes compuestos a formas asimilables por las plantas. En su mayoría son heterotrofas y saprofitas (descomponen compuestos) y algunas son autotroficas (fabrican su propio alimento).

Bacterias que intervienen en las reacciones mas importantes dentro de los suelos:

Las que transforman compuestos de azufre: *Thiobacillus thiooxidans*, *T. novellus*, *T. thioparus*, *T. denitrificans*.

Las encargadas de transformar y fijar los compuestos de nitrógeno: Bacilos, pseudomonas, clostridium, nitrosomonas, nitrobacter, achromobacter. También dentro de éstas se encuentran los actinomycetes y las algas verde-azules.

Para la solubilización de los compuestos fosfatados las bacterias no presentan ninguna especialización, y se dan asociaciones entre las raíces de las plantas con algunos hongos que reciben el nombre de micorrizas, los cuales pueden aportar hasta 50% del fósforo que la planta necesita.

PROCESOS BIOLÓGICOS DE ALGUNOS ELEMENTOS EN EL SUELO

Nitrógeno

En la dinámica de este elemento participan activamente un gran número de microorganismos en diferentes fases:

– Mineralización

Es la transformación biológica de los compuestos orgánicos a compuestos inorgánicos como NH_4 , NO_2 , y NO_3 . Consta de tres etapas:

- ❖ **Aminización:** Es la producción de aminas y aminoácidos simples a partir de proteínas y otros compuestos nitrogenados por parte de microorganismos heterotróficos.
- ❖ **Amonificación:** Se obtiene el amoníaco a partir de las aminas y los aminoácidos simples resultantes en el proceso anterior. Dentro de los microorganismos involucrados en este proceso están bacterias (baci-

illus, clostridium y pseudomonas), hongos (género aspergillus) y actinomicetos.

- ❖ **Nitrificación:** En este proceso el amoníaco es transformado a nitratos, mediante oxidación. Consta de dos etapas: en la primera, el NH_4 es transformado a NO_2 e intervienen las nitrosomonas, hongos como *Aspergillus* y *Penicillium*, actinomicetos como *Nocardia* y *Streptomyces*; en la segunda, el NO_2 pasa a NO_3 con intervención de las bacterias nitrobacter.

– Denitrificación

Es el proceso inverso de la nitrificación, en la cual los nitratos son utilizados por los microorganismos como fuente de oxígeno en medios inundados, que posteriormente pasan a la atmósfera como N_2 ; es decir, se presenta una pérdida de nitrógeno del suelo por volatilización. En este proceso participan *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Flavobacterium*, *Halobacterium*, *Hipomicrobium*, *Rhizobium* y *Micrococcus*, entre otros.

– Fijación biológica

El nitrógeno atmosférico es tomado por los microorganismos e incorporado en sus estructuras, y luego será liberado al suelo y aprovechado por las plantas. Existen dos tipos de fijación: la simbiótica, en la cual se da una asociación benéfica entre la planta (que de esta forma obtiene el nitrógeno que necesita) y la bacteria (que alimenta de los compuestos que saca de la planta). La asociación más conocida se da entre las leguminosas y las bacterias del género *Rhizobium*. El otro tipo de fijación es la asimbiótica, en la cual algunas bacterias y algas verde-azules asimilan nitrógeno atmosférico y lo transforman en compuestos orgánicos, que son liberados al suelo posteriormente cuando el organismo muere. Por medio de la fijación biológica se pueden incorporar al suelo niveles de 100 k/ha de nitrógeno, o más.

Azufre

Al igual que el nitrógeno, los residuos orgánicos son depositados en el suelo y posteriormente empieza la acción de los microorganismos, los cuales descomponen estos materiales e incorporan al suelo los compuestos azufrados.

Las condiciones de aireación son factores importantes que determinan la dinámica de este elemento en el suelo. Cuando existen suelos bien aireados, actúan los microorganismos aeróbios obteniéndose como resultado los sulfatos como ion libre, que es absorbido fácilmente por las plantas.

Si el medio es reducido, los microorganismos anaerobios son los que participan en la descomposición de la materia orgánica. Se presentan varias etapas, las cuales se dan a continuación.

- Mineralización

En este proceso actúan los microorganismos anaerobios y aerobios, dependiendo de las condiciones de humedad del suelo. Los sulfatos se obtienen como producto final en los procesos aerobios, donde intervienen las bacterias del género *Thiobacillus*; Cuando existe intervención de las bacterias anaerobias, el producto final es sulfuro y H_2S .

- Inmovilización

Los microorganismos incorporan los compuestos azufrados en sus estructuras y luego al morir son devueltos de nuevo al suelo, quedando disponibles para la planta.

- Oxidación de azufre inorgánico

Los compuestos de azufre en forma mineral son oxidados en medios bien aireados, para ser transformados en sulfatos. En este proceso participan las bacterias del género *Thiobacillus thiooxidans*, *T. novellus*, *T. thioparus*, *T. denitrificans*.

- Reducción de azufre inorgánico

los sulfatos que se encuentran en forma disponible son reducidos hasta transformarse en azufre elemental, el cual se pierde por volatilización hacia la atmósfera.

Fósforo

Para el caso de este elemento, los microorganismos no necesitan de ninguna especialización ya que solubilizan el fósforo de compuestos orgánicos insolubles, excretan ácidos orgánicos (láctico, cítrico, oxálico, etc.) los cuales actúan sobre estos compuestos dejándolos disponibles para la planta; también los microorganismos oxidan amonio o azufre, formando ácido nítrico o ácido sulfúrico, los cuales liberan los iones fosfato de la roca fosfórica. Para la mineralización de fósforo orgánico las bacterias necesitan de una enzima llamada fosfatasa que facilita la descomposición de la materia orgánica. Por otro lado, los compuestos fosfatados también son incorporados en las células de los microorganismos, lo que se deno-

mina inmovilización. Este fósforo es devuelto al suelo cuando el organismo muere.

También se presenta simbiosis entre las raíces de las plantas y algunos hongos. Estos son denominados micorrizas, y pueden ser de dos clases: endomicorrizas, cuando las hifas penetran al interior de las raíces y hectomicorrizas, si las hifas se adhieren a la superficie de las raíces. En esta simbiosis los hongos dejan asimilable el fósforo para la planta y ésta a su vez les da el alimento que ellos necesitan. Por medio de las micorrizas, las plantas pueden obtener hasta 50% del fósforo que requieren.

En la Universidad de los Llanos se llevó a cabo un trabajo con los alumnos Bibian Carolina Baquero, Daniel Andrés Parada, Enrique Guevara, Lida Astrid Bernal y Nubia E. Castro, del programa de ingeniería agronómica, en la asignatura de fertilidad de suelos, en el cual se midieron los efectos de diferentes sistemas de mecanización sobre los hongos, la microflora total y la actividad global de los microorganismos del suelo.

El trabajo se realizó en la granja de la Universidad, en el cultivo de maíz y se utilizó un diseño de bloques completos al azar. Se hicieron los siguientes tratamientos:

Tratamiento I: Desbrozadora
sembradora para labranza cero

Tratamiento II: Desbrozadora
Un pase de rastra
Un pase de pulidor
Sembradora para labranza cero.

Tratamiento III: Desbrozadora
Dos pases de rastra
Dos pases de pulidor
Sembradora para labranza cero.

Se utilizaron medios de cultivo sólidos con base en agar y extracto de suelo para microflora total, agar con nutrientes para hongos y titulación de CO₂ para la actividad global de los microorganismos.

Los muestreos se realizaron antes de la siembra, a mitad del ciclo de cultivo y en época de cosecha.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

En el tratamiento II es donde se da la mayor población, debido a que los residuos orgánicos se incorporaron en el suelo con labores mínimas. El tratamiento que menor aumento presenta es el III, puesto que fue donde mayor disturbación se realizó.

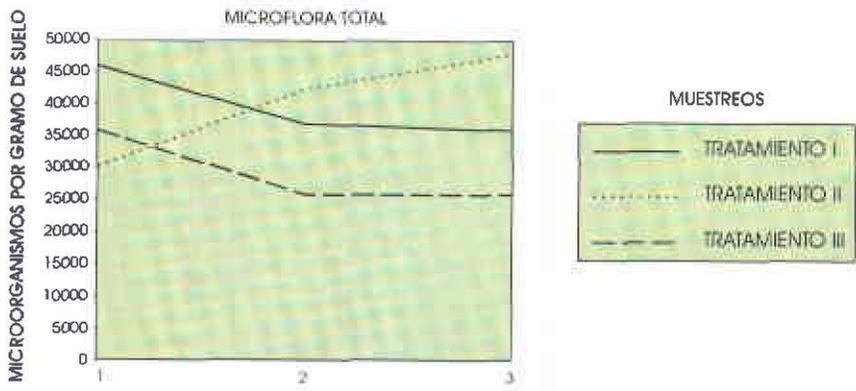


FIGURA 2. Comportamiento de la microflora total según los sistemas de labranza.

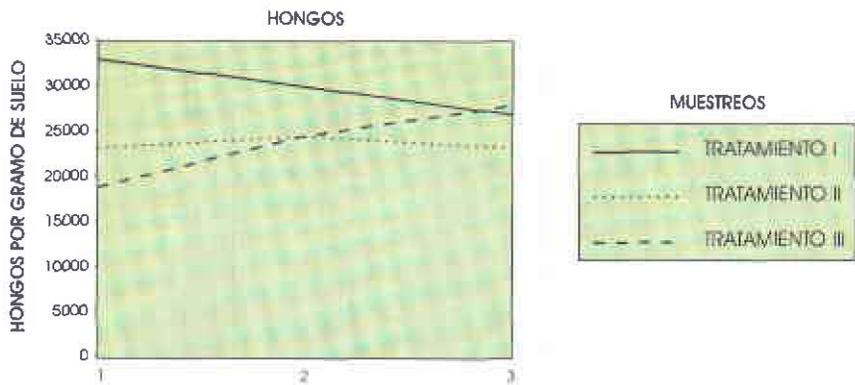


FIGURA 3. Comportamiento de los hongos de acuerdo a los sistemas de labranza.

TABLA 7. Efectos de diferentes sistemas de labranza sobre la microflora total del suelo.

MUESTREOS	TRATAMIENTO I	TRATAMIENTO II	TRATAMIENTO III
M1	46000	30000	36000
M2	37000	42000	26000
M3	35000	47000	27000

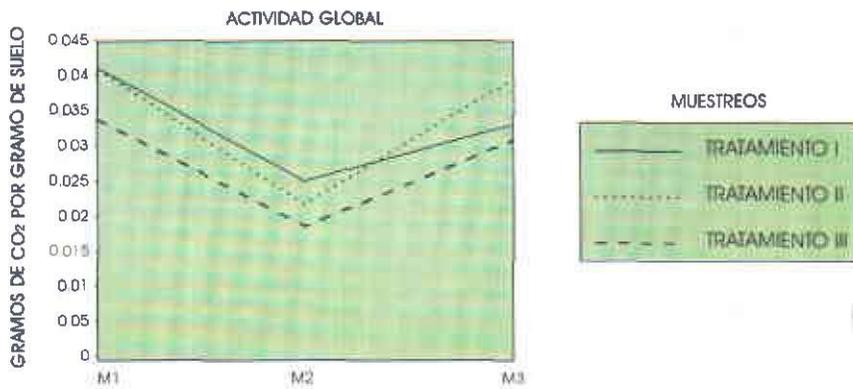


FIGURA 4. Actividad global de los microorganismos del suelo según los sistemas de labranza.

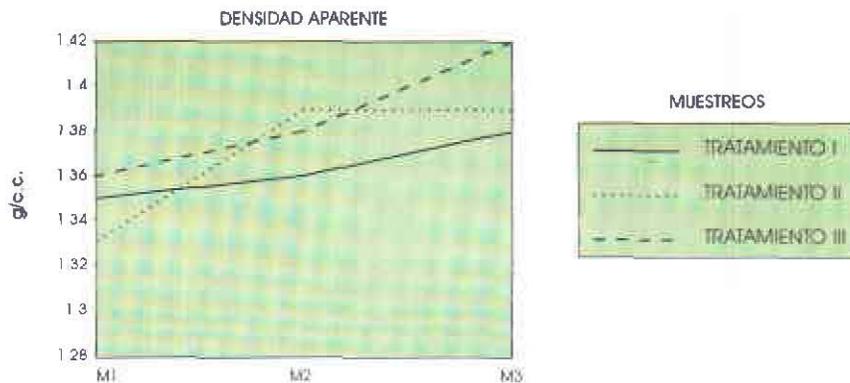


FIGURA 5. Comportamiento de la densidad aparente de acuerdo a los sistemas de labranza.

TABLA 8. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre los hongos del suelo.

MUESTREOS	TRATAMIENTO I	TRATAMIENTO II	TRATAMIENTO III
M1	33000	23000	19000
M2	30000	25000	25000
M3	27000	28000	23000

TABLA 9. Influencia de diferentes sistemas de labranza sobre la actividad global de los microorganismos del suelo.

Muestreos	Tratamiento I	Tratamiento II	Tratamiento III
M1	0.03355	0.0418	0.04136
M2	0.01881	0.02145	0.02514
M3	0.0308	0.0396	0.033

TABLA 10. Efectos de los sistemas de labranza sobre la densidad aparente.

MUESTREOS	TRATAMIENTO I	TRATAMIENTO II	TRATAMIENTO III
M1	1.35	1.33	1.36
M2	1.36	1.39	1.38
M3	1.38	1.39	1.42

TABLA 11. Humedad del suelo de acuerdo a diferentes sistemas de labranza.

MUESTREOS	TRATAMIENTO I	TRATAMIENTO II	TRATAMIENTO III
M1	30.69	31.77	28.68
M2	29.87	32.69	30.59
M3	25.51	23.64	29.99

TABLA 12. Eficiencia de los elementos en el suelo.

ELEMENTO	% _n	ELEMENTO	%	ELEMENTO	%
N	60-80	S	60-70	Zn	7-10
P	10-45	Cu	7-10	Fe	5-8
K	60-75	Mg	55-60	Mn	2-5
Ca	65-70	B	25-30	Mo	2-5

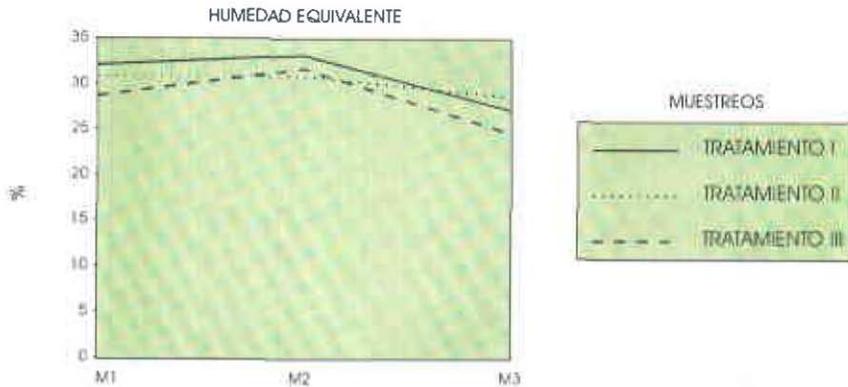


FIGURA 6. Condiciones de humedad del suelo con respecto a diferentes sistemas de labranza.

La microflora total presenta un comportamiento inversamente proporcional al número de labores que se realicen sobre el suelo. Se puede pensar, según lo anterior, que a medida que se aumentan las labores de mecanización, el medio natural de los microorganismos es alterado y por lo tanto la población disminuye notablemente.

Según los datos anteriores, los tratamientos I y II son los que más favorecen el desarrollo de los hongos en el suelo. Sin embargo, los diferentes sistemas de labranza afectan directamente la población de éstos en el suelo.

La actividad global de los microorganismos se afecta notablemente con las labores de mecanización en el suelo. En el tratamiento III es donde menor actividad se presenta. A partir del segundo muestreo la actividad empieza a recuperarse hasta que alcanza el nivel inicial.

En cuanto a densidad aparente se refiere, las condiciones que más inciden en el aumento de ésta son las que presentan mayor mecanización. Es el caso del tratamiento III donde alcanza el valor más alto.

El tratamiento donde se preserva mayor humedad en el suelo es aquel que menos labores ha tenido. La disminución drástica se da debido a la disminución de la precipitación.

Ayudas para interpretación de análisis de suelos y recomendación

Conversiones:

$\%M.O/20 \times 0.03 \times R \times 10^4 = k/ha$ de N disponible

$Pppmx R = k/ha$ de P

$P \times 2.2913 = P_2O_5$

$P_2O_5 \times 0.4364 = P$

K meq/100g.s x R x 391.02 = K k/ha	K x 1.2046 = K ₂ O	K ₂ O x 0.8301 = K
Mg meq/100g.s x R x 121.6 = Mg k/ha	Mg x 1.6580 = MgO	MgO x 0.6031 = Mg
Ca meq/100g.s x 200.40 x R = Ca k/ha	Ca x 1.3992 = CaO	CaO x 0.7147 = Ca

Donde R = peso de la hectárea de suelo en miles de toneladas.

Poder de neutralización de las cales

Carbonato de calcio CaCO ₃	100
Caliza-cal agrícola CaCO ₃	75-95
Cal viva CaO	150
Cal apagada Ca(OH) ₂	120
Cal dolomítica CaMg(CO ₃) ₂	110
Calfos	60-70

Conversiones en cales

Ca k/ha = D x 0.4 x P en cal agrícola
 Ca k/ha = D x 0.71 x P en cal viva
 Ca k/ha = D x 0.54 x P en cal apagada
 Ca k/ha = D x 0.22 x P en cal dolomita
 Mg k/ha = D x 0.13 x P en cal dolomita

En donde:

D = Dosis de la cal en kilogramos por hectárea

P = Pureza de la cal dividida por 100

Necesidades de cal

CaCO₃ tn/ha = (%Sali - %Salf / 100) x CICE x E x R/2

Para una profundidad de 20 cm.

E = Factor de corrección. Para suelo mineral 1.5, orgánico 2

R/2 = Peso de la hectárea en miles de toneladas dividido por 2

BIBLIOGRAFÍA

- GARAVITO, FABIO.** 1979. Propiedades químicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.
- GIRARD, H.; ROUGIEUX, R.** 1964. Microbiología agrícola. España.
- MALAGÓN, D.; MONTENEGRO G., H.** 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.
- PELCZAR, RIED CHANG.** 1988. Microbiología general. México.
- VAGNEROVA, KAMILA.** 1994. Properties of soil bacteria with reference to the colonization of roots by microorganisms. Institute of Microbiology Czechoslovak Academy of Science, Prague, Czechoslovakia.
- VAN, VEEN, J.A.; HEIJNEN, C.E.** 1994. The fate and activity of microorganisms introduced into soil. The Netherlands.
- WOOD, M.** 1995. Environmental Soil Biology.