PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO

Rodrigo Lora S.[1]

El medio de crecimiento más importante para las plantas es el suelo. Por tanto, si se desea obtener rendimientos rentables y de buena calidad, capaces de competir en los mercados internos y externos, es necesario entre otros factores conocer el suelo. Un suelo fértil es aquel capaz de suministrar a la planta nutrimentos esenciales en cantidades adecuadas y oportunas. Para ello debe poseer buenas propiedades físicas y químicas para que la planta tome nutrientes y agua, principalmente de la solución del suelo.

A continuación se informa y se discute lo relacionado con las principales propiedades físicas y químicas del suelo especialmente desde el punto de vista del mismo como medio de crecimiento de las plantas.

PROPIEDADES FÍSICAS

La física de suelos se encarga de evaluar sus propiedades físicas así como de la descripción, medición, interpretación y control de los procesos físicos que se reúnen en el. Por tanto estudia los estados y movimientos de la materia y los flujos y transformación de la energía en el suelo (Montenegro, H. 1991).

1 Ing. Químico, M.Sc. Profesor ingeniería Agronómica U.D.C.A. Santafé de Bogotá.

El conocimiento de las propiedades físicas permite conocer la importancia y efectos de actividades agrícolas fundamentales tales como la mecanización de los suelos, el drenaje, el riego, la conservación del suelo y el agua, y en general, el manejo adecuado de los suelos especialmente desde el punto de vista de sostenibilidad del recurso.

TEXTURA DEL SUELO

La textura se refiere a las proporciones de arena, limo y arcilla que se encuentran en una masa de suelo. Se emplea como criterio para evaluar otras propiedades tales como la superficie especifica, la permeabilidad, los índices de plasticidad, la capacidad de retención de agua y su movimiento a través de su perfil, el pronóstico de la capacidad de intercambio de cationes, la cantidad de suelo perdido por erosión y como ayuda taxonómica para clasificar los suelos (IGAC, 1990).

El método comúnmente empleado en los laboratorios de suelos para la determinación de la textura es el método hidrométrico o de Bou-youcos, el cual se basa en determinar la cantidad de sólidos en dispersión por medio del hidrómetro. De acuerdo al tamaño de partículas a los 40 segundos se ha precipitado la arena, a las dos horas se ha precipitado el limo y solo queda en dispersión la arcilla (IGAC, 1990). El diámetro de las partículas consideradas es el que aparece en la Tabla 1 (Montenegro, H. 1991).

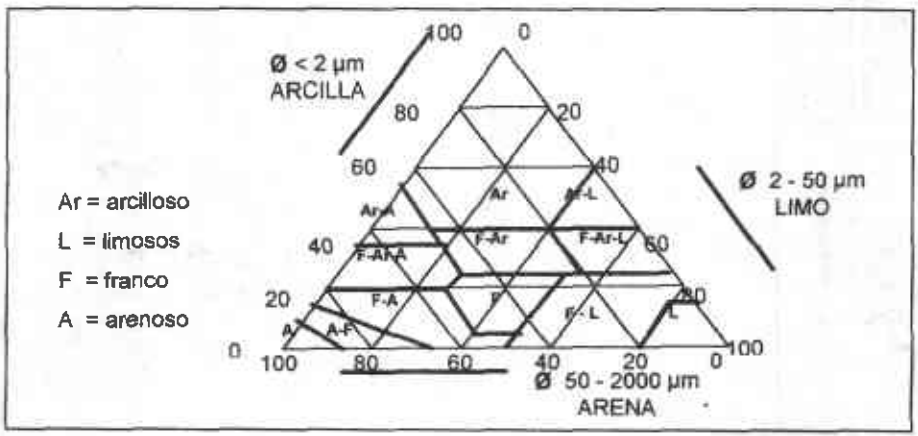
Tabla 1. Clasificación de las partículas según su diámetro

Particulas	Diámetro
Arena (A)	2 - 0.05 mm
Limo (L.)	0.05 - 0. 002 mm
Arcilla (Ar)	Menor que 0.002 mm

En el denominado triángulo textural se ubican los porcentajes de arena, limo y arcilla, para diferenciar texturas convencionales. Las combinacio-

nes posibles en los porcentajes de arcilla, limo y arena pueden agruparse en áreas por las clases de tamaño de partículas o clases texturales (Porta, C. y C. Roquero, 1994). La Figura 1 hace referencia al triángulo textural para definir las texturas convencionales.

Figura 1. Triángulo textural

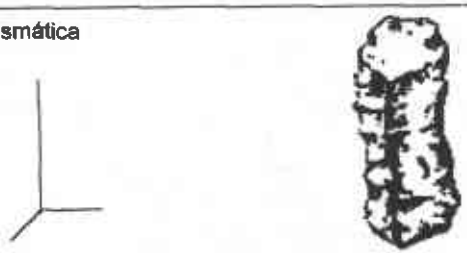
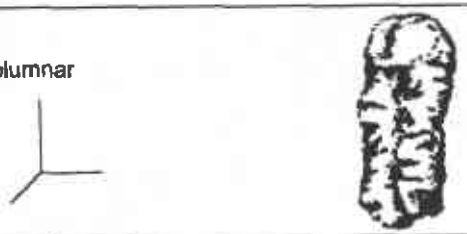
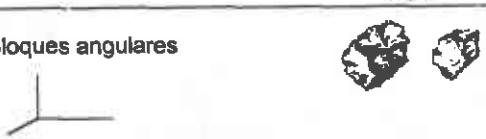


ESTRUCTURA DEL SUELO

Esta propiedad física del suelo está relacionada con la organización de las partículas en partículas secundarias o agregadas. Posiblemente es la propiedad física que más tiene relación con el crecimiento y desarrollo de las plantas; algunos de los factores que más se afectan son movimiento y retención de agua, contenido de aire, temperatura, procesos de contacto entre la raíz y los nutrientes y conductividad hidráulica e infiltración, entre otros. (Baver, L.D. y Gardner, W.H, 1972). La agregación esta dada por la floculación y la cementación. La floculación se debe a fenomenos electrocinéticos y la cementación consiste en el enlace de las partículas floculadas por acción de materiales cementantes como humus, coloides inorgánicos de hierro y aluminio, óxidos y carbonatos (Montenegro, H. 1991).

Con base en consideraciones morfológicas cualitativas los tipos de estructuras son las siguientes: (Porta, C. y C. Roquero 1994).

Figura 2. Tipos comunes de estructuras

Tipo de estructura (no se representa a escala)	Descripción
Laminar	Heredada en materiales depositados bajo el agua, por ejemplo en suelos de *llanuras de inundación*. Originada por impacto de las gotas de lluvia en costras superficiales. Impide la penetración vertical de las raíces, el agua y el aire.
Prismática 	Típica de horizontes enriquecidos en arcilla: Bt, endopediones argílicos. Los planos de debilidad corresponden a grietas de retracción. Los prismas pueden presentar una gran dureza y las raíces no son *capaces de penetrar en* ellos.
Columnar 	Prismas rematados en la parte superior por una cúpula. Típica de *suelos alcalinos* (*endospediones* natricos), Btna.
Bloques angulares 	Aristas rectas y caras rectangulares. Frecuente en endopediones cámbicos. Intersecciones curvas.
Bloques subangulares	Aristas agudas y caras curvas. Típica de suelos de zonas semiáridas y áridas con suelos pobres en materia orgánica. Frecuentemente en epipedones ochricos y endopediones cámbico y cálcico.
Granular compuesta	Esferas imperfectas. Es la estructura más favorable. Típica de medios biológicamente activos, ricos en bases y con materia orgánica. Epipedones de *praderas frecuente en mollicos*.
Migajosa	Granular compuesta muy porosa. Epipedones con materia orgánica bien evolucionada.

DENSIDAD Y POROSIDAD

La densidad hace referencia a dos aspectos: Densidad de las partículas del suelo o real, y densidad aparente en la cual se incluyen los espacios porosos más el componente sólido del suelo.

- **Densidad real**

Esta propiedad depende de la mineralogía, constitución química y del grado de hidratación de las partículas. Se define como la relación entre la masa de los sólidos y el volúmen total de las partículas sólidas del suelo, sin incluir el espacio poroso. La unidad de expresión es el gramo por centímetro cubico (g/cc).

- **Densidad aparente**

Es la relación entre la masa de suelo por unidad de volumen aparente de suelo seco. Las unidades de medidas son gramos por centímetro cubico (g/cc).

La densidad real y aparente ayudan a calcular la porosidad total del suelo, la predicción de pérdida de suelo, análisis mecánicos, estudios de conservación del suelo, coeficiente de expansión ; también para calcular la masa de la capa arable y en riegos, para calcular la lámina de agua y como parámetros para clasificación de suelos orgánicos y derivados de cenizas volcánicas.

POROSIDAD

La porosidad constituye una de las características más importantes del suelo desde el punto de vista de su fertilidad. En general los datos están referidos a la porosidad total. Es importante conocer la proporción relativa en cuanto hace referencia a poros grandes (10 - 50 µm y mayores en diámetro), por los cuales el agua de percolación sé moviliza; poros medianos (10 - 0.20 µ) en los que el agua esta disponible para las plantas; y poros pequeños (< 0.20 µ) en los cuales el agua no esta disponible para las plantas. Es de anotar que las texturas y el contenido de materia orgánica intervienen en la

porosidad del suelo (Montenegro, H. 1991). La porosidad total puede calcularse con la siguiente fórmula (Cortes, A. y D. Malagón, 1985):

$$\% P = \frac{(Dr - Da)}{Dr} X\ 100$$

Donde:
Dr = Densidad real
Da = Densidad aparente
%P = Porcentaje de porosidad

LÍMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG

Los límites de consistencia, llamados también límites de Atterberg, son índices de trabajabilidad o mecanización del suelo. Este investiga tres valores a saber: El límite plástico superior (límite liquido), esto es el contenido de humedad con el cual el suelo comienza a fluir bajo acción de una fuerza aplicada, el límite plástico inferior (límite plástico), o sea, el contenido mínimo de humedad con el cual el suelo puede convertirse en cilindros largos y delgados. El índice de plasticidad, o sea, la diferencia entre los límites liquido y plástico (IGAG - 1990).

INFILTRACIÓN

Es el proceso por medio del cual el agua penetra desde la superficie del suelo moviéndose hacia los mantos freáticos. Su conocimiento es importante debido a que establece criterios que deben tenerse en cuenta en la introducción de sistemas de riego y en general, para un adecuado aprovechamiento del recurso agua. La pérdida de estructura o el encostramiento del suelo impiden o dificultan la infiltración, haciendo que el agua se encharque o corra por la superficie impidiendo el humedecimiento del suelo.

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

Es importante el conocimiento de la conductividad hidráulica pues permite determinar la profundidad y espaciamiento apropiado de los drenes superficiales y subsuperficiales, los canales de riego y calcular y evaluar las pérdidas de agua por filtración. Se cuantifica el movimiento del agua en sentido vertical a través de suelo saturado.

RETENCIÓN DE HUMEDAD

La capacidad del suelo para retener agua que posteriormente va a ser utilizada por la planta es una propiedad física que debe ser cuantificada en los laboratorios de física de suelos y cuyo uso es común en los procesos de riego de los cultivos. Las curvas de retención de humedad consideran dos puntos importantes que son la denominada capacidad de campo o punto superior de contenido de humedad de suelo adecuado para la planta. Corresponde al contenido de humedad con que queda un suelo saturado después de someterlo a una presión de 0.3 Bars durante 24 horas. Por su parte, se determina el punto permanente de marchitez el cual hace referencia al contenido de agua que retiene un suelo saturado después de someterlo a una presión de 15 Bars por 24 horas. En ambos casos el contenido de humedad se expresa en por ciento en base seca a 105 ° C.

Factores como textura y contenido de materia orgánica influyen en la capacidad del suelo para retener agua.

INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS FÍSICOS

En las siguientes tablas aparece la interpretación de los resultados de análisis físicos de suelo (Montenegro, G. y D. Malagon, 1990):

Tabla 2. Indice de plasticidad

Índice de plasticidad	Interpretación
< 10	Poco plástico
10 - 20	Moderadamente plástico
> 20	Muy plástico

Tabla 3. Velocidad de infiltración

Velocidad de infiltración (cm/hora)	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 4. Conductividad hidráulica

Conductividad hidráulica		
cm/hora	m/día	Interpretación
< 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 -1.2	Moderada
5.0 - 12.0	1.2 - 2.9	Moderadamente rápida
12. - 18.0	2.90 - 4.30	Rápida
> 18.0	> 4.30	Muy rápida

Tabla 5. Retención de humedad según textura

Retención de humedad según textura		
Clase textura	% Retención de humedad	
	A 0.3 Bars	A 15 Bars
Arenosa	5-15	2 - 10
Franco arenosa	12 - 32	5 - 18
Franca	18 - 50	10 - 30
Franca arcillosa	20 - 40	12 - 35
Arcillosa	25 - 75	15 - 45

PROBLEMAS DE ORDEN FÍSICO USUALES EN EL CAMPO

Los principales problemas de orden físico que limitan la producción de cultivos se derivan de (Amezquita, E. 1994):

- Sequía debida a baja capacidad de infiltración
- Baja capacidad de almacenamiento de agua en el suelo
- Baja conductividad hidráulica del suelo
- Encostramiento de la superficie del suelo
- Pérdida de la estructura o estructura laminar
- Compactación.

CONCLUSIÓN

Por lo anterior es necesario conocer los procesos físicos y las propiedades físicas del suelo para mejorarlos, evitar la degradación y poder hacer un manejo sostenible del recurso y así permitir una agricultura atractiva a través del tiempo.

PROPIEDADES QUÍMICAS

QUIMICA DEL SUELO

"La parte de la ciencia del suelo concerniente a la constitución química, a las propiedades y a las reacciones de los suelos" (Glosario de términos de la ciencia del suelo, SSSAP, N° 29)

El suelo bajo la presencia de adecuado contenido de agua y microorganismos, es un material *dinámico,* cuyas propiedades químicas más importantes son: (Fassbender, H.1982).

1. Intercambio iónico
    - Intercambio catiónico
    - Intercambio aniónico

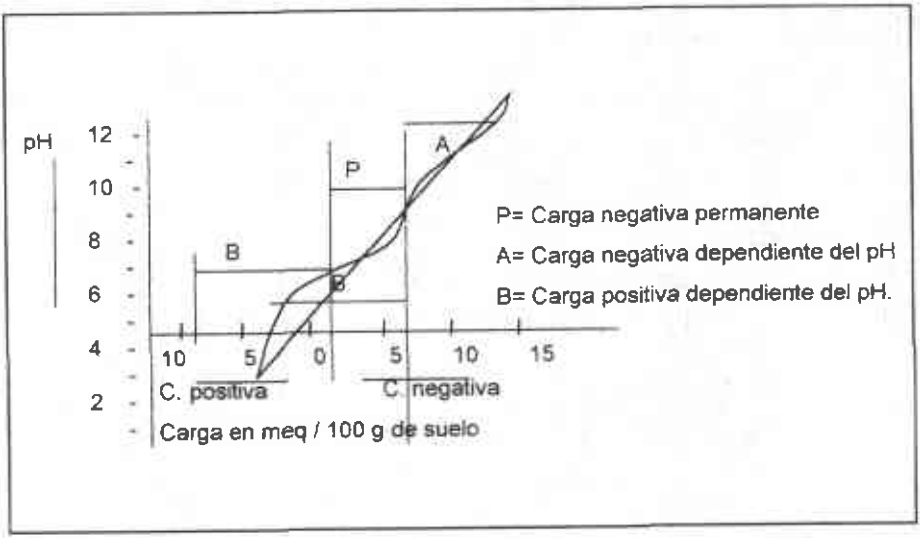
2. Reacción del suelo
   - Acidez
   - Alcalinidad
3. Condiciones de oxidación y reducción
4. Coagulación y peptización

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IÓNICO DEL SUELO

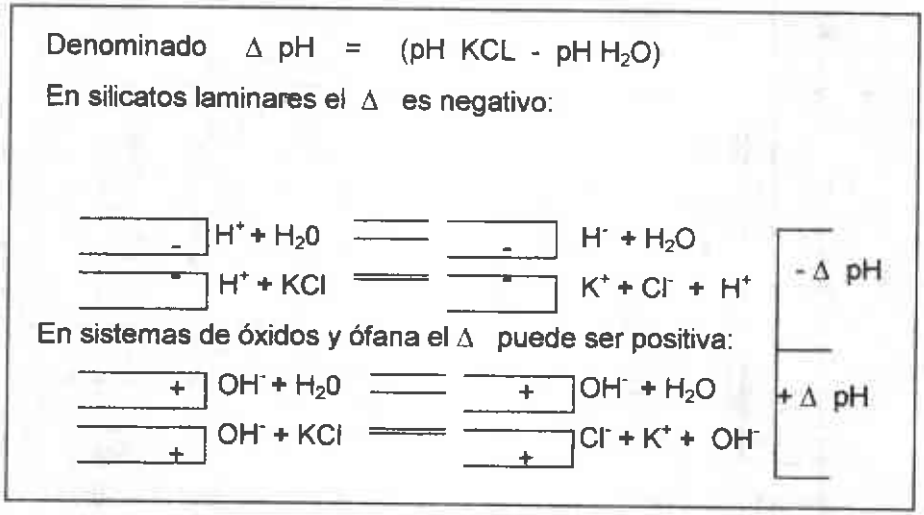
Proceso reversible por el cual cationes y aniónes son intercambiados entre fases liquidas y sólidas y entre fases sólidas en contacto. El intercambio iónico puede ser considerado como el más importante de todos los procesos que ocurren en el suelo.

Las cargas positivas crecen al disminuir el pH y las negativas al aumentarlo; en igualdad de cargas existe el "punto isoeléctrico", "pH isoeléctrico" o "carga cero".

Figura 3. Curva de valoración de un suelo rojo tropical (Russel, citado por Galiano, F. 1990)



- **Estado de carga de un suelo**



En la mayoría de los suelos tropicales hay predominio de cargas negativas. Solo en suelos con altos contenidos de óxidos y alófana, puede haber cargas positiva neta (Mejía, L. 1980). En este caso, en general puede presentarse fijación de fosfatos, molibdatos y boratos.

- **Doble capa difusa**

Los cationes y aniónes que neutralizan las cargas se encuentran en la "doble capa difusa" o "enjambre iónico".

El grosor de la doble capa difusa depende de la densidad de carga en la superficie micelar, contenido de electrolito y valencia de los iones presentes. En las Figuras 4 y 5 se aprecia esta situación (Galiano, F, 1990).

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO

Procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones positivos de la fase acuosa, desadsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen un equilibrio entre ambas fases. La materia orgánica, las arcillas y los hidróxidos funcionan

Figura 4. Distribución de la doble capa difusa y de las concentraciones aniónica y catiónica que rodean al complejo de cambio de la micela (Galiano, 1990).

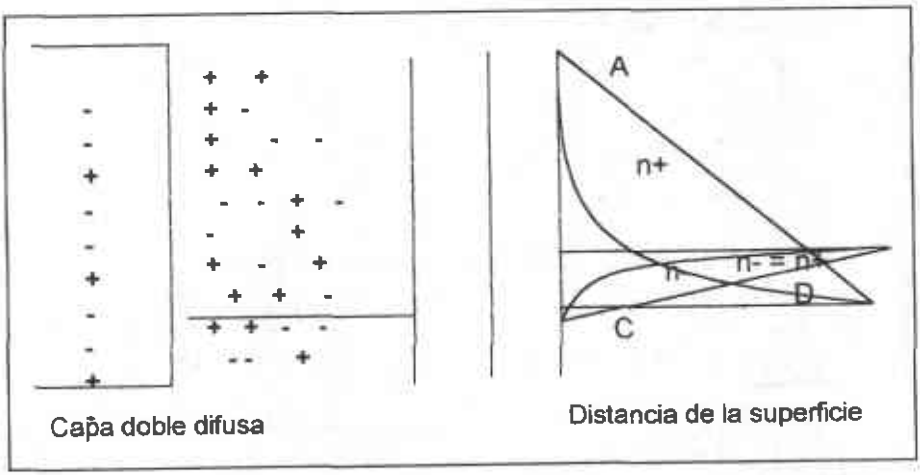
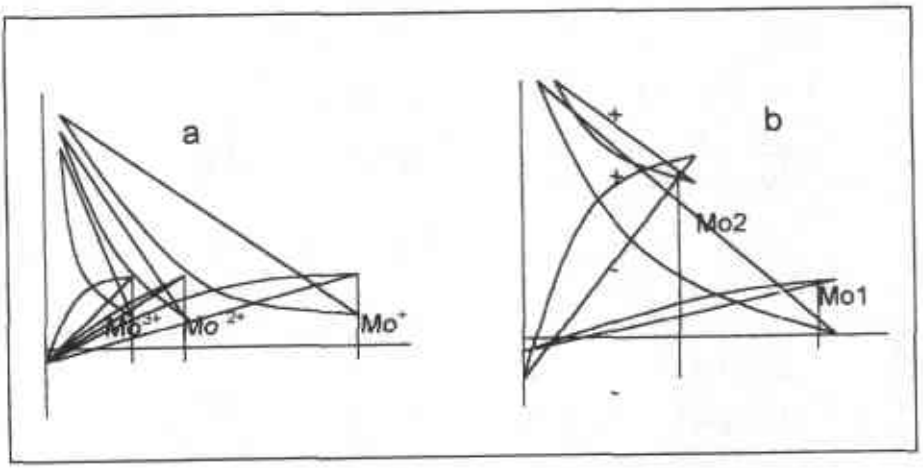


Figura 5. La doble capa en función de valencia de los cationes presentes en la solución del suelo (a) y de sus concentraciones (b).



como " cambiadores ". Como cationes "cambiables" en el suelo se presentan principalmente: Ca^{++}, Mg^{++}, K^{+}, Na^{+}, Al^{+++}, Fe^{+++}, e H^{+} (Fassbender, H. 1982)

ORIGEN DE LAS CARGAS NEGATIVAS EN EL COLOIDE MINERAL

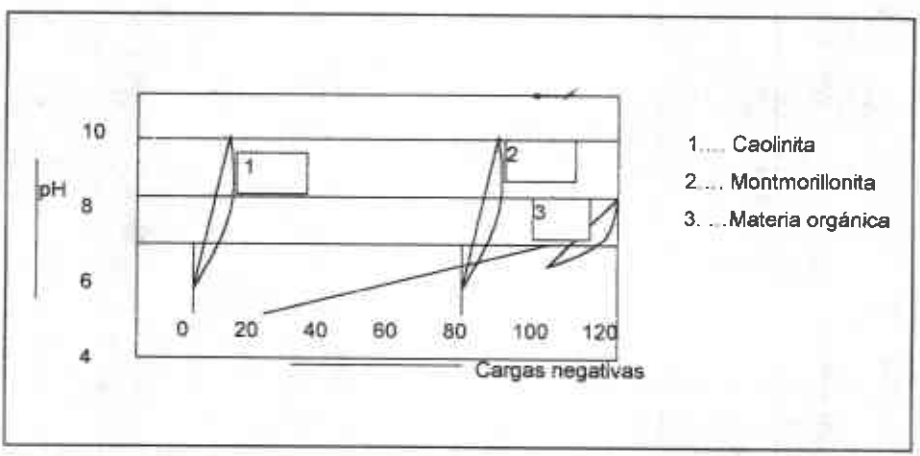
- Cargas permanentes

Se deben a sustitución isomórfica en las arcillas 2:1 y 2:2 del Si^{++++} por Al^{+++} en los tetraedros de silicio y del Al^{+++} por Mg^{++}, Fe^{++} o Mn^{++} en los octaedros de aluminio.

- Cargas variables

Se presentan en grupos SiOH o AlOH situados en los extremos libres o rotos de las láminas de sílice y alúmina. Al incrementar el pH por encima de 6.0 por hidrólisis aparecen cargas negativas, tal como se observa en la Figura 6.

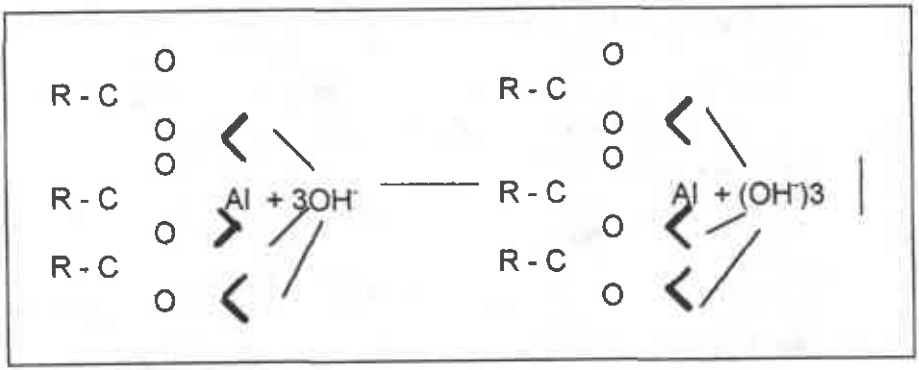
Figura 6. Efecto del pH en las cargas negativas de material inorgánico (Humus).



ORIGEN DE LAS CARGAS NEGATIVAS EN LOS COLOIDES HÚMICOS

Solo se presentan cargas dependientes del pH por hidrólisis del H^+ de los grupos carboxílicos (^-COOH), fenólicos ($\bigcirc$ OH), xílicos ($R\text{-}OCH_2$) y icos ($R\text{-}NH_2$). También por la precipitación del aluminio de complejos orgánicos al elevar el pH como se ve en la Figura 7.

Figura 7. Aumento en cargas negativas en los radicales carboxílicos al precipitarse el Al.



INFLUENCIA DE LA SUPERFICIE Y LA DENSIDAD DE CARGAS

A mayor superficie y densidad de carga, en general mayor es la C.I.C. tal como aparece en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores promedios de C.I.C., superficie y densidad de carga de algunas arcillas (Fassbender, H. 1982)

Material	C.I.C. meq/100 g	Superficie m^2/g	Densidad de carga meq/cm^2
Caolinita	6	30	2×10^{-7}
Illita	30	100	3×10^{-7}
Vermiculita	150	750	2×10^{-7}
Montmorillonita	100	800	1.3×10^{-7}
Alófano	80	450	1.8×10^{-7}

Tal como se observa en la Tabla 6 la caolinita solo tiene una capacidad de intercambio catiónico de 6 meq/100 g y su superficie es solo de 30 cm^2/g. Por su parte, la monmorillonita presenta una capacidad de intercambio catiónico de 100 y su superficie es de 800 cm^2/g. Claramente hay una relación positiva entre estas dos propiedades.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO ANIÓNICO

Bajo condiciones ácidas, por debajo del punto isoeléctrico, la materia orgánica, los hidróxidos de hierro y aluminio y los minerales arcillosos aceptan protones (H+) en los grupos OH- y NH2 dando lugar a cargas positivas.

$$(Al, Fe) \times OH + H^+ \rightleftharpoons (Al, Fe) \times OH2^+$$

A menor pH mayor adsorción de aniónes (desarrollo de carga positiva) como aparece en la Tabla 7.

Tabla 7. Adsorción de algunos aniónes en la fracción arcillosa de dos suelos tropicales (según Fassbender, F. 1982).

Caolinitico				Montmorillonitico		
pH	Cl^-	SO_4^{--}	PO_4^{---}	**pH**	Cl^-	PO_4^{---}
7.2	0.0	0.0	31.2	**6.8**	0.0	22.0
6.7	0.3	2.0	41.2	**5.6**	0.0	36.5
6.1	1.1	5.5	46.5	**4.0**	0.05	47.4
5.8	2.4	7.1	50.8	**3.2**	0.10	64.0
5.0	4.4	10.5	66.1	**3.0**	0.10	73.5
4.0	6.0	——	88.2	**2.8**	0.4	100.0

Los datos de la Tabla 7 muestran que al aumentar el pH se disminuye la capacidad de adsorción de algunos aniónes por parte de la fracción arcilla de algunos suelos, lo cual explica el efecto de disminución de la adsorción de algunos materiales que son sometidos al encalamiento.

SECUENCIA DE ADSORCIÓN DE ANIONES

$$NO_3^- = Cl < SO_4^{--} < MoO_4^{--} < HPO_4^{--} < H_2PO_4^-$$

La presencia de cationes acompañantes o complementarios influye sobre la retención de aniónes. Ej:

$$Na_2SO_4 < (NH_4)_2SO_4 < K_2SO_4 < CaSO_4$$

ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

La adsorción de aniónes se ha evaluado utilizando isotermas de adsorción empleadas para describir la adsorción de gases en superficies sólidas (Galiano, F. 1990).

a. Isoterma de Freundlich:

$$y = Kc \times 1/n$$

donde: y = cantidad de anión adsorbido por unidad de peso de suelo

c = concentración del anión en la solución de equilibrio

K - n = constante

b. Isoterma de Langmuir:

Permite calcular la capacidad máxima de adsorción.

$$\frac{C}{x/m} = \frac{1}{Kb} + \frac{c}{b}$$

donde: x / m = Cantidad de anión por unidad de peso de suelo

c = Concentración de equilibrio

b = Capacidad máxima de adsorción

k = Constante de la energía de adsorción

1/b = Inclinación de la isoterma

Este tipo de información es muy importante cuando se necesita llevar a cabo un manejo adecuado de los suelos. En general, en andisoles la capa-

cidad de adsorción y fijación del boro es más alta que en oxisoles debido a la elevada actividad del alófano en este aspecto (Rojas, A. 1989).

El manejo del suelo puede influir en la capacidad de adsorción de fósforo de los andisoles tal como se encontró en Andisoles de Cundinamarca cuya capacidad se redujo al aplicar gallinaza conjuntamente con el fósforo, aumentando así la eficiencia de la fertilización fosfatada en papa criolla (Peña, F. 1997).

REACCIÓN DEL SUELO

Tanto las propiedades químicas, físicas y biológicas son influenciadas por esta característica del suelo.

- Producto iónico del agua

$$2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$$

$$\frac{C_{H3O} \times C_{OH^-}}{C^2_{H2O}} = Kw$$

$C_{H3O} \times C_{OH} = Kw$ ___ producto iónico del agua

___ 1×10^{-14} moles / L a 25 ° C

- Medida de la acidez

Según Sörensen

$$pH = \log \frac{1}{[\ddot{H}_3O^+]}$$

Valores de pH según la concentración de H_3O^+:

C_{H3O}	10^{-6}	$10^{-1.03}$	10^{-5}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
PH	0.6	1.03	5	7	8	9	10

Solución neutra: $C_{H3O}+ = 10\text{-}7$; pH = 7

Solución ácida: $C_{H3O}+ > 10\text{-}7$; pH < 7

Solución ácida: $C_{H3O}+ < 10\text{-}7$; pH > 7

FUENTES DE ACIDEZ EN LOS SUELOS (Fassbender, H. 1982)

a. Grupos ácidos de los minerales arcillosos

4 Iones H_3O^+ cambiables

4 Iones Al^{+++} cambiables

4 Grupos $\equiv SiOH$ y $\equiv AlOH$ estructurales

La hidrólisis del aluminio produce:

$$Al^{+++} + HOH \rightleftharpoons Al(OH)^{++} + H^+;\ pH:\ 4 - 4.5$$

$$Al(OH)^{++} + HOH \rightleftharpoons Al(OH)_2^{++} + H^+;\ pH:\ 4.5 - 5.5$$

$$Al(OH)_2^{++} + HOH \rightleftharpoons Al(OH)_3^{++} + H^+;\ pH:\ 5.5 - 7.5$$

b. Grupos ácidos de la materia orgánica.

$$R\text{-}COOH + H_2O \rightleftharpoons RCOO^- + H_3O^+$$

$$R\text{-}OH + H_2O \rightleftharpoons RO^- + H_3O^+$$

c. Ácidos solubles

- Producidos por fertilizantes amoniacales al pasar a nitratos
- Oxidación de sulfuros y azufre elemental
- Ácidos orgánicos procedentes de la mineralización de la materia orgánica

FUENTES DE ALCALINIDAD EN LOS SUELOS

- Sustancias que al reaccionar con el agua producen iones hidróxilo (OH^-)
- Reemplazo del Al y H adsorbidos por K, Na, Ca y Mg. La concentración de H+ en la solución disminuye y aumenta el OH^-
- Efecto del Ca, Mg, K y Na influyen en la concentración de OH^-.

$$\boxed{\text{Complejo de Cambio}} - Ca + HOH = \boxed{\text{Complejo de Cambio}} - \overset{H+}{\underset{H+}{Ca^{++}}} + 2OH$$

- En general entre más alta es la saturación de bases, el pH es más elevado.

ACIDIFICACIÓN POR MANEJO DEL SUELO. (Guerrero, R. 1991)

- Irrigación - Lavado de bases
- Fertilización - Fertilizantes amoniacales al oxidarse liberan H+

Ej: $-2NH_4 + {}_3O_2 \xrightarrow{\text{microorganismos}} 2NO_3 + 8H^+$

$-S + 3/_2 0_2 + H_2O \longrightarrow SO_4^{--} + 2H^+$

$-{}_2FeS_2 + 7\frac{1}{2}\, O_2 \longrightarrow 4SO_4^{--} + 8H^+ + {}_2Fe(OH)_3$

- Absorción diferencial de iones por las leguminosas
- Extracción de Ca -Mg - K.
- Descomposición de residuos orgánicos vegetales.

CLASIFICACIÓN DE LA ACIDEZ (Porta, C. y C. Roquero, 1994)

- Acidez activa: Iones H^+ en la solución del suelo proveniente de diferentes fuentes. En general se determina potencialmente.
- Acidez intercambiable: Aluminio intercambiable (Al^{+++}) e hidrogeno intercambiable (H^+) retenidos en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas.
- Acidez no intercambiable: *Hidrogeno en enlace* covalente en la superficie de los minerales arcillosos de carga variable.
- Acidez potencial: Acidez intercambiable más acidez no intercambiable.

PROBLEMAS FISIOLÓGICOS DE LAS PLANTAS EN SUELOS ÁCIDOS

- Toxicidad por exceso de aluminio
- Toxicidad por exceso de hierro y manganeso.
- Deficiencia de calcio, magnesio y fósforo.
- Deficiencia de molibdeno por baja disponibilidad.
- Alteración de las poblaciones y actividad microbiana.
- Efecto directo de pH (concentración de iones H^+)

Para estos problemas, en general, se recurre al empleo de plantas con tolerancia a la acidez o al proceso de encalamiento de los suelos (Guerrero, R. 1990). Por ejemplo, en los Llanos Orientales de Colombia se han desarrollado para algunos cultivos materiales con bastante tolerancia al aluminio intercambiable lo cual ha permitido una mejor utilización de estos suelos (Sánchez, F. 1994)

ENCALADO

Aplicación de enmienda a base de calcio, magnesio o calcio más magnesio.

- Reacción de la cal en el suelo (Espinosa, J. 1994)

$CaCO_3$ ——— $Ca^{++} + CO_3^-$

$Ca^{++} + H_2O$ ——— $HCO_3 + OH^-$

$HCO_3^- + H_2O$ ——— $H_2CO_3 + OH^-$

H_2CO_3 ——— $CO_2 + H_2O$

H+ (Solución del suelo) + OH ——— H_2O

- Reacción general de la cal (Guerrero, R. 1990)

$2\ Al - Suelo + 3\ CaCO_3 + 6\ HOH = 3Ca\ Suelo + 2\ Al(OH)_3 + {}_3H_2CO_3$

- Reacción de cal (Guerrero, R. 1990)

$$Y = 1.8 \times Al - \frac{RAS\ (Al + Ca + Mg)}{100}$$

donde: Y = Ton. Cal / ha.

Al = aluminio intercambiable en meq/100 g.

RAS = Porcentaje de aluminio tolerable por el cultivo.

Al,Ca,Mg intercambiables en meq/100 g.

Tabla 8. Promedio de pH y saturación de aluminio en varias clases de suelos en el departamento del Meta (Sánchez, F. 1994)

Clase de suelo	pH	% Al	Área (ha)
Clases I y II	5.33	15	9.800.000
Clase III	4.7	59	467.000
Clase IV	4.6	83	3.101.000

Usos actuales y potenciales:

Clase I: Algodón, maíz, sorgo, soya, arroz secano, plátano, frutales.

Clase II: Arroz secano, guinea y pastos introducidos.

Clase III: Arroz riego, palma africana, pastos introducidos, yuca y topocho.

Clase IV: Pastos introducidos, tabaco rubio, maní, palma africana marañon y caupí.

CONDICIONES DE OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN:

La formulación de las reacciones redox es:

Oxidación

4 Estado reducido ═══ Estado oxidado + electrones

reducción

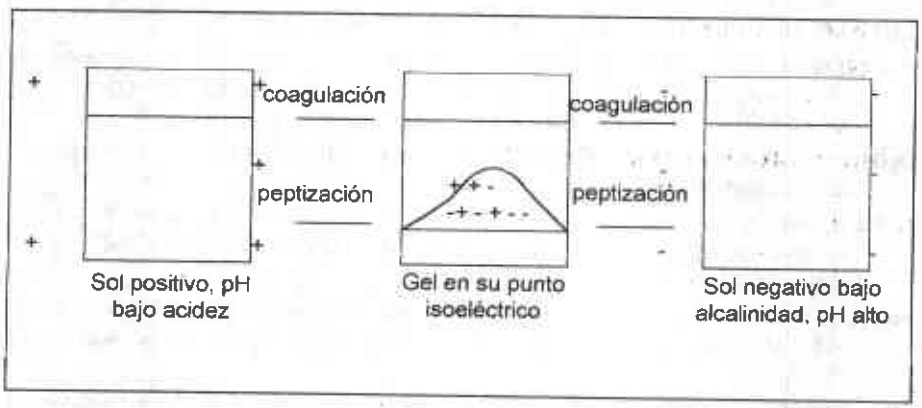
Tabla 9. Algunas reacciones de oxidación en suelos (Lora, R. 1994)

Reacción	Eh (Mv)	Reacción
1	968	$2\ NO_2^- + 8H^+ + 6e \rightleftharpoons N_2 + 4H_2O$
2	421	$NO_3^- + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons N_2^- + H_2O$
3	- 153	$Cu^{++} + e \rightleftharpoons Cu^+$
4	- 185	$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e \rightleftharpoons Fe^{++} + 3H_2O$
5	- 245	$CO_2 + 8H^+ + 8e \rightleftharpoons CH4 + 2H_2O$
6	- 401	$MnO_2 + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons Mn^{++} + 2H_2O$

En general la química de los suelos inundados gira alrededor de las condiciones se oxidoreducción del medio. Elementos como el hierro y el manganeso relacionan su disponibilidad para la planta al estado de reducción en que se encuentran. Por tanto, el arroz - riego que crece en condiciones de suelos reducidos debe ser manejado en su nutrición desde el punto de vista de la físico-química de los suelos inundados.

COAGULACIÓN Y PEPTIZACIÓN

Se deben al carácter anfótero de los coloides. Son objeto de especial consideración en física de suelos.



Bajo condiciones de pH por encima del punto isoeléctrico, los coloides dispersos en agua forman una suspensión, esto es, forman en ese medio un sol. Bajo condiciones ácidas a pH por debajo del punto isoeléctrico, igualmente los coloides permanecen en suspensión. El sol se precipita, esto en forma de gel, al alcanzar el punto isoeléctrico por modificación del pH o por un aumento de los electrolitos (Fassbender, H. 1982).

CONCLUSIÓN

El conocimiento de las propiedades químicas permite saber sobre la eficiencia de los tratamientos y enmiendas aplicadas al suelo para un mejor desarrollo de las plantas. Tanto las propiedades físicas como químicas deben ir estrechamente articuladas para determinar si un suelo es productivo o no.

BIBLIOGRAFIA

AMÉZQUITA, E. 1994. Propiedades y procesos físicos del suelo. En: Fertilidad de suelos, diagnostico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá D.E.

BAVER, L.D. and W.H. GARDNER. 1972. Física de suelos. México D.F. Uteha.

CORTÉS, A. y D. MALAGON, 1985. Los levantamientos agrológicos múltiples. U.J.T.L. Bogotá.

ESPINOSA, J. 1994. *Acidez y Encalado de los suelos.* En: Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Santafé de Bogotá. Pp 345 - 403.

FASSBENDER, H. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José de Costa Rica.

GALIANO, F. 1990. Capacidad de Intercambio Catiónico y Aniónico, Bases de cambio y saturación. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Pp 164 - 186.

GLOSSARY OF SOIL SCIENCE TERMS. 1965. SSSAP. N° 29; 330 - 351

GUERRERO, R. 1991. La acidez del suelo. Su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. Pp 141 -164

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 1990. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos, Bogotá D.E.

LORA, R. 1994. Factores que afectan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas. En: Fertilidad de suelos, Diagnóstico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá. Pp 29 - 57.

MEJÍA, L. 1980. La mineralogía del suelo y sus reacciones con la fertilidad. En: Fertilidad de suelos, *Diagnóstico y Control.* Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá . Pp 29 - 85

MONTENEGRO, G. 1991. Interpretación de las propiedades Físicas del Suelo. En: Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y Aguas para riego. Pp 99 - 128. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

MONTENEGRO, G. y D. MALAGON. 1990. Propiedades Físicas del Suelo. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.

PEÑA, F. 1997. Respuesta de la papa criolla (**Solanum phureja**) a la aplicación de Fósforo y materia orgánica en suelos derivados de cenizas volcánicas de Cundinamarca y Boyaca. Tesis Ingeniería Agronómica. *Universidad de Ciencias* Aplicadas y Ambientales. Santafé de Bogotá.

PORTA, C. y C. ROQUERO. 1994. Edafología para la agricultura y el Medio Ambiente. Ed. Multiprensa. Madrid, España.

ROJAS, A. 1988. Mineralogical Influences on Boron Adsorción in Soils from Colombia. Ph.D. Thesis, University of California. Riveriside, U.S.A.

SÁNCHEZ, F. y E. OWEN. 1994. Fertilidad de los suelos y fertilización de cultivos en los Llanos Orientales. En: Fertilidad de Suelos. Diagnóstico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá. p. 345 - 403.