

CONTENIDO

- ❖ El pH
 - Determinación del pH del suelo
 - Método potenciométrico
 - Métodos colorimétricos
 - Factores que afectan la medida del pH
 - Efecto de dilución
 - Efecto de las sales
 - Efecto del contenido de CO₂
 - Variaciones estacionales
 - Calificación del pH del suelo
 - Importancia del pH en el suelo
 - En la disponibilidad de nutrientes
 - En la identificación del tipo de carga de los coloides
 - En la taxonomía de suelos
 - Para detectar coloides inorgánicos amorfos
 - Capacidad buffer del suelo

- ❖ Suelos ácidos
 - Fuentes de acidez en el suelo
 - Grupos ácidos de los coloides inorgánicos del suelo
 - Grupos ácidos de la materia orgánica
 - Ácidos solubles
 - Formación de suelos ácidos
 - Tipos de acidez en el suelo
 - Acidez activa
 - Acidez intercambiable
 - Acidez titulable o potencial
 - Acidez total

- Grupos y propiedades de suelos ácidos
 - Suelos minerales con pH < 4.5
 - Suelos minerales con pH entre 4.5 y 5.5
 - Suelos minerales con pH entre 5.5 y 6.5
 - Suelos orgánicos
 - Interpretación de la reacción en suelos ácidos y neutros
 - El pH
 - La acidez intercambiable
 - Manejo de los suelos ácidos minerales
 - Suelos con pH entre 5.5 y 6.0
 - Suelos con pH < 5.5
 - Clasificación taxonómica de suelos ácidos
- ❖ Suelos básicos
- Fuentes de alcalinidad en el suelo
 - Formación de suelos básicos
 - Grupos y propiedades de los suelos básicos
 - Suelos salinos
 - Suelos sódicos
 - Suelos salino – sódicos
 - Otros suelos básicos
 - Manejo de los suelos básicos
 - Suelos salinos
 - Suelos sódicos
 - Suelos salino – sódicos
 - Clasificación taxonómica de los suelos básicos

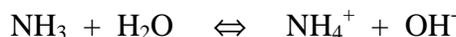
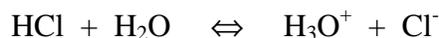
OBJETIVOS

- ❖ Aprender a manejar el pH como indicador del grado de acidez o de basicidad que tiene el suelo
- ❖ Conocer los métodos más comunes para medir el pH del suelo
- ❖ Conocer los diferentes grupos de suelos que se pueden formar, de acuerdo con el pH que tengan
- ❖ Conocer cómo se forman, las propiedades, el manejo y la clasificación taxonómica de los suelos ácidos y básicos



La reacción del suelo es aquella propiedad que establece el grado de **acidez** o de **alcalinidad** que él presenta y tiene una gran influencia en muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Por esta razón, es una de sus propiedades más importantes.

En términos generales, una sustancia es considerada como un **ácido** cuando tiene la capacidad de **ceder protones** al disociarse, para formar **hidronio** (H_3O^+). Análogamente, una sustancia se considera como una **base** cuando al disociarse **recibe protones** del agua, que actúa como ácido, y origina iones **hidróxido** (OH^-); las siguientes reacciones ilustran lo anterior:



En las reacciones anteriores, el HCl es un ácido y el NH_3 es una base; obsérvese que el agua tiene la capacidad de actuar como una base, en la primera reacción, o como un ácido en la segunda; el ácido y la base que se producen después de la reacción con el agua se llaman **conjugados**; así, el H_3O^+ es el ácido conjugado del H_2O y el Cl^- es la base conjugada del HCl, en la primera reacción; en la segunda reacción, el NH_4^+ es el ácido conjugado del NH_3 y el OH^- es la base conjugada del H_2O .

1. EL pH

La reacción del suelo se evalúa al determinar el pH del mismo, es decir, al establecer el logaritmo del inverso de la concentración de H_3O^+ que hay en la solución del mismo:

$$pH = \text{Log} \frac{1}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = -\text{Log} [\text{H}_3\text{O}^+] \quad [14.1]$$

El pH, según Fassbender (1982), es una relación entre los contenidos de protones y de iones OH^- , por lo cual se cumple que en agua pura **pH + pOH = 14**; la relación anterior implica entonces que una solución tendrá una condición **neutra** (pH = pOH) cuando su pH sea igual a **7.0**.

1.1. DETERMINACIÓN DEL pH DEL SUELO

El pH en el suelo se mide en una suspensión de suelo en agua o en soluciones salinas y puede llevarse a cabo esta determinación en forma colorimétrica o potenciométrica, como se detalla más adelante.

1.1.1. Método potenciométrico

Es el método utilizado en el laboratorio. Lo más frecuente es determinar el pH en una suspensión suelo: agua, en proporción de 1:1, en peso aunque, por facilidad se utiliza comúnmente hacer una

relación volumétrica 1:1. El procedimiento, según el Soil Survey Laboratory (SSL, 1996), consiste en:

- Se calibra el potenciómetro con las soluciones buffer que se tienen para este efecto, a pHs de 4 y de 7.
- Se toma una muestra de 20 g de suelo seco al aire, se coloca la muestra en un beaker de volumen adecuado al tamaño de ella y se le adicionan 20 g de agua destilada (20 mL son equivalentes); si se va utilizar la relación con volumen, se toma la muestra de suelo con una cuchara volumétrica, enrasándola bien en el borde de la misma y, con la misma cuchara, se toma un volumen de agua destilada igual al volumen de la muestra de suelo; se deja la suspensión en reposo durante 1 hora, agitándola ocasionalmente.
- Se introduce el electrodo de vidrio del potenciómetro en la suspensión, teniendo la precaución de que quede en contacto con el suelo y se hace la lectura correspondiente.
- Chequear la calibración del potenciómetro, cada cierto número de muestras (12 por ejemplo).

En algunos casos, se hace necesario ampliar la proporción suelo-agua para hacer la suspensión; ésto es común cuando se trabaja con suelos que tienen altos contenidos de materia orgánica, con suelos orgánicos o con algunos Andisoles; las variantes más comunes son las que utilizan relaciones volumétricas 1:2 o 1:5, suelo-agua; el procedimiento con estas variantes es igual al descrito anteriormente.

Otras variaciones que se utilizan en el método potenciométrico consisten en cambiar el agua por soluciones de KCl 1N o de CaCl₂ 0.01M para hacer las suspensiones; en estos casos, las relaciones suelo-agua son peso-volumen. Las relaciones más comunes son 1:1 peso-volumen en solución de KCl (20 g de suelo en 20 mL de solución) y 1:2 peso-volumen en solución de CaCl₂ (10 g de suelo en 20 mL de solución). La determinación del pH se hace siguiendo también el método descrito al comienzo de este numeral.

Fassbender (1982) sostiene que el pH medido en agua es más variable que aquel que se mide en soluciones, razón por la cual se ha recomendado el mecanismo de hacer la suspensión de suelo en soluciones para estabilizar los valores de pH del suelo.

1.1.2. Métodos colorimétricos

Son métodos menos precisos que los potenciométricos pero de más fácil aplicación. Son métodos que se utilizan en el campo (cabe aclarar que hay potenciómetros de bolsillo para usar en campo) y se basan en el principio de los **indicadores** que son sustancias que cambian o producen un determinado color cuando el medio en el cual se encuentran adquiere un determinado valor de pH.

En las determinaciones colorimétricas del pH se debe tener mucho cuidado al hacer la preparación de la pasta de suelo, así como al hacer la comparación del color desarrollado en ella con los colores de referencia para establecer el valor del pH, puesto que, como ocurre con la

determinación de la textura al tacto, se requiere entrenamiento para hacer una buena aproximación al valor real, máxime cuando los colores representan rangos de valores relativamente amplios.

Para confirmar lo expuesto, se hicieron 71 determinaciones de pH con muestras de horizontes A y 42 con muestras de horizontes B de suelos, todas colorimétricas (Hellige-Truog) y llevadas a cabo por tres personas que tomaron las muestras al azar y sin replicar ninguna, que no tenían mayor experiencia en este tipo de determinaciones. También se determinó el pH en agua 1:1 v:v, por el método potenciométrico, a todas las muestras y se compararon los resultados obtenidos. La variación en las determinaciones realizadas se presenta en la Tabla 14.1. Se aprecia en esta tabla que el error en la apreciación colorimétrica puede ser considerablemente grande, tanto por encima como por debajo del valor potenciométrico obtenido. Además, los errores de apreciación son más variables en el horizonte A, probablemente por enmascaramiento del color por parte de la materia orgánica presente en ese horizonte.

TABLA 14.1. Distribución de frecuencia de las diferencias de pH obtenidas entre los métodos potenciométrico y colorimétrico, realizadas por personas sin entrenamiento suficiente, en horizontes A de 71 suelos y en horizontes B de 42 suelos (Resultados de Jaramillo, 1999, sin publicar).

RANGO DE LA DIFERENCIA*	NÚMERO DE MUESTRAS	FRECUENCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ACUMULADA (%)
HORIZONTES A			
-1.8 a -1.3	4	5.63	5.63
-1.3 a -0.8	23	32.39	38.03
-0.8 a -0.3	17	23.94	61.97
-0.3 a 0.2	17	23.94	85.92
0.2 a 0.7	5	7.04	92.96
0.7 a 1.2	4	5.63	98.59
1.2 a 1.7	0	0	98.59
1.7 a 2.2	1	1.41	100
HORIZONTES B			
-1.9 a -1.33	3	7.14	7.14
-1.33 a -0.76	11	26.19	33.33
-0.76 a -0.19	16	38.10	71.43
-0.19 a 0.39	7	16.67	88.10
0.39 a 0.96	3	7.14	95.24
0.96 a 1.53	2	4.76	100

* La diferencia corresponde a: pH potenciométrico – pH colorimétrico.

Un método muy utilizado en suelos es el de **Hellige-Truog**, el cual tiene un rango de medida de pH entre 4 y 8.5; se usa un reactivo compuesto por tres indicadores diferentes; para hacer las determinaciones con este método, se procede de la siguiente forma:

- Se coloca una muestra de suelo de tamaño adecuado en una de las copitas del soporte de plástico.

- Se adicionan gotas del reactivo triple (líquido) de manera que pueda formarse una pasta saturada con el suelo. Se revuelve la mezcla 1 ó 2 minutos y al cabo de este tiempo se deja una superficie pulida en el suelo de la copa.
- Sobre la superficie pulida se espolvorea el otro reactivo (polvo blanco) y se deja reaccionar 2 minutos; transcurrido este tiempo, se compara el color desarrollado con la tabla de colores que trae el equipo y se determina el pH que le corresponde a ese color.

1.2. FACTORES QUE AFECTAN LA MEDIDA DEL pH

Los valores que toma el pH pueden variar de acuerdo a ciertas circunstancias bajo las cuales se hace la determinación. Los principales factores que afectan estas medidas se discuten a continuación y se ilustran con los resultados expuestos en la Tabla 14.2 y en la Figura 14.1.

1.2.1. Efecto de dilución

La proporción suelo - agua o solución con la cual se prepare la suspensión para medir el pH afecta esta medida. Si la relación 1:1 se altera, adicionando más agua o solución, el valor del pH se aumenta, debido a que se diluye la solución del suelo y se expande la doble capa difusa (DCD). Por esta razón, varios protones pueden pasar a la capa difusa, desde la solución externa (por fuera de la DCD) del suelo, retirando parte de la acidez de ella y, por lo tanto, haciéndola más básica.

TABLA 14.2. Valores de pH de varios suelos seleccionados de Antioquia medidos bajo diferentes circunstancias. (Resultados de Jaramillo, 1999, sin publicar).

HORIZONTE	pH agua v:v			pH KCl 1N p:v			pH CaCl ₂ 0.01M p:v			pH NaF 1:50
	1:1	1:2.5	1:5	1:1	1:2.5	1:5	1:1	1:2.5	1:5	
Vertic Haplustept fino esmectítico isohipertérmico (SSS; 1998) (Promedio de 3 determinaciones)										
A	7.3	7.68	7.69	5.12	5.56	5.56	6.40	6.69	6.73	-
Bw1	7.5	7.82	7.88	-	5.39	5.41	6.60	6.76	6.87	-
Bw2	7.6	7.85	7.89	-	5.33	5.36	6.70	6.87	6.99	-
Bw3	7.5	7.86	8.02	4.38	5.27	5.30	6.40	6.89	6.91	-
BC	7.5	7.89	7.99	4.70	5.10	5.11	6.40	6.84	6.85	-
Dystrudept isotérmico (SSS; 1998) (Promedio de 3 determinaciones)										
A	4.20*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bw	5.23	5.4	5.52	-	-	-	-	-	-	-
C	3.96	-	4.37	2.89	-	3.11	-	-	-	-
Thaptic Hapludand isomésico (SSS; 1998) (Promedio de 3 determinaciones)										
Ap	4.9	-	-	3.9	-	-	-	-	-	11.2
AC	5.1	-	-	4.2	-	-	-	-	-	11.4
C	5.4	-	-	4.5	-	-	-	-	-	10.5
Ab	4.9	-	-	4.3	-	-	-	-	-	-
A/Bb	5.2	-	-	4.0	-	-	-	-	-	11.4
Bgb	5.2	-	-	3.8	-	-	-	-	-	11.2

* Se hizo esta determinación también en una suspensión 1:1 pero p:v; el valor promedio encontrado fue de 4.4, diferencia que no fue significativa estadísticamente (al 95%) con respecto al de la suspensión volumétrica.

1.2.2. Efecto de las sales

Cuando el pH del suelo se mide en una suspensión hecha con una solución salina adquiere un menor valor (es más ácido) que cuando se determina en una suspensión hecha en agua. La adición de sal incrementa la concentración de la solución del suelo con lo cual se contrae la DCD. Parte de los cationes (H_3O^+ y otros) que estaban saturando el coloide son desplazados por el catión de la sal y pasan a la solución externa, lo cual hace que el pH baje al aumentar la concentración de H_3O^+ en dicha solución.

Con respecto a la medida del pH en suspensiones salinas, se presenta un caso especial en el sentido que se produce incremento en el valor del pH; éste es el caso en el cual la determinación se lleva a cabo en una suspensión hecha en NaF, en proporción 1:50 peso-volumen (1 g de suelo en 50 mL de solución); en este caso, el F^- desplaza iones OH^- de las superficies de los coloides no cristalinos que pasan a la solución del suelo incrementando su alcalinidad y, por tanto, subiendo el pH.

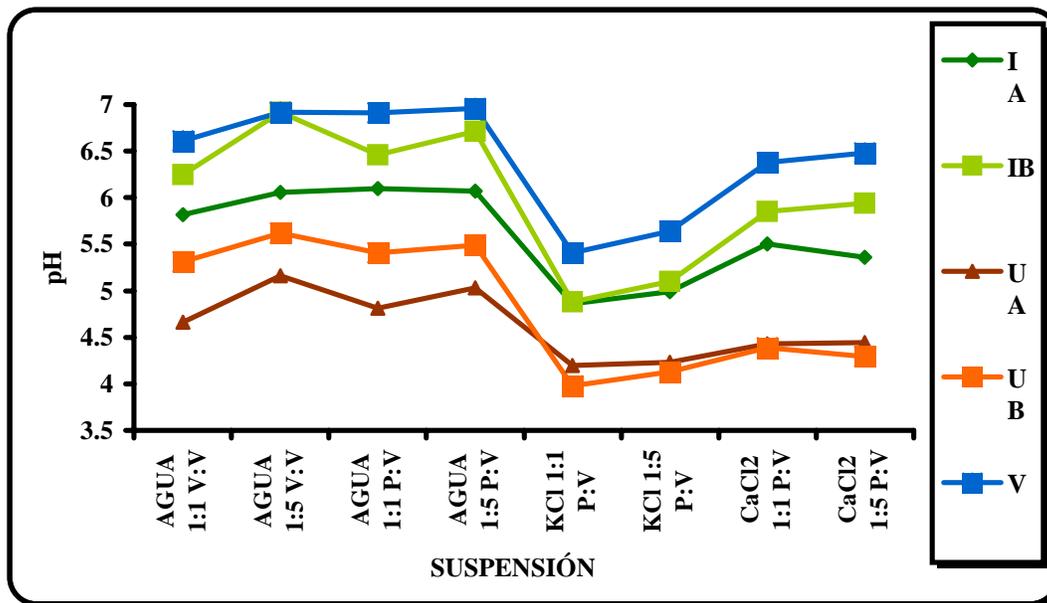


FIGURA 14.1. Efecto de dilución y de sales sobre el pH de algunos suelos seleccionados de Antioquia: IA e IB: Horizontes A y B, respectivamente de un Dystric Eutrudept fino mezclado isotérmico; UA y UB: Horizontes A y B, respectivamente, de un Typic Kandudult fino caolinítico isotérmico; V: Horizonte A de un Vertic Haplustoll fino esmectítico isohipertérmico. (Clasificación según Soil Survey Staff, SSS, 1998; promedios de 3 determinaciones). (Resultados de Jaramillo, 1999, sin publicar).

1.2.3. Efecto del contenido de CO_2

Según Fassbender (1982), al aumentar la concentración de CO₂ en la suspensión el pH disminuye debido a la formación de ácido carbónico, en una primera etapa, y a la liberación de protones, en una posterior, según la siguiente reacción:



1.2.4. Variaciones estacionales

Se presentan variaciones en el pH, al ser medido en diferentes épocas del año, por efecto de cambios que se producen, a través del tiempo, en el efecto de dilución, en el contenido de sales y/o en el aporte de CO₂ debido a la actividad biológica de los organismos en el suelo. En términos generales, en períodos de clima seco, el pH del suelo es menor (más ácido) que en las épocas húmedas.

En todos los casos expuestos, tanto en la Tabla 14.2 como en la Figura 14.1, se observa que los menores valores de pH se obtienen cuando éste se determina en una solución de KCl 1N, en proporción peso de suelo a volumen de solución de 1:1.

En la Figura 14.1 se aprecia que cuando los suelos tienen una mineralogía que les proporciona carga permanente: el Mollisol con propiedades vérticas y el Inceptisol eutrófico, el efecto del cloruro de calcio sobre el pH no es tan marcado, comparado con la medida hecha en agua y contrasta bastante con la medida que se obtiene en KCl; este comportamiento también se observa en el Inceptisol con propiedades vérticas de la Tabla 14.2. En el Ultisol, donde predomina la carga variable, la diferencia entre las medidas hechas con KCl y CaCl₂ no es muy amplia pero sí lo son con respecto a las que se hicieron en agua.

En el Andisol de la Tabla 14.2 se confirma también el fuerte impacto que tiene el KCl sobre el valor del pH del suelo; además, se presentan los valores de pH que se obtienen en estos suelos cuando se hace la suspensión en NaF. Los resultados de Abril y Ortiz (1996), respaldan lo expuesto anteriormente; estos autores encontraron valores promedios de 4.33, 3.78 y 10.46 para el pH en agua 1:1 v:v, en KCl 1N 1:1 p:v y en NaF 1:50 p:v, respectivamente, medidos en 82 muestras de Andisoles del oriente Antioqueño, bajo cobertura de *Pinus patula*.

1.3. CALIFICACIÓN DEL pH DEL SUELO

De acuerdo con el valor de pH que presenten y con el método utilizado para determinarlo, los suelos se califican de varias maneras, según diferentes autores, como puede apreciarse en la Tabla 14.3.

En términos generales puede considerarse que desde el punto de vista del pH, los suelos se pueden agrupar en tres grandes categorías: **Suelos ácidos** los que presentan pH < 6.5; **Suelos neutros** los que tienen pH entre 6.5 y 7.3 y **Suelos básicos** aquellos que exhiben valores de pH > 7.3. Más adelante se ampliará esta concepción.

1.4. IMPORTANCIA DEL pH EN EL SUELO

1.4.1. En la disponibilidad de nutrientes

Prácticamente la disponibilidad de todos los nutrientes de la planta está controlada por el pH del suelo, como se aprecia en la Tabla 14.4. En ésta se presenta la solubilidad de los nutrientes en el suelo en relación con el pH del mismo. Además, también se incluye el valor de pH que produce la mayor solubilidad de otros elementos que, aunque no son nutrientes vegetales, sí pueden afectar el desarrollo de la planta.

TABLA 14.3. Calificación del pH del suelo para dos métodos de determinación.

pH DETERMINADO EN AGUA 1:1		pH DETERMINADO EN KCl 1:1, P:V	
VALOR	CALIFICACIÓN *	VALOR	CALIFICACIÓN **
< 3.5	Ultra ácido	<4.0	Extremadamente ácido
3.5 - 4.4	Extremadamente ácido	4.0 - 4.9	Fuertemente ácido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido	5.0 - 5.9	Moderadamente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido	6.0 - 6.9	Ligeramente ácido
5.6 - 6.0	Moderadamente ácido	7.0	Neutro
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido	7.1 - 8.0	Ligeramente alcalino
6.6 - 7.3	Neutro	8.1 - 9.0	Moderadamente alcalino
7.4 - 7.8	Ligeramente alcalino	9.1 - 10.0	Fuertemente alcalino
7.9 - 8.4	Moderadamente alcalino	> 10.1	Extremadamente alcalino
8.5 - 9.0	Fuertemente alcalino		
> 9.0	Muy fuertemente alcalino		

* Según Soil Survey Division Staff (SSDS, 1993).

** Según Fassbender (1982).

TABLA 14.4. Efecto del pH sobre la solubilidad de algunos elementos que pueden afectar el desarrollo de la planta, así como sobre algunos procesos relacionados con la nutrición vegetal.

ELEMENTO O PROCESO	pH DE MÁXIMA EXPRESIÓN	FUENTE
N	6 – 8	Guerrero, M. (1991)
P	5.6 – 6.6*	Guerrero, M. (1991)
K y S	> 6	Guerrero, M. (1991)
Ca y Mg	> 6.5	Guerrero, M. (1991)
Fe	< 6	Guerrero, M. (1991)
Mn	< 5.5	Sánchez y Salinas (1983)
Cu y Zn	5 – 7	Guerrero, M. (1991)
B	5 – 7 y > 9	Guerrero, M. (1991)
Al	< 5.5	Bohn et al (1993)
Na	> 8.5	Porta et al (1994)
Nitrificación	6 – 8	Orozco (1999)
Desnitrificación	6 – 8	Orozco (1999)

* En Andisoles y en suelos LAC, entre 5.5 y 6.0.

1.4.2. En la identificación del tipo de carga de los coloides

Uehara y Keng (1974) establecieron que el tipo de carga que presenta el suelo se puede detectar obteniendo el valor del delta de pH (ΔpH), haciendo la diferencia entre los valores de pH determinados en KCl y en agua, según la siguiente relación:

$$\Delta pH = pH \text{ en KCl} - pH \text{ en agua} \quad [14.2]$$

Cuando el ΔpH adquiere signo negativo, en el suelo predomina este tipo de carga y es intercambiador catiónico; cuando el signo es positivo, el tipo de carga que predomina en el suelo es el positivo y éste es intercambiador neto de aniones.

1.4.3. En taxonomía de suelos

En la taxonomía de suelos del USDA (SSS, 1999, 1998) están definidas varias propiedades diagnósticas con base en el pH. Los materiales espódicos del suelo y el horizonte sulfúrico, presentan pH en agua 1:1 ≤ 5.9 y ≤ 3.5 , respectivamente.

El pH en KCl se utiliza como criterio diferencial al nivel de gran grupo en los Oxisoles: Cuando su valor es de 5.0 o más, caracteriza taxones con las partículas Acr o Acro.

Las familias Ácida y No ácida de suelos minerales están definidas por tener pH en CaCl_2 0.01M (1:2) < 5.0 y ≥ 5.0 , respectivamente; también las familias Euic y Dysic de los Histosoles y de los Histel se diferencian por dicho valor de pH: ≥ 4.5 y < 4.5 , respectivamente.

El ΔpH cuando es igual a cero o cuando es positivo en ciertas partes del suelo, identifica subgrupos Anionic en los Oxisoles.

1.4.4. Para detectar coloides inorgánicos no cristalinos

La determinación del pH en NaF 1:50, p:v, se utiliza para detectar la presencia de **coloides inorgánicos no cristalinos** en el suelo: Si el pH > 9.0 , aquellos coloides están presentes en cantidades mayores a 5 % en el suelo (Fieldes y Perrott, 1966).

1.5. CAPACIDAD BUFFER DEL SUELO

Es la resistencia del suelo a cambiar el pH al adicionarle ácidos o bases, dentro de un determinado rango de valores de pH; esta capacidad es de especial magnitud en Andisoles, como lo muestran las gráficas de la Figura 14.2.

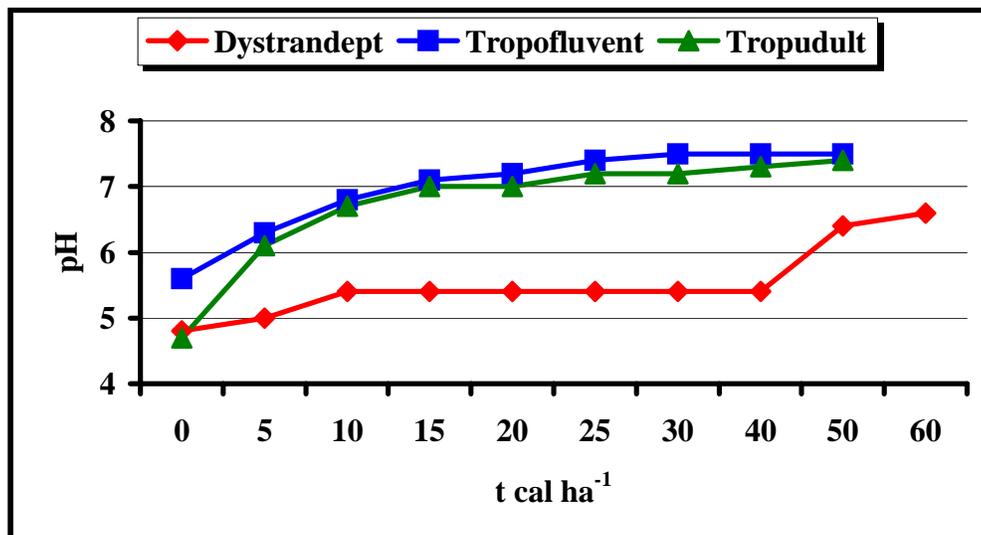
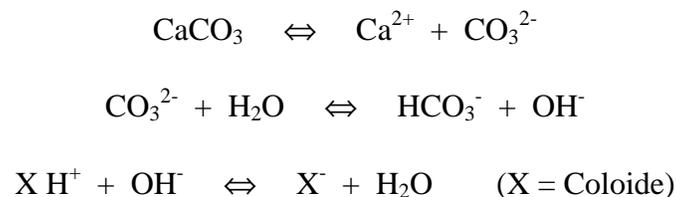


FIGURA 14.2. Capacidad buffer de algunos suelos de Antioquia (Con base en datos de Muñoz, 1984).

La importancia de esta propiedad radica en que dificulta el cambio del pH del suelo, cuando se quiere adecuar éste a un determinado valor, mediante la adición de sustancias ácidas o básicas. Ésta es una de las razones por las cuales, hoy en día, el encalamiento no se realiza con el objetivo primordial de producir dicho cambio de pH.

La capacidad buffer del suelo depende fundamentalmente del contenido y de la naturaleza de los coloides que éste posea, así como de los cationes básicos intercambiables que tenga. Los cationes básicos intercambiables ejercen un control importante en la capacidad buffer de los suelos que tienen carga permanente y, en los suelos de carga variable son de especial importancia los óxidos de hierro, sobretodo en el control de la acidificación del suelo, debido a que son los principales aceptores de protones en estos suelo (Zhang y Yu, 1997; Kong et al, 1997). Además de lo anterior, altos contenidos de materia orgánica y de alofano incrementan fuertemente la capacidad buffer de los suelos.

Espinosa (1994) sostiene que en los Andisoles se presenta tan alta capacidad buffer debido a la alta superficie reactiva que poseen sus coloides, la cual impide que el pH aumente porque los OH⁻ producidos por la hidrólisis del CO₃²⁻, en el proceso de encalamiento, en lugar de quedar retenidos reaccionan con ellos deprotonándolos y formando agua, con lo cual el pH no cambia; las reacciones siguientes ilustran este efecto:



De las reacciones anteriores se concluye que el pH no cambia pero que la deprotonación que sufren los coloides involucrados produce cargas negativas en el suelo, es decir, aumenta su CIC, la cual, para el caso, es variable.

2. SUELOS ÁCIDOS

Como se indicó anteriormente, a este grupo pertenecen aquellos suelos que presentan valores de pH menores a 6.5; este tipo de suelos es muy importante en Colombia pues, según datos del IGAC, reportados por Jaramillo et al (1994), **más del 85 % del área del país** está ocupada por suelos de este grupo de reacción.

2.1. FUENTES DE ACIDEZ EN EL SUELO

Para que se genere un suelo ácido se requiere, en primera instancia, la presencia de diferentes sustancias capaces de suministrar protones. Las principales fuentes de estos protones en el suelo son, según Bohn et al (1993) y Kong et al (1997):

2.1.1. Grupos ácidos de los coloides inorgánicos del suelo

Se presentan varias fuentes de protones en estos materiales:

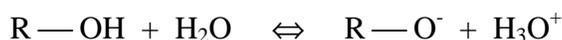
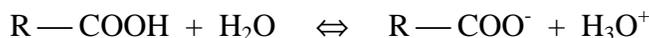
- En primer lugar, los iones de Al intercambiable hidratados, los cuales en su proceso de neutralización se hidrolizan y liberan iones H_3O^+ , según las siguientes reacciones:



- Iones H_3O^+ provenientes de la deprotonación de grupos terminales FeOH, AlOH y SiOH de las estructuras básicas de los minerales.
- Iones H_3O^+ intercambiables de la superficie de los coloides, aunque éstos sólo son importantes, en cantidad, cuando el pH es menor a 4.

2.1.2. Grupos ácidos de la materia orgánica

Según Fassbender (1982) las moléculas orgánicas del suelo presentan en su periferia radicales activos carboxílicos y fenólicos (los carboxílicos son ácidos más fuertes que los fenólicos) que son fuente de protones al disociarse de acuerdo con las reacciones (R representa el resto de la molécula orgánica):



2.1.3. Ácidos solubles

En los suelos se encuentran ácidos solubles que se producen en diversas cantidades por actividad biológica o por prácticas agrícolas. Las principales fuentes de estos ácidos son:

- Aplicaciones intensivas de fertilizantes amoniacales y de urea (Orozco, 1999).
- Oxidación de pirita (FeS_2) por drenaje que puede producir ácido sulfúrico, común en Histosoles.
- Mineralización de la materia orgánica que puede producir ácidos orgánicos solubles.

2.2. FORMACIÓN DE SUELOS ÁCIDOS

Aparte de que en el suelo existen las fuentes de acidez expuestas en el numeral anterior, hay algunos factores que favorecen la formación de suelos ácidos como:

- Unas condiciones climáticas en las cuales se presente un exceso permanente de la precipitación sobre la evapotranspiración potencial que genere excedentes de agua que, en

suelos con una condición adecuada de drenaje, puede causar altas pérdidas de bases por lixiviación, reduciendo su participación en el complejo de intercambio y favoreciendo la acumulación de Al, Fe y otros cationes de carácter ácido.

- Los procesos de alteración de los minerales del suelo, bien sea por meteorización o por pedogénesis, van liberando de sus estructuras cationes que pasan a la solución del suelo; entre los cationes que se liberan, los básicos son los más solubles y, por lo tanto, los que más fácil se pierden por lixiviación, acumulándose los de carácter ácido; este mecanismo de acidificación del suelo se expresa fuertemente en suelos como los Oxisoles y Ultisoles.
- Algunos materiales parentales en su composición mineralógica no poseen materia prima para que el suelo que se desarrolle de ellos tenga un adecuado contenido de bases, como es el caso de las areniscas cuarcíticas y las cuarcitas, entre otros; también es conocido el caso de los suelos de la altillanura colombiana, donde se han producido Oxisoles, favorecidos, en parte, por la pobreza del material parental sedimentario que les dio origen, producto de la erosión en la cordillera, que llegó ya meteorizado y, por tanto, empobrecido, a estos paisajes.
- El consumo de bases por parte de las plantas también ayuda a desbalancear el equilibrio entre cationes básicos y ácidos, favoreciendo la acumulación de los ácidos.
- Las prácticas de manejo de suelos, como fertilización continua e intensiva con ciertos fertilizantes de efecto residual ácido, favorecen la acidificación del suelo; el drenaje excesivo de los suelos también puede ayudar eficientemente a su acidificación al incrementarse la lixiviación de bases en él.

2.3. TIPOS DE ACIDEZ EN EL SUELO

En el suelo se distinguen varios tipos de acidez, dependiendo de los iones que la producen, los cuales requieren diferentes métodos para cuantificarlas.

2.3.1. Acidez activa

Es la acidez que se evalúa cuando se mide el **pH** del suelo; es la que está determinando las condiciones de acidez actual del suelo e involucra los iones H_3O^+ disociados en la solución de éste.

2.3.2. Acidez intercambiable

Es la acidez que está asociada al Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ y al $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ y se establece determinando la cantidad de aluminio intercambiable que tiene el suelo al lavarlo con una solución de KCl 1N; el método para realizar esta determinación puede verse en Motta et al (1990); este tipo de acidez es la más importante en suelos que tienen $\text{pH} < 5.5$, ya que a partir de este valor empieza a aumentar la solubilidad del aluminio, en forma exponencial.

2.3.3. Acidez titulable o potencial

Espinosa (1994) la define como la acidez dependiente del pH que se extrae con BaCl_2 -TEA a pH de 8.2 (ver método en el numeral 2.1.1 del Capítulo 13). Es muy alta porque incluye H_3O^+ no

intercambiable proveniente de la materia orgánica (fenol y carboxilo) y de sesquióxidos hidratados de Fe y Al.

2.3.4. Acidez total

Comprende la sumatoria de la acidez intercambiable más la acidez titulable; tanto este tipo de acidez como la titulable no tienen ninguna importancia práctica en el manejo de suelos. En la Tabla 14.5 se presentan algunos ejemplos de valores de los diferentes tipos de acidez en algunos suelos de Colombia, reportados por Guerrero (1991).

2.4. GRUPOS Y PROPIEDADES DE SUELOS ÁCIDOS

Los diferentes valores de pH en el rango ácido presentan diferencias entre los cationes que controlan la acidez. Ésto genera propiedades y problemas de manejo diferentes; por lo anterior pueden separarse 4 grupos de suelos ácidos. Las propiedades más sobresalientes de dichos grupos se resumen de Sánchez y Salinas (1983) y de Bohn et al (1993).

TABLA 14.5. Valores comunes de los diferentes tipos de acidez en algunos suelos de Colombia (Tomados de Guerrero, 1991).

SUELOS (ORDEN)	REGIÓN	pH	TIPO DE ACIDEZ [cmol (+) Kg ⁻¹ de suelo]		
			INTER- CAMBIABLE	TITULABLE	TOTAL
Inceptisol	Sabana de Bogotá	4.5	4.0	41.0	45.0
Inceptisol	Sabana de Bogotá	5.2	0.5	18.7	19.2
Andisol	Chinchiná - Caldas	5.5	0.4	20.6	21.0
Oxisol	Llanos Orientales	4.4	5.0	8.7	13.7

2.4.1. Suelos minerales con pH < 4.5

En este grupo de suelos predominan las formas de aluminio intercambiable del Al^{3+} ; también en éste es apreciable el contenido y solubilidad de iones como H_3O^+ y de Mn^{2+} , por lo cual tienen altas probabilidades de que se presenten **toxicidades** con ellos; los procesos de transformación de amoníaco a nitrato son muy lentos, pudiendo causar **deficiencias de nitrógeno** en plantas que no sean hábiles en la utilización del amonio.

Los contenidos de **bases intercambiables** y de **molibdeno** son **muy bajos**, en tanto que los de los demás elementos menores pueden ser bajos. La **disponibilidad** de **fósforo** puede ser muy baja en estos suelos debido a que frecuentemente hay una **alta fijación** de este elemento que lo lleva a formar compuestos completamente insolubles.

2.4.2. Suelos minerales con pH entre 4.5 y 5.5

En estos suelos actúan las formas de aluminio intercambiable $Al(OH)_2^+$ y Al^{3+} ; en este rango de pH no es significativo el contenido de H_3O^+ y los demás problemas expuestos para los suelos del grupo anterior también se presentan en este grupo, aunque con menor intensidad que en aquel.

2.4.3. Suelos minerales con pH entre 5.5 y 6.5

En este grupo de suelos ya no hay ningún contenido de acidez intercambiable por lo que desaparece la posibilidad de toxicidad con Al^{3+} , H_3O^+ o Mn^{2+} . Hay una mejora en la actividad biológica bacteriana con respecto a la de los suelos con los valores de pH anteriores; el suministro de bases, de molibdeno y de fósforo se mejora llegando a ser óptimo para muchas plantas en el límite superior del rango de pH que define este grupo.

En términos generales, puede decirse que los suelos minerales ácidos, descritos en los numerales anteriores, poseen **buenas propiedades físicas**. Tienen una buena estructura debido a la presencia de los sesquióxidos de Fe y Al que la estabilizan, aunque se pueden producir cementaciones extremas o formación de concreciones indeseables, bajo ciertas condiciones de manejo, como lo observaron Ordóñez et al (1992) en la amazonia colombiana.

Sánchez y Salinas (1983) han encontrado que muchos Oxisoles y Ultisoles tropicales tienen una baja capacidad de almacenamiento de agua para la planta, debido al tipo de coloide inorgánico que domina en ellos y al bajo contenido de materia orgánica.

2.4.4. Suelos orgánicos

En general, todos los suelos orgánicos presentan reacción ácida y normalmente más ácida que la de los suelos minerales, sobre todo cuando están saturados con hidrógeno; los valores de pH de estos suelos pueden llegar a ser menores de 3.0, en el caso de que presenten oxidación intensa de compuestos de azufre en estado de reducción.

En estudios hechos en el Putumayo y en el altiplano de Boyacá (Colombia), con este tipo de suelos, López y Cortés (1978) encontraron que aquellos tenían alta CIC, alta acidez y contenidos bajos a medios de bases y de fósforo, reflejándose una baja fertilidad en ellos; características similares encontró Jaramillo (1992) en suelos orgánicos en el altiplano de Amalfi, nordeste antioqueño; otras propiedades de estos suelos se detallan en el Capítulo 18.

2.5. INTERPRETACIÓN DE LA REACCIÓN EN SUELOS ÁCIDOS Y NEUTROS

Como se recuerda, la reacción del suelo se evalúa con dos parámetros: el **pH** y la **acidez intercambiable**; con base en estos dos también se establecen las interpretaciones correspondientes.

2.5.1. El pH

Para evaluar esta medida, hay que tener en cuenta el cultivo que se piensa plantar en el suelo que se estudia, pues cada planta tiene un valor de pH óptimo y un rango de tolerancia para su desarrollo; por ejemplo, Valencia y Carrillo (1983) encontraron que el café puede establecerse en

suelos con un rango de pH entre 4.0 y 6.5, pero que el rango óptimo para su desarrollo está entre 5.0 y 5.5.

Guerrero (1991) sostiene que agronómicamente la mayoría de elementos esenciales y de cultivos se comportan bien a pHs entre 5.5 y 6.7 y que probablemente el pH óptimo está entre 6.2 y 6.5. Herrón (2001) aclara que en Andisoles este rango esta entre 5.5 y 6.0¹. El ICA (1992) reporta algunos rangos de tolerancia de pH para algunas plantas de cultivo así:

- Plantas con rango entre 4.8 y 5.5: **Piña, yuca, papa y pastos gordura, braquiaria y puntero.**
- Plantas con rango de pH entre 5.6 y 6.4: Arroz, maíz, tomate, trigo, fríjol.
- Plantas con rango de pH entre 6.5 y 7.3: **Alfalfa, trébol, algodón, coliflor, caña de azúcar.**

Tablas con una gran cantidad de especies con su pH óptimo y su rango de tolerancia se encuentran publicadas en Fassbender (1982) y en Porta et al (1994).

2.5.2. La acidez intercambiable

Para interpretar esta propiedad también se requiere conocer la especie vegetal que se pretende tener pues no todas las plantas toleran las mismas cantidades de aluminio en el suelo; para evaluar el estado de la acidez intercambiable en el suelo, Sánchez y Salinas (1983) han propuesto utilizar la saturación con aluminio intercambiable con los siguientes niveles críticos generales, aunque cabe repetir que cuando se conoce la planta que se quiere tener, para la interpretación debe conocerse su susceptibilidad a la saturación propuesta:

Nivel de saturación con aluminio intercambiable	Valor de la saturación (%)
BAJO	< 40
MEDIO	40 - 60
ALTO	60 - 80
MUY ALTO	> 80

Sánchez y Salinas (1983) establecen una lista abundante de plantas con su grado de tolerancia a la saturación con aluminio, de la cual se extraen los siguientes ejemplos de plantas de cultivo comunes:

- Plantas susceptibles (Saturación < 20%): **Algodón, girasol, fríjol, soya.**
- Plantas tolerantes (Saturación entre 40 y 60%): Arroz, tabaco, trigo, sorgo, papa, avena.
- Plantas muy tolerantes (Saturación > 60%): **Yuca, piña, café, pasto braquiaria.**

En los Andisoles hay que tener mucha precaución en la interpretación de la saturación con Al, respecto a la posibilidad de toxicidad con él, ya que Gartner (1994) demostró que el KCl 1M es capaz de extraer Al unido a la materia orgánica, el cual no está en forma tóxica para las plantas.

2.6. MANEJO DE LOS SUELOS ÁCIDOS MINERALES

¹ Herrón F. (2001). Exprofesor Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Asesor particular en fertilidad de suelos. Comunicación personal.

Se tratará únicamente el manejo que corresponde a los suelos minerales debido a que en el Capítulo 18 de este texto se incluye lo correspondiente a los suelos orgánicos; los suelos se tratarán en dos grupos: uno de suelos con pH entre 5.5 y 6.5 y el otro con los suelos de pH < 5.5.

2.6.1. Suelos con pH entre 5.5 y 6.5

Los suelos con pH entre 6.1 y 6.5 presentan las condiciones casi óptimas para la nutrición de la mayoría de las plantas. En los suelos con pH entre 5.5 y 6.0 los principales limitantes para su uso agropecuario se relacionan con problemas de nutrición ocasionados por **desbalances** entre nutrientes o por **deficiencia** de ellos en el suelo.

En el caso del N, este elemento puede suplirse aplicando materia orgánica al suelo (ver Capítulo 17) o por medio de fertilizantes químicos; el fósforo y el potasio, en caso de que sean deficientes, se aplican al suelo en forma de fertilizantes, en las dosis que corresponda de acuerdo con el nivel de deficiencia y con la exigencia del cultivo.

Si en el suelo se presentan deficiencias de las otras bases (Ca y Mg), éstas se aplican al suelo en las cantidades requeridas a partir de cales agrícolas (si se requiere sólo Ca) o de cales dolomíticas (si se requieren Ca y Mg); estos materiales se aplican con los métodos y precauciones que se utilizan para los fertilizantes, pues se están usando como si fueran uno de ellos.

Cualquier otro problema de deficiencias nutricionales, que se presente en estos suelos, debe ser resuelto siguiendo las pautas dadas para los elementos anteriores, es decir, medir las cantidades que posee el suelo, establecer el requerimiento de la planta y si el suelo es deficiente, calcular la cantidad que falta y aplicarla en forma de fertilizante; cabe aclarar que los métodos utilizados para hacer los cálculos de fertilizantes a aplicar escapan a los objetivos de este texto.

2.6.2. Suelos con pH < 5.5

Como se indicó anteriormente, en estos suelos la posibilidad de que se presenten **toxicidades**, principalmente por aluminio, es alta. Éste es el primer problema que se debe evaluar y tratar de resolver.

Para estimar la posibilidad de toxicidad con aluminio, se debe establecer el valor de la saturación que se presenta en el suelo con este catión y comparar esa saturación con la que es capaz de tolerar el cultivo que se desea plantar. Si hay más aluminio del que la planta tolera, se debe **neutralizar** (llevar a formas insolubles) el exceso mediante prácticas de **encalamiento**.

Los materiales más utilizados para llevar a cabo el encalamiento en los suelos son la **cal agrícola**: CaCO_3 y la **cal dolomítica**: $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$; en Colombia la cal agrícola contiene entre 70% y 80% de CaCO_3 y la dolomítica contiene entre 40% y 70% de CaCO_3 y entre 8 y 36% de MgCO_3 ; aparte de los anteriores materiales, se pueden utilizar otros para encalar el suelo como la cal viva (CaO), la cal apagada $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ y roca fosfórica.

El propósito fundamental del encalamiento es neutralizar la acidez intercambiable que hay en exceso en el suelo para una determinada especie vegetal; sin embargo, con esta práctica se obtienen otros beneficios colaterales: se reduce la toxicidad de Al, Mn y Fe; se eleva el pH; se aumenta la disponibilidad del fósforo y del molibdeno; se mejora el suministro de Ca y/o de Mg, así como de N; se mejora la actividad microbológica en el suelo, especialmente de las bacterias; si no hay buena estructuración en el suelo, el encalamiento puede mejorarla.

Con relación a las dosis de cal que deben aplicarse al suelo, hay varios criterios para establecerlas como lo muestran Fassbender (1982) y Guerrero (1991), entre otros autores; para fines prácticos puede tomarse la recomendación del ICA (1992) que establece que por cada miliequivalente de Al^{3+} por 100 gramos de suelo que haya que neutralizar, se deben aplicar 1.5 toneladas por hectárea de cal agrícola con 80% de $CaCO_3$, si el suelo tiene menos de 10% de materia orgánica y $pH < 5.5$ o más de 10% de materia orgánica y $pH < 5.0$.

Cochrane et al, citados por Sánchez y Salinas (1983), establecieron la siguiente relación para calcular los requerimientos de cal agrícola del suelo, teniendo como base el porcentaje de saturación con aluminio que tenga:

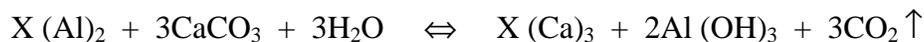
$$t \text{ CaCO}_3 \text{ ha}^{-1} = 1.8 \left[Al - \frac{RAS (Al + Ca + Mg)}{100} \right] \quad [14.3]$$

Donde RAS representa el porcentaje de saturación con aluminio tolerable por el cultivo a establecer y Al, Ca y Mg son las cantidades de aluminio, calcio y magnesio que tiene el suelo, en meq (100 g de suelo)⁻¹ o en cmol (+) kg⁻¹ de suelo.

Como ejemplo de la aplicación de esta fórmula se tiene un suelo con contenidos de Al, Ca y Mg de 3.1, 2.2 y 1.3 cmol (+) kg⁻¹ de suelo, respectivamente. Se quiere saber cuántas toneladas por hectárea de cal agrícola se le deben aplicar a dicho suelo para dejar la saturación con Al en un valor de 20%, que es la máxima tolerable por el cultivo que se va a establecer en él:

$$t (\text{CaCO}_3) \text{ ha}^{-1} = 1.8 \left[3.1 - \frac{20 (3.1 + 2.2 + 1.3)}{100} \right] = 3.204 t$$

La cal necesaria se aplica al **voleo** (esparcida en forma continua sobre la superficie del suelo) y se incorpora a la capa arable del mismo con un mes de anticipación a la siembra del cultivo por lo menos, para que haya tiempo suficiente de reacción y sea eficiente la neutralización del Al^{3+} . Ésta se presenta según la siguiente reacción, resumida con base en las de Guerrero (1991) y de Espinosa (1994) (la X representa el coloide del suelo):



Después de haber corregido, en este grupo de suelos, el problema de la acidez intercambiable, se procede a solucionar los otros problemas nutricionales que se presenten. Para ésto se tienen en cuenta las consideraciones expuestas en el primer grupo de suelos ácidos del numeral anterior.

Otras prácticas de manejo, para estos suelos, discutidas ampliamente por Sánchez y Salinas (1983), consisten en cambiar el sentido tradicional del manejo de la fertilidad del suelo. En lugar de llevar a cabo una serie de acciones tendientes a adecuar el suelo a unos requerimientos que tiene la planta, se buscan plantas que se adapten a las condiciones que presenta el suelo en su condición natural.

En términos generales, las leguminosas son más tolerantes que las gramíneas a la acidez y al bajo suministro de fósforo, en tanto que las gramíneas son más tolerantes a excesos de manganeso que las leguminosas.

Con aquellos sistemas de evaluación y selección de material vegetal adaptado a determinadas condiciones de suelo, Sánchez y Salinas (1983) reportan gran cantidad de trabajos en los cuales se han obtenido plantas alimenticias para el hombre, pastos y leguminosas forrajeras y otros tipos de plantas resistentes a la toxicidad con aluminio o con manganeso; con estas plantas, se pueden obtener producciones relativamente buenas, utilizando eficientemente las bajas cantidades de insumos que se requieren con estos sistemas de manejo.

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) desarrolló algunas variedades de **plantas tolerantes a la acidez** para los suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia, como puede verse en la Tabla 14.6.

TABLA 14.6. Variedades de algunas plantas de cultivo tolerantes a diferentes condiciones de acidez, desarrolladas por el ICA para los suelos de los Llanos Orientales de Colombia, según información de Valencia y Leal (1996).

CULTIVO	VARIEDAD	SATURACIÓN CON Al QUE TOLERAN (%)	PRODUCCIÓN (kg ha ⁻¹)
Arroz	Oryzica Sabana 6	90	3220
Soya	Soyica Altillanura 2	70	2100
Maíz	Sikuani V-110	55	2930
Sorgo	Icaravan 1	60	2478
	Sorghica Real 60	60	3109
	Sorghica Real 40	40	3090

2.7. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE SUELOS ÁCIDOS

Según el sistema taxonómico americano (SSS, 1999, 1998), los suelos ácidos se encuentran distribuidos en casi todos los órdenes del sistema; sin embargo, hay algunos órdenes en los cuales son los suelos dominantes.

Los suelos de los órdenes Oxisoles y Ultisoles (suelos tropicales típicos) agrupan sólo suelos ácidos, los cuales se caracterizan por presentar una evolución avanzada, alta lixiviación de bases, bajo contenido de minerales meteorizables y predominio de sesquióxidos de Fe y Al en la fracción arcilla.



- ❑ Unas condiciones climáticas en las cuales la evapotranspiración potencial sea mayor que la precipitación generan déficit de agua en el suelo y, por lo tanto, no hay lavado de bases y/o sales, sino que éstas se acumulan en aquel. Ésto hace que los suelos básicos sean más comunes en regiones áridas y semiáridas.
- ❑ Sedimentos acumulados bajo áreas marinas o bajo cuerpos de agua salada, como lagos y lagunas, son enriquecidos en sales por efecto de la evaporación de las aguas; cuando estos depósitos quedan expuestos en la superficie del terreno, dan origen a suelos básicos.
- ❑ Áreas bajas, con relieves plano-cóncavos, tienen drenaje restringido y, por lo tanto, no son sometidas a procesos de lavado de sus bases; por el contrario, pueden incluso sufrir aporte de ellas por el nivel freático.
- ❑ Zonas con nivel freático alto y contaminado con sales provenientes de aguas subterráneas salobres, pueden alcalinizar el suelo por ascenso capilar de sales a partir de aquel.
- ❑ También en este caso, como en el de los suelos ácidos, el mal manejo del suelo puede generar condiciones de alcalinidad en él; las actividades que con mayor frecuencia producen estos problemas en el suelo son las malas prácticas de riego: los malos diseños, el drenaje insuficiente o el uso de aguas de mala calidad; también, el uso continuo de fertilizantes con efecto residual alcalino.

3.3. GRUPOS Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS BÁSICOS

Como en el caso de los suelos ácidos, en los suelos básicos también se pueden separar diferentes grupos teniendo en cuenta su tipo de basicidad y las propiedades que de ellas se derivan.

3.3.1. Suelos salinos

Son suelos que presentan una **conductividad eléctrica** (capacidad de una solución de transmitir la electricidad, la cual está en relación directa con su contenido de sales) en el extracto de saturación de 4 o más dSm^{-1} , un PSI < 15% y generalmente su pH es menor a 8.5. Con frecuencia estos suelos presentan costras salinas blancas en la superficie por lo que son llamados **álcali blanco** (Laboratorio de Salinidad, 1974).

Las propiedades de estos suelos dependen de su contenido de sales el cual controla el **potencial osmótico** de la solución del suelo y, por lo tanto, buena parte de la disponibilidad de agua para las plantas; además, este contenido también controla la posibilidad de que se presente toxicidad en ellas; los contenidos de bases son relativamente altos pero su balance es muy variable; los aniones más comunes, en estos suelos, son los **cloruros** y los **sulfatos**, aunque, a veces, es importante el contenido de nitratos (Laboratorio de Salinidad, 1974).

Como estos suelos generalmente se desarrollan en condiciones de climas secos, su contenido de materia orgánica es bajo y, por tanto, hay deficiencia de nitrógeno; en las condiciones de pH que predominan en estos suelos también son comunes las deficiencias en fósforo y en elementos

menores, exceptuando el molibdeno; los contenidos de bases son generalmente altos, pero son frecuentes los desbalances entre ellas, pudiendo ocasionar deficiencias en las plantas por antagonismo; normalmente, tienen buenas propiedades físicas.

3.3.2. Suelos sódicos

Según el Laboratorio de Salinidad (1974) estos suelos poseen un PSI > 15%, una conductividad eléctrica < 4 dSm⁻¹ y generalmente presentan pH > 8.5; se les da el nombre común de **álcali negro** porque normalmente presentan acumulación de materia orgánica dispersa en la superficie por lo cual adquieren un color oscuro.

En estos suelos, el alto contenido de **sodio intercambiable** genera problemas importantes de porosidad y permeabilidad originados por la dispersión de los coloides, aparte de que este elemento también puede producir toxicidad en plantas susceptibles.

Con relación a sus propiedades nutricionales, estos suelos presentan las mismas limitaciones que los salinos, aunque en un grado mayor que aquellos, debido a que los sódicos presentan mayores valores de pH; García (1991) encontró que en la mayoría de los suelos sódicos del Valle del Cauca el anión predominante es el **sulfato**.

3.3.3. Suelos salino - sódicos

Son suelos que presentan conductividad eléctrica mayor a 4 dSm⁻¹ y PSI > 15% (Laboratorio de Salinidad, 1974); generalmente su pH es menor a 8.5 debido a la presencia de exceso de sales; esta misma condición de alta salinidad no deja que la estructura del suelo se colapse al impedir la dispersión de los coloides, por lo cual estos suelos no presentan los problemas físicos de los suelos sódicos.

La eliminación de las sales antes que el Na⁺, en estos suelos, los transforma en sódicos. Los limitantes de fertilidad que presentan se encuentran en una situación intermedia entre los dos grupos anteriores de suelos básicos.

3.3.4. Otros suelos básicos

Aparte de los grupos anteriores, se definen otros grupos de suelos que, debido a los componentes que acumulan, adquieren reacción básica; ellos son:

- **Suelos magnésicos:** Aquellos que presentan alta saturación con Mg²⁺ en el complejo de intercambio; García (1991) enumera varios trabajos en los cuales se sostiene que altas cantidades de Mg²⁺ (la cual no está definida explícitamente) tienen efectos similares a los que tiene el Na⁺ en el suelo, cuando éste está saturando más de 15% de la CIC del mismo; pese a lo anterior, Sarria y García (1991) y Mendoza y García (1991) no encontraron ningún efecto de las altas concentraciones de Mg²⁺ sobre las propiedades físicas de los Vertisoles del Valle del Cauca que trabajaron.

El autor de este texto encontró encostramiento superficial y poco desarrollo estructural, con fuerte tendencia a estructura columnar, en Inceptisoles de laderas del Valle de Aburrá, derivados de dunita (roca ultrabásica, ver Capítulo 1, página 23), con $\text{pH} > 6.5$ y saturación con $\text{Mg}^{2+} > 30\%$.

En trabajos más recientes e intensivos de caracterización de suelos magnésicos en el Valle del Cauca, Borrero et al (1998) definieron varios grupos de este tipo de suelos, teniendo en cuenta la relación que presentaban entre los contenidos de sus bases intercambiables. Adoptaron, como límite crítico para definir el carácter magnésico, una saturación con Mg intercambiable de la CIC 7.0, mayor o igual a 30% y, de sus observaciones de campo, concluyeron que los suelos magnésicos de esta región son altamente plásticos y pegajosos, muy duros al secarse, que retienen humedad con una fuerza extraordinaria y que presentan fuerte deterioro de sus propiedades físicas.

Borrero et al (1998) encontraron, además, una relación entre el grupo de suelo magnésico definido y el paisaje fisiográfico en el cual se ubicaban y un área total afectada por dichos suelos de 116869 ha; de esta área, 24597 ha se ubicaron en la llanura aluvial del río Cauca y 79440 ha en la llanura aluvial de piedemonte.

- **Suelos calcáreos:** Son suelos con alto contenido de carbonato de calcio libre, por lo cual reaccionan con HCl diluido, produciendo efervescencia; estos suelos presentan $\text{pH} > 8.4$. Pulido (2000) encontró que estos suelos se distribuyen ampliamente en la zona caribe colombiana, afectando alrededor de 758200 ha y, en la mayoría de los casos, afectados también con otras sales y con sodio.

3.4. MANEJO DE LOS SUELOS BÁSICOS

Escapa al alcance de este documento hacer un análisis detallado de las prácticas que se llevan a cabo para recuperar estos suelos con el fin de desarrollar en ellos actividades agropecuarias; sin embargo, debe hacerse un esbozo de las principales actividades que se deben llevar a cabo para adecuar estos suelos, sobre todo para llamar la atención acerca de la complejidad que está involucrada en ella, aparte de los altos costos en insumos y tiempo que requieren: hasta más de 3 ó 4 años, dependiendo del problema específico que se tenga.

3.4.1. Suelos Salinos

En este grupo de suelos, la principal acción a desarrollar para recuperarlos consiste en eliminar las sales que se encuentran en exceso en él; lo anterior se logra haciendo pasar a través del suelo una cantidad adecuada de agua, generalmente aplicada con algún sistema de riego; Pizarro (1978) sostiene que el método más eficiente de hacer los **lavados** es fraccionando la dosis en varias aplicaciones en lugar de aplicarla en un solo riego.

Para garantizar que las sales disueltas en el agua realmente sean eliminadas del suelo, debe proveerse un adecuado sistema de **drenaje** que las reciba y las exporte del lote que está en recuperación.

Generalmente, después de que se han eliminado las sales perjudiciales del suelo con los lavados, es necesario hacer unos lavados de mantenimiento, los cuales pueden hacerse periódicamente e independientes del riego convencional para el cultivo o pueden hacerse en estos riegos, aplicando un exceso de agua en cada uno de ellos

3.4.2. Suelos sódicos

Estos suelos son más difíciles de recuperar debido al deterioro de sus propiedades físicas; en este caso se requiere remover del suelo el Na^+ que está ocupando los sitios de intercambio.

La remoción del Na^+ del complejo de intercambio se hace adicionando al suelo **enmiendas** químicas que aporten Ca^{2+} o que activen el que hay en el suelo para que lo reemplace. Una vez removido el Na^+ se aplican **riegos** para lavar. En este punto es donde se presenta la mayoría de complicaciones para la recuperación, pues el suelo ha perdido su estructura y, por tanto, su espacio poroso y su permeabilidad, dificultando los lavados.

Se hace necesario mejorar las propiedades físicas del suelo para mejorar la eficiencia de los lavados; estas mejoras pueden hacerse de varias formas:

- Mecánicamente, mediante aradas profundas para romper discontinuidades hidráulicas entre horizontes del suelo o con subsolado para romper horizontes y/o capas compactadas o cementadas.
- Adicionando arena a suelos arcillosos para cambiar su textura y, por tanto, sus propiedades hidrológicas (Pizarro, 1978).
- Aplicando materia orgánica para mejorar la estructura del suelo y las propiedades relacionadas con ella; los productos de la descomposición de este material pueden mejorar la solubilidad de ciertas sales de calcio en el suelo y favorecer la sustitución de Na^+ por Ca^{2+} .

Con respecto al uso de las **enmiendas**, Pizarro (1978) y el Laboratorio de Salinidad (1974) llaman la atención en el sentido de que no todas sirven en todos los suelos. Agrupan los suelos sódicos en tres clases, de acuerdo con algunas propiedades que tienen que ver con su recuperación:

- 1. Suelos que contienen carbonatos alcalinotérreos.
- 2. Suelos casi sin carbonatos alcalinotérreos y con $\text{pH} > 7.5$.
- 3. Suelos casi sin carbonatos alcalinotérreos y con $\text{pH} < 7.5$.

El Laboratorio de Salinidad (1974) y Pizarro (1978) establecen la utilidad de varias enmiendas que se aplican en la recuperación de suelos sódicos, teniendo en cuenta las categorías establecidas en el párrafo anterior, como se muestra en la Tabla 14.7.

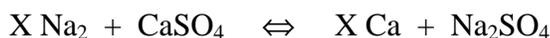
TABLA 14.7. Utilidad de varias enmiendas en la recuperación de suelos sódicos, según el tipo de suelo (Tomada de Pizarro, 1978).

ENMIENDA	TIPO DE SUELO		
	1*	2*	3*
Yeso	Adecuado	Adecuado	Adecuado

CaCl ₂	Adecuado	Adecuado	Adecuado
Azufre	Muy adecuado	Adecuado	Restringido
H ₂ SO ₄	Muy adecuado	Adecuado	Restringido
Sulfatos de Fe y Al	Muy adecuado	Adecuado	Restringido
CaCO ₃	Inútil	Poco útil	Adecuado
Polisulfuro de Ca	Muy adecuado	Adecuado	Restringido

* Definiciones del párrafo anterior.

A continuación se presentan algunos ejemplos de las reacciones que se producen entre diferentes enmiendas con suelos sódicos de variadas características (X representa los coloides del suelo):



Después de aplicar las enmiendas, se hacen los **lavados** correspondientes, por lo cual, aquí, como en el caso de los suelos salinos, es indispensable un buen sistema de **drenaje** para su recuperación.

3.4.3. Suelos salino - sódicos

En este grupo de suelos, primero, se debe resolver el problema del exceso de Na⁺ y, luego, el de las sales; si se hace el proceso contrario, se transforma un suelo salino - sódico en sódico, dificultándose enormemente su recuperación.

De acuerdo con lo anterior, inicialmente se deben aplicar enmiendas para desplazar Na⁺, como en los suelos sódicos y luego se hacen los lavados, tanto para eliminar el Na⁺ como las sales, teniendo en cuenta que el lavado de las sales es más eficiente que el del Na⁺.

En todos los suelos básicos se puede cultivar durante el proceso de recuperación con el fin de ir mejorando su medio físico y de aumentar su contenido de materia orgánica; hay que seleccionar bien los cultivos de acuerdo con la tolerancia que tengan frente al Na⁺ y/o a las sales. En la Tabla 14.8 se presentan algunas especies vegetales con su respectiva tolerancia a Na⁺ y a las sales, tomadas de amplias listas elaboradas por el Laboratorio de Salinidad (1974), Pizarro (1978) y Bohn et al (1993).

Aparte de las prácticas analizadas anteriormente, en la mayor parte de los suelos básicos se presentan problemas nutricionales que pueden ser resueltos mediante:

- **Fertilización edáfica:** según los requerimientos del cultivo y los contenidos en el suelo se aplican fertilizantes que suministren nitrógeno, fósforo y potasio.
- **Fertilización foliar:** haciendo un seguimiento juicioso al desarrollo de los cultivos, pueden detectarse deficiencias de elementos menores en la planta que pueden ser resueltas por medio de aplicaciones foliares de los fertilizantes que los posean.
- La **adición de materia orgánica**, aparte de ir mejorando el medio físico, puede aportar algunos nutrientes a las plantas, sobre todo si se aplican ciertos tipos de ella (ver Capítulo 17).

TABLA 14.8. Tolerancia* de algunas especies vegetales comunes, a diferentes condiciones de basicidad del suelo, según varios autores (ver texto).

TOLERANCIA A LA SALINIDAD (dS m ⁻¹)			TOLERANCIA AL PSI (%)			
ALTA (CE** 18 - 10)	MEDIA (CE 9 - 6)	BAJA (CE 5 - 2)	MUY ALTA PSI > 40	ALTA PSI 40 - 20	MEDIA PSI 20 - 10	BAJA PSI 10 - 2
Palma datilera	Tomate	Pera	Tomate	Zanahoria	Habichuela	Casi todos
Remolacha	Repollo	Manzana	Trigo	Trébol	Maíz	los frutales
Espárrago	Coliflor	Naranja	Alfalfa	Lechuga		y los cítricos
Pasto Bermuda	Lechuga	Fresa	Cebada	Avena		
Cebada	Zanahoria	Rábano	Remolacha	Cebolla		
Algodón	Cebolla	Apio	Algodón	Rábano		
	Trigo	Habichuela		Arroz		
	Avena	Habas		Sorgo		
	Arroz			Espinaca		
	Sorgo					
	Maíz					
	Girasol					

* Con respecto a la tolerancia a salinidad, los cultivos están ordenados de mayor a menor grado de tolerancia en la respectiva columna, dentro del rango establecido en ella.

** Conductividad eléctrica.

3.5. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS SUELOS BÁSICOS

En el sistema de clasificación de suelos del USDA (SSS, 1999, 1998), hay varios órdenes donde los suelos son predominantemente básicos en su reacción.

En el orden Aridisol, prácticamente todos los suelos presentan reacción neutra o básica, predominando esta última; las condiciones climáticas bajo las cuales se desarrollan estos suelos son las adecuadas para que no se presente lixiviación en el suelo y para que se acumulen los productos de la meteorización y/o de la pedogénesis en ellos, generando características básicas; esta condición climática se presenta en la península de la Guajira y en algunas zonas desérticas del interior del país, como el desierto de la Candelaria en Boyacá y el de La Tatacoa en el Huila.

En los Vertisoles, aunque se presentan unos pocos taxa donde se encuentran suelos ligeramente ácidos, la gran mayoría de los suelos que se clasifican dentro de este orden son neutros o básicos, favorecido esto por el tipo de arcillas que presentan; en este orden son frecuentes los suelos sódicos, salinos y magnésicos en Colombia.

Muy buena parte de los suelos de los órdenes Mollisoles y Alfisoles presentan condiciones de reacción básica; en los Mollisoles son comunes los suelos calcáreos en el Valle del Cauca y en los Alfisoles se presentan algunos suelos sódicos de la Costa Atlántica, el Altiplano Cundiboyacense y el Valle del Cauca.

En los órdenes Inceptisoles, Andisoles y Entisoles, pueden encontrarse suelos básicos en algunos niveles taxonómicos identificados con partículas como Calci, Eutro y Hal en gran grupo y Alfic, Calcic, Eutric, Salidic, Sodic y Mollic, en los subgrupos, aunque no son muy frecuentes en Colombia.

Algunas partículas que se usan en las categorías altas de la taxonomía que implican problemas específicos de basicidad en los suelos son:

- ❑ Sal, al nivel de suborden; Sal o Sali en el gran grupo y Salidic o Halic, al nivel de subgrupo, indican presencia de sales en por lo menos un horizonte del suelo.
- ❑ Calc, en suborden; Calci, en gran grupo y Calcic o Petrocalcic en el subgrupo, indican la presencia de carbonato de calcio libre en el suelo, en alguno o todos sus horizontes.
- ❑ Natr en gran grupo y Natric o Sodic en subgrupo, indican la presencia de por lo menos un horizonte nátrico (sódico) en el suelo; en algunos casos, la partícula Arg también puede implicar la presencia de este horizonte.

Al nivel de familia, la taxonomía también define algunos taxa que pueden tener condiciones de reacción básica; esta situación la presentan:

- ❑ Familias por mineralogía: Carbonática, Gypsica, Esmectítica, Vermiculítica e Ilítica.
- ❑ Familias por reacción: Calcárea.

RECORDAR

- **La reacción del suelo se mide con el pH.**
- **El método estándar para determinar el pH del suelo es el potenciométrico en agua, con relación volumétrica suelo: agua 1:1.**
- **Si el pH se mide en suspensiones hechas con soluciones salinas de KCl o de CaCl₂, su valor es menor que si se hace en agua.**
- **Los suelos poseen capacidad buffer, la cual es muy alta en Andisoles.**
- **Los suelos, según su pH, se pueden agrupar en 3 grandes categorías: Ácidos, con pH < 6.5; Neutros, con pH entre 6.5 y 7.3 y Básicos, con pH > 7.3.**
- **En Colombia predominan ampliamente los suelos ácidos.**
- **En los suelos minerales, la acidez está más controlada por el aluminio intercambiable, especialmente cuando su pH es menor a 5.5.**
- **Los suelos ácidos presentan baja disponibilidad de bases, de fósforo y de molibdeno y pueden presentar toxicidad con Al, Mn o Fe.**
- **Las prácticas de manejo más frecuentes en suelos ácidos son fertilización y enclamiento.**

- Los órdenes taxonómicos que agrupan mayor cantidad de suelos ácidos, en Colombia, son: Oxisol, Ultisol, Andisol, Histosol e Inceptisol.
- Los suelos básicos, en Colombia, se encuentran principalmente en la Guajira, Valle del Cauca, Costa Atlántica y altiplano cundiboyacense.
- Entre los suelos básicos hay tres grupos que presentan problemas especiales: los suelos salinos, los suelos sódicos y los suelos salino-sódicos.

- Los suelos básicos de Colombia presentan bajo contenido de materia orgánica y de fósforo disponible, así como deficiencia de elementos menores, excepto Mo; dependiendo de situaciones particulares, también pueden presentar toxicidad con sales y/o con Na y fuerte deterioro de sus propiedades físicas.
- Las principales prácticas de manejo en los suelos básicos incluyen fertilización, aplicaciones de materia orgánica, riego y drenaje.
- Los órdenes taxonómicos que más suelos básicos agrupan, en Colombia, son Vertisol, Mollisol y Alfisol.

BIBLIOGRAFÍA

- ABRIL, M. y B. ORTIZ. 1996. Variabilidad espacial de algunas propiedades físico – químicas del horizonte A de Andisoles hidrofóbicos, bajo plantaciones de *Pinus patula*. Tesis Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 75 p.
- BOHN, H. L., B. L. MCNEAL y G. A. O'CONNOR. 1993. Química del suelo. Limusa. México. 370 p.
- BORRERO, J.; A. GARCÍA y C. GÓMEZ. 1998. Suelos afectados por magnesio en el valle del río Cauca. Suelos Ecuatoriales 28: 104-111.
- ESPINOSA, J. 1994. Acidez y encalado de los suelos. **En:** Fertilidad de suelos: Diagnóstico y control. SCCS. Bogotá. pp 113-128.
- FASSBENDER, H. W. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. San José. Costa Rica. 398 p.
- FIELDER, M. y K. W. PERROTT. 1966. The nature of allophane in soils. III. Rapid field and laboratory test for allophane. New Zealand J. of Sci. 9: 599-607.
- GARCÍA, A. 1991. La salinidad en el suelo: Como evaluarla. **En:** Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. SCCS. Bogotá. pp 247-256.
- GARTNER, C. 1994. Determinación del aluminio tóxico en dos suelos ácidos. Tesis Química. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Antioquia. Medellín. 55 p.
- 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. SCCS. Bogotá. pp 141-163.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 1992. Fertilización en diversos cultivos. 5ª. aproximación. Manual de asistencia técnica No. 25. ICA. Bogotá. 64 p.

- JARAMILLO, D. F. 1992. Relación fisiografía-suelos en el valle del río Riachón y paisajes adyacentes. Boletín de Ciencias de la Tierra. No. 11: 105-126.
- JARAMILLO, D. F.; L. N. PARRA y L. H. GONZÁLEZ. 1994. El recurso suelo en Colombia: Distribución y evaluación. Universidad Nacional de Colombia. ICNE. Medellín. 88 p.
- KONG, X. L.; X. N. ZHANG; J. H. WANG. y T. R. YU. 1997. Acidity. **In:** Chemistry of Variable Charge Soils. Yu T. R. editor. Oxford University Press Inc. New York. pp: 368-406.
- LABORATORIO DE SALINIDAD. 1974. Suelos salinos y sódicos. Diagnóstico y rehabilitación. USDA. Ed. Limusa. México. 172 p.
- LÓPEZ, A. y A. CORTÉS. 1978. Los suelos orgánicos de Colombia: Su origen, constitución y clasificación. IGAC. Bogotá. 190 p.
- MENDOZA, O. y A. GARCÍA. 1991. Efectos del magnesio intercambiable sobre algunas propiedades físicas de varios suelos del Valle del Cauca. Suelos Ecuatoriales 21 (1): 17-20.
- MOTTA de M. B. et al. 1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 5ª. Ed. IGAC. Bogotá. 502 p.
- MUÑOZ, R. 1984. La acidez y enclamiento de los suelos. **En:** Curso Fertilización Racional del Suelo. SCCS. Medellín. pp. 69-93.
- ORDÓÑEZ, N., E. LÓPEZ y P. BOTERO. 1992. Cambios en las propiedades de los suelos relacionados con la colonización del bosque natural en un área del Guaviare. Colombia Amazónica 6 (1): 37-64.
- OROZCO, F. H. 1999. Biología del nitrógeno. Conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Tomo I. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín. 231 p.
- PIZARRO, F. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editora Agrícola Española S. A. Madrid. 521 p.
- PORTA, J.; M. LÓPEZ – ACEVEDO y C. ROQUERO. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 807 p.
- PULIDO, C. 2000. Distribución geográfica de sales solubles, sodio intercambiable y carbonato de calcio en la región del caribe colombiano. Suelos Ecuatoriales 30(1): 44-49.
- SÁNCHEZ, P. y J. SALINAS. 1983. Suelos ácidos: Estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. SCCS. Bogotá. 93 p.
- SARRIA, M. del C. y A. GARCÍA. 1991. Efecto de varias enmiendas sobre las propiedades químicas y físicas de un suelo con alta saturación de magnesio intercambiable. Suelos Ecuatoriales 21 (2): 27-32.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF (SSDS). 1993. Soil survey manual. Handbook N°. 18. USDA. Washington D. C. 437 p.
- SOIL SURVEY LABORATORY (SSL). 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil survey investigations report N°. 42, version 3.0. USDA. 693 p.
- SOIL SURVEY STAFF. (SSS) 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2ª. Ed. Agriculture Handbook N° 436. USDA. Washington D. C. 869 p.
- SOIL SURVEY STAFF (SSS). 1998. Keys to soil Taxonomy. 8ª. Ed. Washington D. C. 326 p.

- UEHARA, G. y J. KENG. 1974. Relaciones entre la mineralogía y el manejo de los suelos en la América Latina. **En:** Manejo de suelos en la América Tropical. North Carolina State University. Raleigh. pp 357-370.
- VALENCIA, G. y I. CARRILLO. 1983. Interpretación de análisis de suelos para café. Avances técnicos Cenicafé No. 115. Federacafé. Chinchiná. 6 p.
- VALENCIA, R. y D. LEAL. 1996. Alternativas genéticas para sistemas de producción en sabanas ácidas de la orinoquia colombiana. Suelos Ecuatoriales 26 (1): 35-43.
- ZHANG, F. S. y T. R. YU. 1997. Reactions with hydrogen ions. **In:** Chemistry of Variable Charge Soils. Yu T. R. editor. Oxford University Press Inc. New York. pp: 339-367.

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Cuándo se considera una sustancia como ácido?. ¿Cuándo como base?.
2. ¿Qué es pH?.
3. ¿Cuáles factores afectan la determinación del pH del suelo?.
4. ¿Por qué el pH medido en una solución de KCl es menor que el pH medido en agua?.
5. ¿En qué rango de valores de pH se considera el suelo neutro?.
6. ¿Cuál es el rango de pH en el cual se presenta mejor disponibilidad de nutrientes para la planta?.
7. ¿Cómo se utiliza el pH para detectar la presencia de materiales inorgánicos no cristalinos en el suelo?.
8. ¿En qué circunstancias es importante la capacidad buffer del suelo?.
9. Analizar 4 mecanismos que lleven a la formación de suelos ácidos.
10. ¿Cuál es la acidez intercambiable del suelo y por qué es importante? ¿En qué condiciones de suelos se presenta?.
11. Establecer las diferencias más importantes entre los 3 grupos de suelos ácidos minerales definidos.
12. Diga dos plantas que se adapten bien a suelos muy fuerte a fuertemente ácidos y dos muy susceptibles a la saturación con aluminio.
13. ¿En qué consiste la práctica de encalar el suelo? ¿En qué tipo de suelos es más frecuente hacerla? ¿Para qué se hace?.
14. Enumere 5 efectos benéficos del encalamiento del suelo.
15. ¿Cuáles son los órdenes taxonómicos en los cuales todos los suelos son ácidos?.
16. Analizar 5 mecanismos por los cuales se desarrollen suelos básicos.
17. ¿Cómo puede el hombre contribuir a formar suelos básicos?.
18. Definir suelo salino, suelo sódico, suelo salino – sódico y suelo magnésico.
19. Enumerar todas las prácticas que se llevan a cabo pa el manejo de los suelos sódicos.
20. ¿Para la recuperación de un suelo sódico sirve cualquier enmienda? Explique.
21. Diga dos órdenes de suelos donde sean comunes los suelos básicos.

EVALUACIÓN

1. Establecer una relación general entre el clima y el pH del suelo.
2. ¿Por qué los suelos tropicales típicos (Oxisoles y Ultisoles) son ácidos?.
3. Para una solución con pH = 10.4, calcular:
 - a. pOH. (R: 3.6).
 - b. Concentración de H⁺. (R: 3.98 x 10⁻¹¹ M).
 - c. Concentración de OH⁻. (R: 2.51 x 10⁻⁴ M).
4. ¿Qué tipo de intercambio (catiónico o aniónico) se presentará en un suelo que tuvo un pH en agua de 4.26 y en KCl de 4.66?.

5. Para el suelo del problema N° 7 de la evaluación del Capítulo 13, ¿cuántas toneladas de cal agrícola por hectárea será necesario aplicar para llevar la saturación con aluminio al 10%?. (R: 7.434 t de $\text{CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$).
6. Para el suelo del problema N° 10 de la evaluación del Capítulo 13, responder:
 - a. Cuántos kg ha^{-1} de cal dolomítica (70% CaCO_3 y 15% MgCO_3) se deben aplicar para reducir su saturación de aluminio al 20 %. (R: 3124 kg ha^{-1}).
 - b. Si la dolomita tiene 18 % de Mg^{2+} y 20 % de Ca^{2+} , cuál será el nuevo valor de estos cationes en el suelo, después de aplicar la cal dolomítica recomendada en el punto anterior. (R: Ca: 3.0678 cmol (+) kg^{-1} de suelo; Mg: 2.58 cmol (+) kg^{-1} de suelo).
7. En un suelo que presenta un $\text{PSI} = 15\%$ se requiere rebajar este valor al 8 % para poder establecer un cultivo X. Si dicho suelo tiene una densidad aparente de 1.2 Mg m^{-3} y un contenido de Na^+ de 8 cmol (+) kg^{-1} de suelo, ¿cuánto azufre hay que aplicar a los primeros 20 cm del suelo, por hectárea, para producir la condición indicada, asumiendo que no hay pérdidas de azufre en el suelo?. (R: 1 432.32 kg ha^{-1}).
8. En el suelo del punto anterior, ¿cuántas t ha^{-1} de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se deben aplicar para suministrar el azufre requerido?.(R: 7.7 t ha^{-1}).
9. Se va a hacer un ensayo de incubación con el suelo del problema N° 10 de la evaluación del Capítulo 13, en el cual se va a aplicar cal agrícola para neutralizar media vez, una vez y una vez y media su contenido de Al^{3+} . ¿Cuántos gramos de cal agrícola se deben aplicar a una masa de 5 kg de suelo, para aportarle las dosis de cal que se requieren para llevar a cabo las neutralizaciones propuestas, asumiendo para la cal empleada un poder de neutralización de 90 %?. (R: 4.3056 g, 8.61 g y 12.9168 g, respectivamente).