

CAPACIDAD DE TAMPONAMIENTO CONTRA LA ALCALINIDAD EN SUELOS DE LAS REGIONES V Y METROPOLITANA DE CHILE¹

Buffering capacity against the alkalinity in the chilean soils of the V and Metropolitan Regions

Carlos Benavides Z.², Manuel Casanova P.² y Antonio Rustom J.²

SUMMARY

Soil alkalization induced by urea hidrolisis was simulated by the addition of a strong basis (NaOH) to 14 samples of surface soils from Central Zone of Chile.

The slopes of the adjusted titration curves represent the buffering capacity of soils expressed through the so called buffering factors (BOH₁ and BOH₂). These values and some physical and chemical soil properties were analyzed by stepwise procedure, resulting in the following models:

$$\text{BOH}_1 = 45.1068 + 1.2870(\% \text{ sand}) - 3.1220(\% \text{ o.m.}) \quad R^2 = 0.87.$$

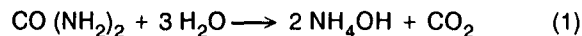
$$\text{BOH}_2 = 80.4541 - 0.4189(\% \text{ clay}) + 0.3035(\% \text{ silt}) - 6.8856(\text{pH}) - 1.5501(\text{E.C.}) \quad R^2 = 0.93.$$

At the microsite level, only BOH₁ is considered of equivalent importance to the alkalization induced by urea granule of average size, and on an average soil. The variations in the values of BOH₁ factor in the 14 soils tested, represent the effect of organic matter (o.m.) level and the diluting effect of the sand fraction.

Key words: soil fertilizer reaction, urea, buffering capacity, microsite.

INTRODUCCION

Entre los enfoques actuales del estudio de la reacción suelo - fertilizante se ha ido imponiendo el análisis de los procesos involucrados a nivel de micro-regiones o micro-sitios, los que se desarrollan alrededor de las partículas fertilizantes (Hauck, 1984). Según Fenn y Miyamoto (1981) y Du Preez y Burger (1988), el alza de pH que se verifica en torno a la partícula de urea que se hidroliza, puede ser explicado por la reacción siguiente:



Las consecuencias directas del alza transitoria de pH, son un aumento de la actividad de la enzima ureasa (Ladd y Jackson, 1982), producción de

amoníaco (Koelliker y Kissel, 1988) e inhibición de la nitratación (McInnes y Fillery, 1989). Las dos primeras conducen a una intensificación de pérdida amoniacal, lo que reduciría la eficiencia de uso de la urea; en tanto que las dos últimas conllevan efectos fitotóxicos derivados de una acumulación rizosférica de amoníaco y nitritos (Gould, Hagedorn y McCready, 1986).

Considerando que el alza de pH puede fluctuar entre 1 y 4 unidades (Faurie y Bardin, 1979; Du Preez, 1984), la evaluación de la magnitud del incremento de pH inducido por la etapa hidrolítica, requiere de procedimientos que, por una parte, permitan establecer la capacidad tampón de los suelos contra la alcalinidad y, por otra parte, estimar aproximadamente el tamaño de la micro- región que exhibirá dicha capacidad.

Los objetivos de este trabajo fueron determinar la capacidad "tampón" (CT) contra alcalinización, e identificar algunas propiedades que controlan el "tamponamiento" en algunos suelos de las regiones V y Metropolitana de Chile, relacionándolo con el proceso de hidrólisis de la urea.

¹Recepción de originales: 24 de abril de 1991.

Trabajo presentado en el VI Congreso Nacional de las Ciencias del Suelo, Temuco, Chile, 14 al 16 de noviembre de 1990.

Trabajo financiado por el Convenio entre Universidad de Chile - Sociedad Química y Minera de Chile S.A. durante 1988.

²Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile, Casilla 1004, Santiago, Chile.

Base teórica para el desarrollo de la investigación

La capacidad tampón es un término químico que define la capacidad de un sistema para resistir cambios de pH, ya sea cuando es tratado con un ácido o una base (Bruckert y Roullier, 1982).

Dado que el tamponamiento del pH depende esencialmente de la composición de la fase sólida del suelo, se puede evaluar la capacidad tampón máxima de éste, determinando la curva de titulación de una suspensión de suelo en agua, bajo condiciones de agitación.

Para el caso de un proceso alcalinizante, se puede obtener un parámetro apropiado para expresar la CT del suelo, a través de un método de segmentación lineal de la curva de titulación (por ejemplo, pH versus gasto de OH⁻) definiéndose para cada segmento i de la curva, un factor de tamponamiento BOH_i, de la forma siguiente:

$$BOH_i = \frac{\Delta pH}{\Delta OH} \quad (2)$$

donde:

BOH_i = es numéricamente igual a la pendiente del segmento i de la curva de titulación alcalina del suelo;

ΔpH = cambio de pH inducido por alcalinización (adimensional).

ΔOH = adición de base, expresada en moles de OH⁻ por kilogramo de suelo (mol OH⁻ kg⁻¹).

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron muestras de los horizontes superficiales de 14 series de suelos dentro del área del Proyecto Maipo (Comisión Nacional de Riego, 1981), correspondientes a las regiones V y Metropolitana.

La determinación de las propiedades físicas y químicas de los suelos, en su mayoría, se efectuó mediante los métodos indicados por Black (1965). La distribución del tamaño de partículas se determinó a través del método del hidrómetro. El nivel de humedad de equilibrio a 30 KPa fue obtenido empleando la olla a presión. Para la determinación del contenido de materia orgánica se utilizó el método de Walkley y Black. La capacidad de intercambio catiónico a través del método del acetato de sodio 1 N a pH 8,2 y el contenido de carbonato de calcio se obtuvo según el método de neutralización ácida (Dewis y Freitas, 1970). El pH fue medido potenciométricamente en

agua (relación 1:1) y la conductividad eléctrica en el extracto de saturación.

La metodología empleada para la obtención de la CT contra alcalinización de los suelos, consistió básicamente en la adición de soluciones de NaOH (simulando la alcalinización producida por la hidrólisis de urea, ecuación 1) en concentraciones crecientes y en la medición del pH en el líquido sobrenadante, luego de agitar mecánicamente por dos horas. Las suspensiones se prepararon en una relación 1:10 (10 g de suelo + 100 mL de solución), en duplicado. El NaOH se agregó en cantidades equivalentes a 0, 1, 2, 4, 6, 8 y 10 cmol de OH por kilogramo de suelo, a una fuerza iónica constante de 0,0055 M, la que se controló por adiciones de un electrolito neutro (NaCl). Los resultados se expresaron como factores de tamponamiento (pH/cm³ kg⁻¹).

Se identificaron propiedades que explican la CT de los suelos mediante análisis de regresión múltiple paso a paso (stepwise). El análisis se efectuó para un nivel de selección de 15%, empleándose la transformación angular ($\arcsin \sqrt{x/100}$), para las variables expresadas en términos porcentuales.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las características físicas y químicas obtenidas para las 14 muestras de suelos, se presentan en los cuadros 1 y 2. En general, los suelos seleccionados muestran un rango relativamente amplio en cada

CUADRO 1. Características físicas de los suelos, %

TABLE 1. Soils physic characteristics, %

Suelo	Arcilla	Limo	Arena	Humedad a 30 KPa
Alhué	15,6	28,0	56,4	19,2
Linderos	22,0	29,2	48,8	13,9
Santiago	17,2	26,0	56,8	13,1
Maipo	30,4	34,0	35,6	21,0
Peumo de Lo Chacón	17,6	6,0	76,4	20,1
Mapocho	3,6	48,0	48,4	33,0
Rungue	45,6	22,0	32,4	31,0
Casablanca	15,2	21,2	63,6	12,3
Agua del Gato	45,6	26,0	28,4	31,5
La Higuera	36,0	33,2	30,8	35,7
Las Perdices	8,8	14,0	77,2	10,4
Las Rosas	11,2	14,0	74,8	10,9
Puangue	17,2	31,2	51,6	12,2
Puntilla	34,4	32,8	32,8	24,0

CUADRO 2. Características químicas de los suelos

TABLE 2. Soils chemical characteristics

Suelo	Materia orgánica, %	CaCO ₃ %	pH	C.E. ¹ ds m ⁻¹	CIC ² cmol(+)/kg ⁻¹
Alhué	4,06	1,18	7,8	1,0	15,8
Linderos	2,03	6,30	8,1	1,1	10,8
Santiago	1,96	5,34	8,2	1,5	7,5
Maipo	2,28	3,82	8,0	1,2	11,8
Peumo de Lo Chacón	2,57	0,96	6,4	0,5	12,0
Mapocho	10,16	4,40	7,7	13,0	9,5
Rungue	1,76	2,02	7,5	1,1	13,5
Casablanca	2,22	0,70	8,3	1,5	12,0
Agua del Gato	5,55	1,97	7,6	2,8	30,3
La Higuera	5,10	19,18	7,9	1,6	24,8
Las Perdices	1,91	0,61	7,5	1,8	6,0
Las Rosas	1,87	0,15	6,5	0,6	6,5
Puangue	2,72	1,71	6,9	2,0	9,8
Puntilla	4,43	1,00	6,3	1,6	16,3

¹Conductividad eléctrica.

²Capacidad de intercambio catiónico.

una de las propiedades físicas y químicas determinadas. Esto es especialmente válido en el caso del contenido de arcilla, limo, materia orgánica y carbonatos equivalentes. Por otra parte, tanto los pH y la C.E. se mantienen en un rango más estrecho de variación, exceptuándose el suelo Mapocho cuya muestra exhibe un tenor salino muy elevado.

En la Figura 1 se presentan, como ejemplo, las curvas de alcalinización para los suelos Mapocho y Las Rosas. Ambas corresponden a los casos extremos de tamponamiento encontrados en el ámbito de 0 a 10 cmol OH⁻ kg⁻¹.

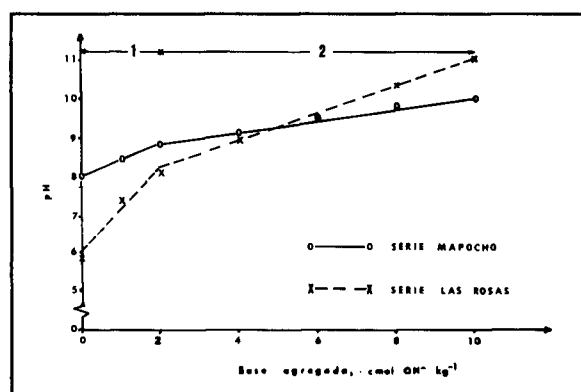


FIGURA 1. Segmentación de las curvas de titulación, suelos Mapocho y Las Rosas.

FIGURE 1. Segmentation of titration curves Mapocho and Las Rosas soils.

Dado que las curvas de titulación presentaron dos segmentos (1 y 2, Figura 1), con pendientes muy definidas, se optó por dividir las a partir de sus puntos de quiebre. En la totalidad de los casos analizados, el punto se obtuvo a un valor de alcalinización igual a 2 cmol OH⁻ kg⁻¹. Mediante regresión simple, se estimaron las pendientes de ambos segmentos, las cuales resultaron equivalentes a los factores de tamponamiento previamente definidos. Se denominó BOH₁ (segmento 1, Figura 1) al factor correspondiente a la alcalinización comprendida entre 0 y 2 cmol OH⁻ kg⁻¹ y BOH₂ (segmento 2, Figura 1) al factor obtenido para una alcalinización igual o superior a 2 cmol OH⁻ kg⁻¹. En el Cuadro 3 se presentan los valores para ambos factores de tamponamiento y sus respectivos coeficientes de correlación lineal para los 14 suelos estudiados.

Los valores de los coeficientes de correlación indican, en general, una buena aproximación a un modelo lineal simple para cada segmento, de manera que sus pendientes permiten una adecuada definición de la CT de estos suelos en términos de sus factores de tamponamiento. Por otra parte, se advierte que los valores de BOH₁ son superiores a los de BOH₂, en las 14 muestras analizadas, indicando que opera un cambio importante de la CT desde un rango de alcalinización a otro. Los resultados indican que sobre 2 cmol OH⁻ kg⁻¹, se produce un aumento de la capacidad de tamponamiento contra alcalinidad en todos los suelos estudiados.

CUADRO 3. Factores de tamponamiento de los suelos y coeficientes de correlación de los segmentos BOH₁ y BOH₂

TABLE 3. Soils buffering factors and correlation coefficients of the BOH₁ and BOH₂ segments

Suelo	BOH ₁ ¹	r	BOH ₂ ¹	r
Alhué	0,675	0,994	0,258	0,994
Linderos	0,700	0,997	0,230	0,993
Santiago	0,800	0,984	0,193	0,987
Maipo	0,700	1,000	0,213	1,000
Peumo de Lo Chacón	0,800	0,990	0,280	0,998
Mapocho	0,425	0,999	0,160	0,997
Rungue	0,600	0,995	0,183	0,996
Casablanca	0,800	0,961	0,183	0,997
Agua del Gato	0,500	1,000	0,175	0,989
La Higuera	0,500	0,993	0,165	0,996
Las Perdices	1,100	0,995	0,250	0,998
Las Rosas	1,100	0,997	0,360	0,999
Puangue	0,825	1,000	0,305	0,997
Puntilla	0,500	0,974	0,280	0,998

¹Factores de tamponamiento en pH/cmole OH⁻ kg⁻¹.

A objeto de medir el grado de influencia que ejercen propiedades de uso frecuente en caracterización de suelos (cuadros 1 y 2), sobre los valores de los factores de tamponamiento, se realizó un análisis de regresión múltiple para BOH₁ y BOH₂. Las ecuaciones obtenidas, son las siguientes:

$$\text{BOH}_1 = 45,1068 + 1,2870(\% a) - 3,1220(\% \text{ m.o.})$$

$$R^2 = 0,87 \quad (3)$$

$$\text{BOH}_2 = 80,4541 - 0,4189(\% A) + 0,3035(\% L)$$

$$- 6,8856(\text{pH}) - 1,5501(\text{C.E.}) \quad R^2 = 0,93 \quad (4)$$

donde:

a = arena.

m.o. = materia orgánica.

A = arcilla.

L = limo, sujetos a la transformación angular.

C.E. = conductividad eléctrica del suelo.

De acuerdo con las ecuaciones obtenidas, el comportamiento del primer segmento de la curva (BOH₁) está predominantemente explicado (87%) por el contenido de materia orgánica y arena. En el caso de la materia orgánica, la neutralización de la alcalinidad agregada se debería a la presencia de grupos funcionales fenólicos y carboxílicos no disociados. Por otra parte, la arena, por su carácter inerte, actúa diluyendo la CT del suelo.

El segundo segmento de la curva (BOH₂), está caracterizado por un cambio relativamente menor

de pH, lo cual reflejaría la presencia (ecuación 4) de grupos ácidos asociados a la fracción fina (% de arcilla), al creciente carácter alcalino del medio (adsorción de OH⁻ sobre CaCO₃; Mott, 1981) y al nivel de electrolitos (C.E.).

El contenido de limo ejerce un efecto diluyente similar al de la arena en el segmento anterior, pero con una importancia relativa menor.

A fin de establecer en qué parte de la curva de titulación y, por lo tanto, cuál de los factores de tamponamiento interviene principalmente durante el proceso de alcalinización inducido por la hidrólisis de la urea, resulta necesario dimensionar aproximadamente el tamaño de la micro-región de suelo relacionada a un gránulo de urea. De acuerdo a Hauck (1984), y aceptando una geometría de micro-sitio semiesférica, el diámetro ecuatorial de éste alcanza a 27,5 mm en su punto de máxima expansión.

Considerando una masa de $5,11 \times 10^{-3}$ g por gránulo de urea de 2 mm de diámetro y una densidad aparente del suelo de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$, la alcalinidad generada (ecuación 1) sería del orden de $2,61 \text{ cmole OH}^{-} \text{ kg}^{-1}$, bajo condiciones de hidrólisis completa y tanto de nitrificación como de volatilización nulas, ya que ambos son procesos acidificantes.

En consecuencia, en la mayor parte de los suelos estudiados, la alcalinización derivada de la hidrólisis de la urea operaría principalmente en contra del factor BOH₁, de tal manera que el alza esperable de pH, debido a hidrólisis, sería aproximadamente igual a $2,61 \times \text{BOH}_1$ para toda la zona de suelos estudiada. Acorde al Cuadro 3, dicha alza de pH alcanzaría un mínimo de 1,11 unidades (suelo Mapocho) y un máximo de 2,87 unidades (suelo Las Rosas).

CONCLUSIONES

La naturaleza de las curvas de titulación contra alcalinidad del horizonte superficial de un conjunto de suelos importantes en la regiones V y Metropolitana, sigue un patrón simple. Las curvas son susceptibles de ser representado sobre la base de dos segmentos rectos, cuyas pendientes permiten evaluar la capacidad de tamponamiento de los suelos.

Se estimó que el efecto alcalinizante máximo, debido a la hidrólisis de la urea, es del orden de $2,61 \text{ cmole OH}^{-} \text{ kg}^{-1}$ y, en consecuencia, la alcalinización inicial está fundamentalmente tamponada por el primer segmento de la curva (BOH₁).

Se encontró que los valores de BOH_1 fluctúan entre 0,425 pH/cmole $OH^- kg^{-1}$ (suelo Mapocho) y 1,100 pH/cmole $OH^- kg^{-1}$ (suelo Las Rosas), dependiendo estrechamente del contenido de arena y materia orgánica de las muestras (ecuación 3).

El alza esperable de pH, debido a hidrólisis de urea, sería aproximadamente igual a $2,61 \times BOH_1$, para toda la zona de suelos estudiada.

RESUMEN

Con el objetivo de establecer la capacidad tampón del suelo contra la alcalinización inducida por la hidrólisis de la urea, se simuló este proceso observando los cambios de pH del suelo luego de adiciones crecientes de una base fuerte (NaOH) a 14 muestras de horizontes superficiales de distintas series de suelo de la zona central de Chile.

Las curvas de titulación alcalina fueron rectificadas obteniéndose dos segmentos (1 y 2) cuyas pendientes equivalen a los denominados factores de tamponamiento (BOH_1 y BOH_2). Estos valores, junto a las propiedades físicas y químicas de las muestras fueron sometidos a un análisis de regresión paso a paso (stepwise), resultando los siguientes modelos:

$$BOH_1 = 45,1068 + 1,2870(\% a) - 3,1220(\% m.o.) \\ R^2 = 0,87$$

$$BOH_2 = 80,4541 - 0,4189(\% A) + 0,3035(\% L) \\ - 6,8856(pH) - 1,5501(C.E.) \quad R^2 = 0,93$$

A nivel de micro-sitio, sólo la titulación a nivel de BOH_1 se considera de una importancia equivalente al proceso hidrolítico. Este factor refleja el efecto tampón contra alcalinidad de la materia orgánica y el carácter diluyente del separado arena como elemento inerte del suelo.

Palabras claves: reacción suelo-fertilizante, urea, capacidad tampón, micro-sitio.

LITERATURA CITADA

- BLACK, C.A. 1965. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties. American Society of Agronomy. Agronomy 9. 1.572 p.
- BRUCKERT, S. et ROULLIER, J. 1982. Mécanismes de régulation de pH des sols, p.: 345-365. In: Bonneau, M. et Souchier, B. Pédologie: Constituants et propriétés du sol. Academic Press, London. 45 p.
- COMISION NACIONAL DE RIEGO, CHILE. 1981. Estudio de Suelos del Proyecto Maipo (4 volúmenes y 1 mapa). Agrolog-Chile Ltda. Santiago. 802 p.
- DEWIS, J. y FREITAS, F. 1970. Métodos físicos y químicos de suelos y aguas. FAO. Boletín Nº 10 de suelos. 252 p.
- DU PREEZ, C.C. 1984. Better utilization of urea and urea-containing nitrogen fertilisers. Deciduous Fruit Grower 43: 154-157.
- DU PREEZ, C.C. and BURGER, R. 1988. Ammonia losses from ammonium containing and forming fertilizers after surface application at different rate on alkaline soils. Fertilizers Research 15: 71-78
- FAURIE, G. et BARDIN, R. 1979. La volatilization de l'amoniac. I. Influence dela nature du sol et des composés azotés. Annales Agronomiques 30: 363-385.
- FENN, L.B. and MIYAMOTO, S. 1981. Ammonia loss and associated reaction of urea in calcareous soils. Soil Science Society of American Journal 45: 537-540.
- GOULD, W.D., HAGEDORN, C. and McCREADY, G.L. 1986. Urea transformations and fertilizers efficiency in soil. Advances in Agronomy 40: 209-237.
- HAUCK, R.D. 1984. Significance of nitrogen fertilizer microsite reaction in soil. p.: 507-519. In: Hauck, R.D. (ed.). Nitrogen in crop production. 804 p.
- KOELLIKER, J.K. and KISSEL, D.E. 1988. Chemical equilibria affecting ammonia volatilization, p.: 37-52. In: Bock, B.R. and Kissel, D.E. (ed.). Ammonia volatilization from urea fertilizers. National Fertilizers Development Center, Tennessee Valley Authority. Muscle Shoals, Alabama. Bulletin Y-206. 189 p.
- LADD, R. and JACKSON, S. 1982. Biochemistry of ammonification. p: 173-222. In: Stevenson, F.J. et al. (ed.). Nitrogen in Agricultural Soils. Soil Science Society of America. Agronomy 22. 490 p.
- McINNES, K.J. and FILLERY, I.R.P. 1989. Modeling and field measurements of effect of nitrogen source on nitrification. Soil Science Society of American Journal 53: 1.264-1.269.
- MOTT, C.J.B. 1981. Anion and ligand exchange, p.: 79-92. In: Greenland, D.E. and Hayes, I.M. (ed.). The chemistry of soil processes. Academic Press. 246 p.