

EFFECTO DEL ENCALADO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO Y LA GERMINACIÓN DEL TRÉBOL ROJO (TRIFOLIUM PRATENSE)

J. L. Torella, R. Garuzzo y E.C. Faita

Dto Tecnología. Universidad Nacional de Luján, Rutas 5 y ex 7. Luján. Buenos Aires. Argentina

jtorella@unlu.edu.ar

Introducción

Al igual que en otras partes del mundo, los suelos de la República Argentina, entre otros signos de degradación química, presentan aumento de acidez debido al uso intensivo de los mismos. La constante remoción del suelo en sistemas de agricultura continua, favorece la oxidación de la materia orgánica, proceso que junto con la reacción de los fertilizantes nitrogenados generan protones hidrógeno y bajan el pH de la solución del suelo circundante (Black, 1975). A su vez la disminución del pH, afecta el equilibrio del aluminio (Al) y el hierro (Fe), liberándolos a la solución del suelo. El Al resulta sumamente tóxico para los cultivos ya que inhibe el desarrollo radicular; por otra parte, actúa en forma negativa sobre la nutrición fosforada porque, aunque este nutriente se halle en cantidades suficientes, queda retenido en el suelo al ser quelado por el aluminio y no resulta accesible para los cultivos (Foy y Brown, 1963; Torella, 1985). El bajo pH reduce notablemente la actividad microbiana respecto a suelos con pH cercanos a la neutralidad. Dada la alta correlación entre actividad microbiana y tasa de mineralización de materia orgánica, la disminución del pH determina una menor liberación de nutrientes, que afecta principalmente al nitrógeno (Fuentes *et al.*, 2006). Esto puede deberse a que la microflora edáfica en general, las bacterias amonificadoras y nitrificadoras en particular, funcionan mejor en valores de pH entre 6 y 7, en los cuales se encuentran disponibles los nutrientes que necesitan (Buckman y Brady, 1970). En situaciones de valores de pH bajos en el suelo,

el encalado aparece como una técnica viable para disminuir la acidez mejorando la productividad de los cultivos. El aumento del pH se produce inicialmente en superficie y, con el paso del tiempo, ocurre también en profundidad. Este incremento determina una progresiva saturación con calcio de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, que aumenta la disponibilidad de fósforo y potasio para el cultivo y favorece entonces la obtención de mayores rendimientos (Ceriani *et al.*, 1998). Junto con la mejora de las condiciones del ambiente edáfico para la microflora bacteriana, aumenta la tasa de mineralización de la materia orgánica, y se eleva la disponibilidad de N mineralizado para el cultivo (Rosenberg *et al.*, 2003). Finalmente, en algunos ensayos a campo se verificaron resultados variables respecto del efecto del encalado sobre la germinación de las semillas, según las especies y el tipo de suelo (Olsson y Kellnerb, 2002), aunque no se encontraron referencias bibliográficas sobre trébol rojo.

El objetivo de este trabajo fue el de evaluar el efecto producido por el encalado sobre propiedades químicas del suelo como pH, nitrógeno disponible y fósforo extractable, y su influencia sobre la germinación del trébol rojo.

Materiales y métodos

Las muestras de suelo se tomaron del Campo Experimental de la UNLu, situado geográficamente a 34°36' S y 59° 04' O. El suelo en estudio corresponde a un

Tabla 1. Características físicas y químicas del suelo en estudio.

Parámetros	Horizontes		
	A	B/A	Bt
Profundidad (cm)	0 - 21	21 - 33	33 - 75
M.O. (%)	2,08	1,07	0,23
Arcilla < 2 μm (%)	26,8	21,5	43,2
Limo 2 - 50 μm (%)	59,9	61,6	45,7
Arena 50-2000 μm (%)	14,1	16,3	12,3
pH 1:2.5	5,64	5,74	5,43
Densidad aparente (Mg.m ⁻³)	1,25	1,27	1,31
Macroporosidad (%)	23,78	21,94	12,93
CIC (cmol.kg ⁻¹)	21,3	----	----
Ca ⁺² (cmol.kg ⁻¹)	10,1	----	----

Argiudol típico, imperfectamente drenado, con aptitud de uso llw, ubicado en un plano alto, ligeramente convexo y con escasa pendiente (Sfeir *et al.*, 1989). Presenta un horizonte superficial (A1) de 21 cm de profundidad y textura franco-arcillosa. Sus características principales se presentan en la Tabla 1.

Se extrajeron alrededor de 20 kg de muestras del horizonte superficial que fueron trasladadas inmediatamente al laboratorio para su acondicionamiento. Se extendieron sobre un lienzo, se desterraron manualmente y se despojaron de restos orgánicos no descompuestos. Se tamizaron por una malla de 4000 micrones para simular una cama de siembra de estructura fina. Posteriormente, la muestra principal se separó en dos submuestras de aproximadamente 10 kg cada una, una de ellas se guardó y la otra se dividió en tres submuestras de alrededor de 3.3 kg cada una.

Para la realización del cálculo de la dosis de encalado se utilizó la densidad aparente del suelo. Como fuente de cal se empleó CaCO_3 puro, en dosis de 2000 y 4000 kg ha^{-1} , basadas en lo informado por Torella *et al.* (2006).

En un recipiente de 20 litros con tapa, se incorporaron las dosis calculadas de CaCO_3 a dos de las submuestras, mediante movimientos oblicuos durante 5 minutos para su completa incorporación. La tercer submuestra se utilizó como testigo. Una cantidad de 350 g de cada submuestra de suelo se acondicionó en jarras de incubación de 400 ml. Fueron rotuladas convenientemente y cerradas con una tapa perforada para permitir la respiración de la flora del suelo e impedir su rápida desecación. Todas ellas se introdujeron en una estufa de cultivo a 25°C y a una humedad gravimétrica equivalente a capacidad de campo (30%) (Buckman y Brady, 1970), condiciones que se mantuvieron durante los 60 días que duró el ensayo.

Se empleó un diseño experimental de tipo factorial en parcelas divididas con tres repeticiones. Se consideró como parcela principal al tiempo desde el inicio del ensayo (0, 30 y 60 días), y como subparcelas a las dosis evaluadas (0, 2000 y 4000 kg ha^{-1} CaCO_3). Los tratamientos fueron: **1) 0-E1** (testigo sin encalar), **2) 30-E1** (testigo sin encalar), **3) 30-E2** (2000 kg ha^{-1} CaCO_3), **4) 30-E3** (4000 kg ha^{-1} CaCO_3), **5) 60-E1** (testigo sin encalar), **6) 60-E2** (2000 kg ha^{-1} CaCO_3) y **7) 60-E3** (4000 kg ha^{-1} CaCO_3).

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante

un análisis de varianza y test de comparación de medias según Tukey al 5%. Las correlaciones se analizaron por matriz de Pearson y estimación de regresiones por el método de los mínimos cuadrados (Little y Hills, 1976).

Al inicio del ensayo (día 0) y a los 30 y 60 días del mismo, se evaluaron los siguientes parámetros de suelo: pH, fósforo extractable, nitrógeno disponible y porcentaje de emergencia. Los métodos empleados fueron los siguientes:

- pH: (1:2,5) por potenciometría.
- Fósforo extractable: Kurtz y Bray (Jackson, 1966).
- Nitrógeno disponible ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$): Stanford *et al.* (1973).
- Porcentaje de emergencia en tierra (PG_i): ISTA (1996).

Resultados y discusión

Los datos obtenidos al inicio del ensayo en las muestras de suelo sin agregado de carbonato (Tratamiento 0-E1), en promedio fueron: pH 5.05, $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ 160 ppm, P extractable 9.3 ppm y PG_i 67.7%.

El pH promedio verificado, podría determinar inmovilidad de nutrientes, sobre todo en el caso del nutriente fósforo (Foy y Brown, 1963; Torella, 1985).

El contenido de nitrógeno asimilable alcanzó un nivel normal para un suelo sometido a uso agrícola prolongado (Ceriani *et al.*, 1998); y en el caso del P presentó valores bajos, por lo que podría resultar en déficit teniendo en cuenta los valores mencionados por Andrade (2002).

Análisis de los resultados obtenidos a los 30 días de incubación

El análisis estadístico realizado sobre los datos obtenidos a los 30 días de iniciado el ensayo se presenta en la Tabla 2.

Se detectaron diferencias significativas en el pH ya que, mientras en el tratamiento sin encalado (30-E1) este valor resultó moderadamente ácido, en los tratamientos 30-E2 y 30-E3 se aproximó a la neutralidad. Para el resto de las propiedades, pese a que no surgen diferencias significativas, se observaron algunas tendencias incrementales en sus valores.

Se puede inferir que el aumento de pH derivado del agregado de CaCO_3 generó condiciones am-

Tabla 2. Análisis a los 30 días del inicio del ensayo- posteriores a la realización del encalado.

Tratamiento	pH	$\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$	P	PG _i
		(ppm)		(%)
30-E1	5,74 a	103 a	6,6 a	60,3 a
30-E2	6,75 b	132 a	5,4 a	72,0 a
30-E3	7,73 c	151 a	8,0 a	70,0 a

Valores seguidos de igual letra en columnas no difieren entre sí (Tuckey <0.05)

bientales más propicias para la flora microbiana que favorecerían el incremento en las cantidades de nitrógeno asimilable, sin resultar significativo.

Análisis de los resultados obtenidos a los 60 días de incubación

Al final del ensayo, el agregado de CaCO_3 determinó nuevamente diferencias significativas en el pH. Pero, a diferencia de lo registrado a los 30 días del inicio, en este momento de medición, también se verificaron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno asimilable y los PG_i de los tratamientos con agregado de CaCO_3 respecto del testigo (Tabla 3). En cambio, al igual que en la medición anterior, el contenido de fósforo asimilable no presentó diferencias significativas entre tratamientos.

Los datos obtenidos muestran que la aplicación de ambas dosis de CaCO_3 , determinaron un aumento significativo de pH respecto del tratamiento sin encalar. Este incremento podría deberse a la saturación de la CIC con calcio (Laudelout, 1993), catión que desplazaría a los protones provenientes de la descomposición de la materia orgánica y los generados por las reacciones de los fertilizantes nitrogenados (Lesturgez, 2006). Dada la ausencia de diferencias significativas entre el pH de los tratamientos 60-E2 y 60-E3, se infiere que la menor concentración de CaCO_3 resultaría suficiente para lograr el efecto de neutralidad en el suelo.

A diferencia de lo hallado en la medición efectuada a los 30 días de la incubación, los contenidos de nitrógeno asimilable de los tratamientos 60-E1, 60-E2 y 60-E3, presentaron diferencias significativas entre sí, debido probablemente a una mayor actividad microbiana, como consecuencia de la mejora alcanzada en el valor de pH a partir de los 30 días.

Respecto del PG_i , no se registraron diferencias significativas entre los dos tratamientos con encalado, pero sí entre ellos y el tratamiento 60-E1. Se verificó por lo tanto una respuesta positiva del trébol rojo al encalado que, tal como ocurre con el pH se expresó aún con las menores dosis ensayadas.

Análisis temporal

a) Suelo sin agregado de CaCO_3

La Tabla 4 muestra la evolución del suelo sin agregado de CaCO_3 durante los 60 días de ensayo, en

la cual no se observan diferencias estadísticamente significativas en la evolución del pH, fósforo extractable y PG_i , pero sí en los contenidos de nitrógeno asimilable, para los que se detecta una disminución a través del tiempo.

Esta caída en los valores de nitrógeno asimilable podría explicarse de varias formas. Una de ellas es que los bajos valores de pH, reducen la actividad microbiana (Wang *et al.*, 2006) y en consecuencia los procesos de mineralización de la materia orgánica. Otra explicación posible es que, al no haber aporte externo de carbono a las muestras de suelo, disminuye la actividad de la flora nitrificadora porque se reduce la cantidad de sustrato disponible para la misma (Caires *et al.*, 2006). Además, parte de los nitratos generados podrían pasar a ser aceptores finales de electrones en la respiración microbiana que se reduce a óxidos de nitrógeno (N_2O) que se pierden en la atmósfera.

b) Suelo con agregado de 2.000 kg ha^{-1} de CaCO_3

En la Tabla 5 se observa que, tanto el pH como el PG_i registraron aumentos significativos en sus valores. Asociado al incremento de pH, se observa que no existieron disminuciones significativas en el contenido de nitrógeno asimilable a lo largo del ensayo, a diferencia del tratamiento sin encalar. Por su parte, para el fósforo extractable se verificaron disminuciones significativas respecto del testigo.

c) Suelo con agregado de 4.000 kg ha^{-1} de CaCO_3

La Tabla 6 muestra que, al igual que con 2000 kg ha^{-1} de CaCO_3 , se midieron aumentos significativos en el pH y el PG_i . Los valores de nitrógeno asimilable y fósforo se mantuvieron estables a través del tiempo. En el caso del fósforo el tratamiento con 4.000 kg de CaCO_3 , resultaría adecuado porque este nutriente no presentó la disminución en su nivel que se registrara con la dosis menor.

Conclusiones

Los resultados de este ensayo mostraron que el encalado, aún en dosis de 2000 kg ha^{-1} fue capaz de mejorar el pH y el PG_i , a partir de los 30 días de su aplicación. La mejora en el pH desencadenaría una mayor actividad microbiana, que se vio reflejada en un constante contenido de nitrógeno asimilable.

Tabla 3. Análisis a los 60 días del inicio del ensayo- posteriores a la realización del encalado.

Tratamiento	pH	$\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$	P	PG_i
		(ppm)		(%)
60-E1	5,64 a	85 a	6,4 a	74,7 a
60-E2	6,94 b	129 b	6,6 a	86,7 b
60-E3	7,48 b	156 c	9,9 a	88,7 b

Valores seguidos de igual letra en columnas no difieren entre sí (Tuckey <0.05)

Bibliografía

- Andrade F. y V. Sadras.** 2002. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. EEA INTA Balcarce. Capítulo 8. Pág. 227-229.
- Black C.** (1975). Relaciones suelo- planta. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. Pág. 335-346.
- Buckman H. y N. Brady.** 1970. Naturaleza y propiedades de los suelos. Cap. 7, pág. 177 y cap. 15, Pág. 417. Editorial Montaner y Simón S.A. Barcelona.
- Caires E., G. Barth y F. Garbvio.** 2006. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. Soil and Tillage Research. Volume 89, Issues 1. Pág. 3-12.
- Ceriani J., J. Torella, R. Introcaso, E. Wasinger, J. Gueçamburu y F. Fernandez.** 1998. Estimación de los efectos del encalado sobre parámetros químicos del suelo en condiciones controladas. Actas XVI Congreso de Asociación Argentina de Ciencia del suelo; pp 159-160. Villa Carlos Paz. Córdoba. Argentina. 4 al 7 de Mayo de 1998.
- Foy C. y J. Brown.** 1963. Toxics factors in acids soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27: 403-407.
- Fuentes J., D. Bezdicek, M. Flury, S. Albrecht y J. Smith.** 2006. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. Soil and Tillage Research. Volume 88, Issues 1-2, Pages 123-131.
- ISTA Seed Science and Technology.** 1996. 24 supplement pag.184. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland.
- Jackson M.** 1966. Análisis químico de suelos. Editorial Omega.
- Laudelout H.** 1993. Chemical and microbiological effects of soil living in a broad-leaved forest ecosystem. Forest Ecology and Management. Volume 61, Issues 3-4. Pág. 247-261.
- Lesturgez G.** 2006. Soil acidification without pH drop under intensive cropping systems in Northeast Thailand. Agriculture, Ecosystems & Environment. Volume 114, Issue 2-4. Pág. 239-248.
- Little y Hills.** 1976. Métodos estadísticos aplicados a la agricultura. Editorial Trillas. México.
- Olsson B. y O. Kellnerb.** 2002. Effects of soil acidification and liming on ground flora establishment after clear-felling of Norway spruce in Sweden. Soil Biology and Biochemistry. Volume 35, Issue 1, Pág. 127-139.
- Rosenberg W., K. Nierop, H. Knicker, P. Jager, K. Kreutzer y T. Weib.** 2003. Liming effects on the chemical composition of the organic surface layer of a mature Norway spruce stand (*Picea abies* [L.] Karst.). Soil Biology and Biochemistry. Volume 35, Issue 1, Pág. 155-165.
- Sfeir A., M. Costa, A. Stravinsky, E. Penón, V. Bonvecchi y V. Eory** 1989. Mapa Bs. As. Inédito UNLu.
- Stanford G., J. Carter y C. Elmer.** 1973. Nitrate determination by modified Conway Microdiffusion Method. Journal of AOAC. (56) 6: 1352-1368.
- Torella J.** 1985. La toxicidad del aluminio en suelos tropicales. Gaceta Agronómica. Vol. (26): 382-385.
- Torella J., E. Faita, R. Introcaso y J. Guecaimburu.** 2006. Encalado y fertilización nitrofosforada: Efectos en la producción inicial de trébol rojo (*Trifolium pratense* L. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Pág. 431. AACs.
- Wang A., J. Angle, R. Chaney, T. Delarme y M. McIntosh.** 2006. Changes in soil biological activities under reduced soil pH during *Thlaspi caerulescens* hytoextraction. Soil Biology and Biochemistry. Volume 38, Issues 6. Pág. 1451-1461. <

Tabla 4. Evolución temporal del suelo sin agregado de CaCO_3

Tratamiento	pH	$\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ (ppm)	P (ppm)	PG_i (%)
0-E1	5,05 a	160 a	9,3 a	68 a
30-E1	5,40 a	103 b	6,6 a	61 a
60-E1	5,64 a	85 bc	6,4 a	69,3 a

Valores seguidos de igual letra en columna no difieren entre sí (Tuckey <0.05)

Tabla 5. Evolución temporal del suelo con agregado de 2 000 kg ha^{-1} de CaCO_3

Tratamiento	pH	$\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ (ppm)	P (ppm)	PG_i (%)
0-E2	5,05 a	160 a	9,3 a	68,0 a
30-E2	6,75 b	132 a	5,4 b	72,0 a
60-E2	6,94 b	129 a	6,6 b	86,6 b

Valores seguidos de igual letra en columna no difieren entre sí (Tuckey <0.05)

Tabla 6. Evolución temporal del suelo con agregado de 4000 kg ha^{-1} de CaCO_3

Tratamiento	pH	$\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ (ppm)	P (ppm)	PG_i (%)
0-E3	5,05 a	160 a	9,23 a	68,0 a
30-E3	7,73 b	152 a	8,0 a	70,0 a
60-E3	7,48 b	157 a	9,9 a	88,6 b

Valores seguidos de igual letra en columna no difieren entre sí (Tuckey <0.05)