

Acidificación de suelos: Entre el mito y la realidad

Ing. Agr. PhD Ricardo Melgar

melgar.ricardo@inta.gov.ar

La difusión del excelente proyecto de Fertilizar conducido por el equipo del Ing. Hernán Sainz Rosas del INTA de Balcarce sobre la condición de suelos actual comparada con las situaciones anteriores a la agricultura ha revelado muchas verdades interesantes. Sin duda que el empobrecimiento de los suelos fue el tema central, y en particular de fósforo. Si bien también ciertamente indicó que en muchas regiones marginales los valores de P no habían caído tanto como para justificar aplicaciones económicas de fertilizantes.

Uno de los aspectos más interesantes fue la comprobación de la resiliencia de las propiedades de los suelos de la región pampeana, y en particular en lo referente a la potencial acidificación (ver recuadro). En efecto, luego del análisis de casi 1200 muestras provenientes de campos bajo agricultura, la comparación en el gran promedio indicó que el pH solo había descendido menos de 0,3 unidades (6,87 vs 6,58). Esta situación se ilustra claramente en el mapa adjunto donde muestra que en la gran parte de las caídas se dieron en la región pampeana norte y que en el mejor de los casos pudieron descender media unidad.

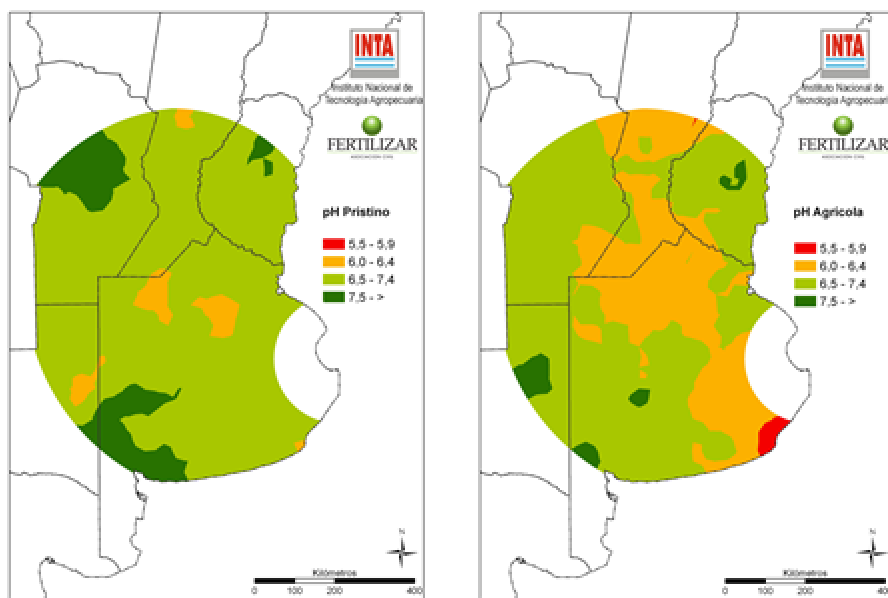


Figura 1. Rangos de valores de pH del horizonte superficial (0-20 cm) de suelos prístinos y agrícolas de la región pampeana Argentina (Sainz Rosas y col. 2013).

Acidez generada por la mineralización de la materia orgánica

El relevamiento además indica una esperada caída de los valores de materia orgánica con la actividad agrícola. En promedio en toda la región esa caída es del 1 % de M.O. (4,20 a 3,19%), o de 0,59 % de C. Esto en números groseramente representa unas 15 t de C por ha considerado una masa de 2.600 t de suelo para una capa de 20 cm (0,59 % de C = 5,9 kg de C/t; $5,9 * 2.600 = 15.340$ kg de C/ha). Yendo un poco más allá en la especulación si consideramos una relación C/N típica de la materia orgánica de los horizontes superiores del suelo de 11, estimamos entonces que se mineralizaron unas 1.400 kg /ha de N orgánico (Tabla 1).

Al margen del destino de ese N mineralizado por los conocidos mecanismos biológicos de amonificación y nitrificación controlados por la actividad microbiana, nos interesa resolver la “cantidad de acidez” generada por la mineralización de esa materia orgánica del suelo. Ésta contiene el N principalmente en forma amino (proteínas) y en forma de bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos. La liberación de N-amino de la materia orgánica se llama proteólisis y la reducción de N-amino a NH_3 se llama amonificación. Este proceso se presenta sistemáticamente como sigue:

N edáfico orgánico \rightarrow R-NH₂ + CO₂ + productos adicionales + energía

R-NH₂ + H₂O \rightarrow NH₃ + R-OH + energía

En ambos procesos la energía liberada la utilizan los microorganismos heterotróficos que efectúan la reacción. Estos microorganismos requieren C orgánico como fuente energética y la microflora del suelo efectúa las reacciones descritas. El NH₄ resultante de la amonificación puede oxidarse fácilmente a NO₂⁻ y NO₃⁻ si hay oxígeno disponible, es decir, si el suelo está convenientemente aireado.

R-NH₄ + 2O₂ \rightarrow 2H⁺ + NO₃⁻ + H₂O

Si un mol de N produce 2 moles de H⁺, ¿Cuánta acidez se generó entonces con la “quema” de los miles de kg de carbono por hectárea y consecuente nitrificación del N de esa materia orgánica perdida?

Una pista nos la da la acidez equivalente, definida como la cantidad de carbonato de calcio (CaCO₃) necesaria para neutralizarla acidez residual causada por los fertilizantes nitrogenados amoniacales. Por ejemplo, 100 kg de sulfato de amonio, (NH₄)₂SO₄, produce acidez que necesitará 110 kg de CaCO₃ para neutralizarla. Por lo tanto la acidez equivalente del (NH₄)₂SO₄ es 110. Similarmente, la de la urea es 84 y la del nitrato de amonio 60.

A los fines prácticos podemos considerar que 100 kg del N de la materia orgánica genera la acidez equivalente de igual masa de carbonato de calcio (CaCO₃). Siendo por lo tanto, que aquellos 1400 kg de N representan la misma cantidad de carbonato de calcio equivalente.

Entonces, siguiendo la cuenta de más arriba, el mismo relevamiento de nutrientes del suelo indicó que las pérdidas medidas de calcio y magnesio de los suelos fueron mucho menores que los 1400 kg de acidez equivalente, y que la Tabla 1 muestra como cercanas a los 300 kg/ha.

Tabla 1. Valores promedio de del contenido de materia orgánica, calcio y magnesio intercambiables y pH del horizonte superficial del suelo (0-20 cm) en 1700 muestras de suelos bajo agricultura y prístinos de la Región Pampeana (Sainz Rozas y col. 2013).

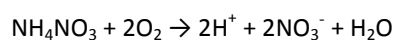
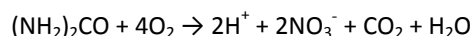
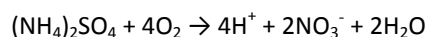
Variable de suelo	Condición	Promedio	Percentil		
			25%	Mediana	75%
Materia orgánica %	Agrícola	3,2	2,25	2,91	3,82
	Prístina	4,19	2,99	3,95	5,04
Reacción del suelo	Agrícola	6,59	6,22	6,47	6,84
	Prístina	6,86	6,42	6,76	7,31
Ca (mg/kg)	Agrícola	1738	1220	1580	2040
	Prístina	1972	1400	1820	2380
Mg (mg/kg)	Agrícola	254	194	231	292
	Prístina	310	243	292	365
Δ M.O. (%)		0,99	0,74	1,04	1,22
Δ C (%)	(0,58% C)	0,57	0,43	0,60	0,71
Δ C (g/kg)			4,3	6,0	7,1
Δ N (%)	(R C/N= 11)	0,052	0,04	0,05	0,06
Δ N (g/kg)		0,52	0,39	0,55	0,64
Δ N (kg/ha)		1.357	1.014	1.426	1.673
Equiv. kg CaCO ₃ /ha		1.357	1.014	1.426	1.673
Δ Ca+ Mg (kg/ha)		290	229	301	413
Δ Ph		0,27	0,20	0,29	0,47

Efecto de la fertilización nitrogenada en la pérdida de bases del suelo

En el proceso de agriculturización verificado en los últimos 40 o 50 años se utilizaron cientos de kg de fertilizantes nitrogenados, de claro poder acidificador (ver recuadro). En buena parte de la región pampeana, el área sembrada con cereales trigo y maíz recibe regularmente una fertilización nitrogenada de aproximadamente 50 a 60 kg de N/ha como urea o UAN. Esta superficie sembrada con cereales se rota con soja en una proporción que varía según la región, siendo de alrededor de dos a cuatro años de soja por cada campaña con cereales. Por lo que esa dosis de N que recibe un maíz o un trigo representaría para un lote determinado una fracción entre el 50 y el 25 % de esa dosis anual; respectivamente entonces unos 10 a 30 kg de N/ha/año. En el lapso de los últimos 20 años entonces cerca de 200 a 600 de N/ha, equivalentes a cantidades similares de calcio + magnesio, se habrán perdido de las capas superiores del suelo.

Por qué acidifican los fertilizantes nitrogenados?

Durante el proceso de nitrificación del amonio (NH_4^+) del fertilizante a nitratos (NO_3^-) se liberan iones H^+ que pueden producir acidez en el suelo. El grado de acidez que induce depende de la fuente de N que se utiliza. Entre los fertilizantes nitrogenados de uso más frecuente se encuentran la urea, el nitrato de amonio (NA), el UAN (50% de urea + 50% de NA) y el sulfato de amonio (SA). Durante su transformación en el suelo, la reacción da como resultado la producción de igual cantidad de N con las tres fuentes, pero los protones liberados son mayores para el SA. Así, tenemos que por cada mol de SA se liberan 4 unidades (moles) de H^+ , mientras que cada unidad (mol) de urea y NA produce solo 2 moles de H^+ . Por lo tanto, si a un suelo le agregamos una cantidad determinada de N/ha con cada una de estas tres fuentes, la acidez inducida por la nitrificación del producto debería seguir el siguiente orden $\text{AS} > \text{urea} = \text{AN}$.



En experiencias recientes se demostró empíricamente que el sulfato de amonio es más acidificante que otras fuentes nitrogenadas como la urea o el nitrato de amonio. Esta mayor capacidad de acidulación del sulfato de amonio se cuantificó en promedio como del 55 % más, o 1,5 veces el valor acidificante de la urea, valor mucho menor que el que se consideraba previamente como de 3 veces) o 300 % más (Chien et al 2002), aunque variable según el contenido de arcilla del suelo.

Chien, S.H., M.M. Gearhart y D.J. Collamer. 2008. Acidez generada por los fertilizantes nitrogenados: Nueva evaluación de los requerimientos de cal. *Informaciones Agronómicas* # 41:16-17

Si bien podemos asumir que la soja tuvo y tiene una importante presencia temporal y espacial en la serie, tampoco este cultivo, por no merecer urea u otros fertilizantes nitrogenados tiene un efecto neutro en el proceso de acidificación. El residuo del cultivo, cuyo contenido de N fuera aportado por la fijación biológica eventualmente se mineralizará y contribuirá con cantidades variables de acidez. Por ejemplo, un rendimiento de 3 t de grano generará poco más de 1 t de residuos con 1,5 % de N en el residuo, es decir 15 kg /ha de N.

La comprobación empírica

En ensayos controlados de cierta duración esta especulación puede tomar forma de números más concretos, detectándose cambios en el pH provocados por la acción de cultivo y magnificada por fertilización nitrogenada en los cereales que participan de la rotación. En la red de ensayos que conduce el IPNI en campos del CREA Sur de Santa Fe con la empresa ASP, se detectaron disminuciones en el pH a lo largo de 12 años, que si bien no son estadísticamente significativos, es claro que el pH disminuye con el tiempo, y más aún en las parcelas que son más fertilizadas con N (Figura 2). En 2012, las diferencias fueron significativas en tres sitios de los nueve sitios

participantes. Esta disminución es paralela con la menor dotación de bases intercambiables, principalmente calcio y magnesio, observada con el tiempo de cultivos.

Resiliencia de los suelos

La resiliencia de los suelos se refiere a la habilidad de un suelo de resistir o de recuperar su estado original en respuesta a influencias desestabilizantes – es un subconjunto de la noción de resiliencia ambiental. Influencias desestabilizantes por la actividad humana incluyen la

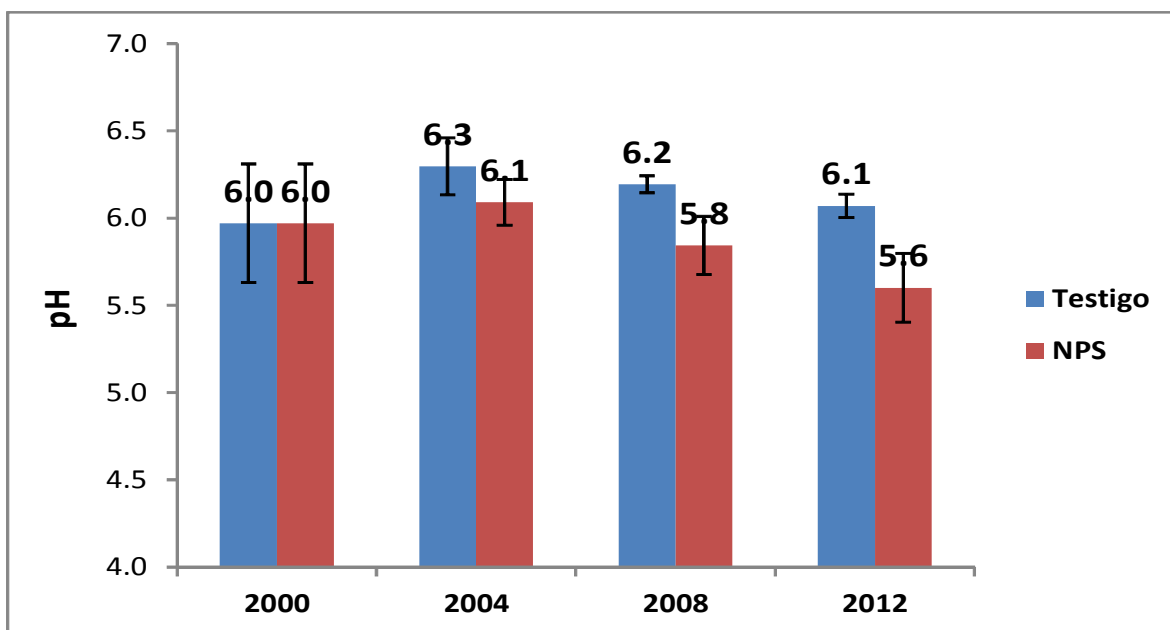
Normalmente se dice que los suelos son resilientes a los cambios ambientales – esto es, se recuperarán o se ajustarán si se da suficiente tiempo ‘pedológico’. Las prácticas de manejo de suelos que el hombre ha aplicado en un marco de tiempo mucho menor son insostenibles y en algunas situaciones de la historia de la humanidad han conducido al colapso de civilizaciones y sociedades antiguas (Colapso, Jared Diamond, 2012).

Las prácticas en uso desde hace unos 120 años en la región pampeana no han sido sustentables y han provocado problemas como salinización, acidificación, disminución en la dotación de nutrientes, erosión y degradación de la estructura.

La resiliencia de un suelo en el marco de tiempo y las expectativas humanas dependerá de la capacidad de recobrar su estado de equilibrio una vez que se han impuesto y aplicado extensivamente prácticas mejoradas de manejo.

Esperamos que los suelos permanezcan en buen estado y continúen dando los mismos servicios económicos y ambientales como en el presente. Por eso las prácticas de buen manejo de los suelos son fundamentales para lograrlo.

Figura 2. Evolución de los valores de pH del suelo superficial en parcelas testigos y fertilizados en ensayos de larga duración del Crea Sur de Santa Fe. Promedios de nueve sitios. Gentileza Dr. Fernando García.



La tabla 2 indica las pérdidas de calcio y magnesio sufridas por las parcelas fertilizadas, que no difieren casi con las observadas en las parcelas testigo. En efecto, los valores indicados en la última columna de la tabla con respecto al comienzo de la experiencia son apenas 320 kg en total o 26 kg/ha/año a lo largo de los 12 años en total.

Tabla 2. Evolución de los contenidos de calcio y magnesio en el suelo superficial de las parcelas Testigo y Fertilizadas con 120 kg/ha anuales de N. Ensayos de larga duración Crea Sur de Santa Fe, IPNI-AACREA-ASP.

	2000		2004		2012	
	Comienzo	Testigo	Fertilizada	Testigo	Fertilizada	
Calcio (cmolc/kg)	9,3	8,7	8,7	8,5	8	
Magnesio (cmolc/kg)	3,7	2,9	2,8	2,7	2,4	
Calcio (ppm)	1860	1740	1740	1700	1600	
Magnesio (cmolc/kg)	444	348	336	324	288	
Ca+Mg (kg/ha)	4608	4176	4152	4048	3776	
Δ Ca+Mg (kg/ha)– Total		-432	-456	-536	-856	
Δ Ca+Mg (kg/ha/año)		-108	-114	-13	-50	

Lo que no contamos

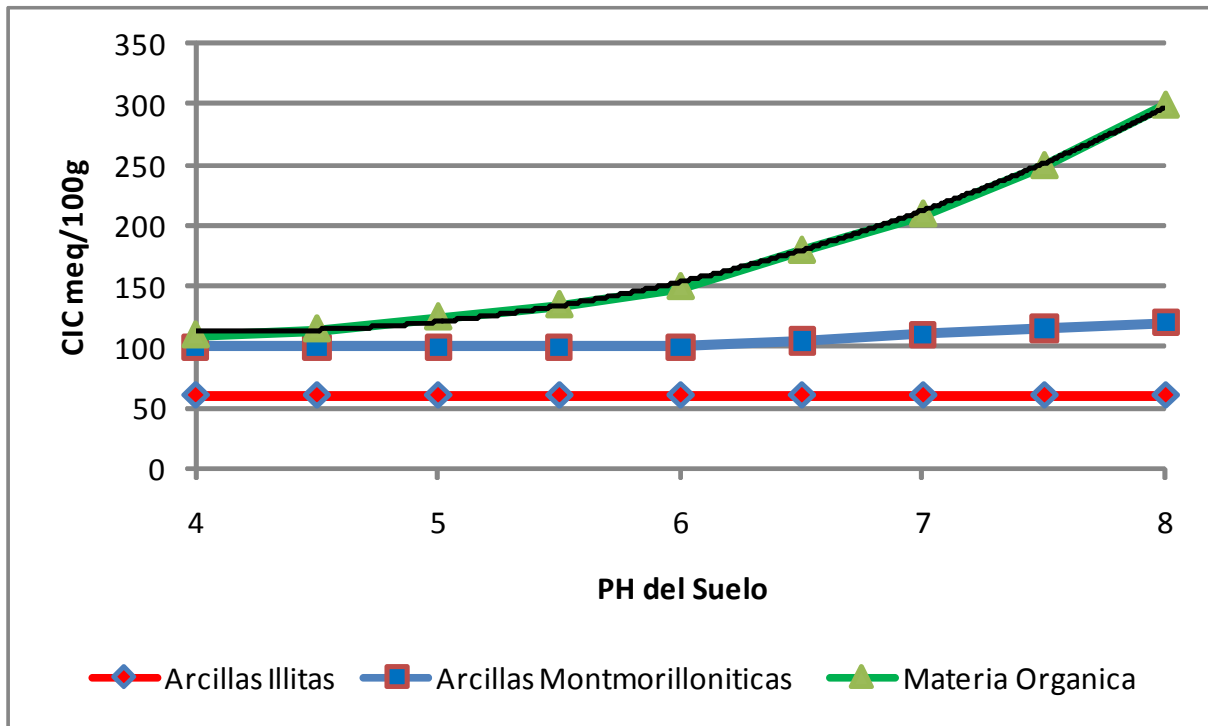
Estos fenómenos observados de disminución del pH y pérdida de bases del suelo, causadas por la actividad agrícola y magnificada por la fertilización nitrogenada no toma en cuenta un importante proceso, que es el de “bombeo” de nutrientes desde las capas más profundas hacia la superficie del suelo y mitigan el proceso descrito. En efecto, cuando un cultivo determinado explora es perfil del suelo, absorbe agua y nutrientes desde las capas profundas y las acumula en su biomasa. Al terminar el ciclo luego de la cosecha, aquellos que quedan en la paja, hojas, tallos y otros restos quedaran en la superficie del suelo, y en particular aquellos cationes que no intervienen de la

estructura vegetal y por lo tanto no estarán ligadas a la materia orgánica del suelo se moverán libremente en la solución de suelo y adsorbidas a los coloides de los primeros cm del suelo superficial. Esto es, lo que uno evalúa y mide en el análisis de suelo es el balance entre los cationes perdidos (por extracción o lixiviado) y ganados por el aporte de los residuos. Por otra parte cuando se realizan evaluaciones del balance de cationes en capas más profundas del suelo esta disminución también se verifica. Entonces las disminuciones relativamente menores que se observan en el pH del suelo con el tiempo serían mucho mayores si no se diera este proceso.

El relevamiento de suelos que aludíamos al principio los autores asociaron la disminución del pH con la de la saturación con bases, o lo que es lo mismo con las cantidades perdidas de calcio y magnesio (estos cationes dominan normalmente más del 80 % de las bases de cambio); ambos descensos relacionados al uso agrícola de los suelos, observado con más o menos intensidad según las zonas. En algunas regiones también los autores observaron alguna disminución de las cantidades de calcio y magnesio en profundidad. Al no usarse encalado en los suelos pampeanos, es natural que esto suceda. Sin embargo, la caída promedio del 13% de la saturación de bases explica parcialmente la caída del pH, de apenas el 4% ($\Delta 0,27/6,87$).

El otro gran factor que explica la resiliencia del pH al paso del tiempo es la materia orgánica. Las moléculas de ácidos húmicos y fúlvicos del humus del suelo tienen cargas variables con el pH, siendo cada grupo químico disociable a diferente pH. Aun pH bajo los grupos $R-OH_2$ no se disocian. Luego, a un pH mayor a 5.0 se disocian los H^+ de los grupos carboxílicos ($R-O^- + 2H^+$), y después con un pH más alto (> 8) lo hacen los de los grupos fenólicos, quedando en cada caso que las cargas pueden ser intercambiados por cationes. Si la densidad de cargas por unidad de peso es abundante, como por ejemplo con un alto contenido de materia orgánica, entonces el grado de disociación de los grupos $R-OH$ es alto y con la cantidad de bases por unidad de masa. Al perderse bases por el uso agrícola (extracción, lixiviado) los grupos carboxílicos se polimerizan cancelándose y balanceándose las cargas. Este es uno de los grandes atributos de la materia orgánica, lo que le da al suelo la capacidad para recobrar su estado original luego de las alteraciones provocadas por la agricultura. (Figura 3)

Figura 3. Variación de la capacidad de intercambio catiónico específica de distintos coloides que componen el suelo.



Concluyendo

En síntesis, la dinámica de la química de los suelos típicos de la región pampeana (Molisoles) hace que sean muy resistentes a los cambios en el pH, carácter dado por la alta capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases, al menos en términos de relación con otros tipos de suelo. De hecho, estas son las dos principales características que definen a los Molisoles.

Aun con fertilizaciones nitrogenadas regulares estos cambios en el mediano plazo son difíciles de observar y deberá demostrarse en ensayos de larga duración, que altas dosis de N, cualquiera sea la fuente, provoquen una disminución de pH peligrosa para el desarrollo de las plantas.

Dados los valores aceptables a altos de saturación de bases es improbable que el encalado sea una práctica común o necesaria para resolver algún tipo de problema por la acidez vinculada con la toxicidad por aluminio. Se reconoce como excepción a la alfalfa, un cultivo típicamente celícola, sobre el que se han demostrado respuestas importantes de producción, física y económica, en varias situaciones y ambientes.