

Predicción de la concentración de calcio soluble en suelos agrícolas de la provincia de Buenos Aires

Prediction of soluble calcium concentration in agricultural soils of Buenos Aires province

Predição da concentração de cálcio solúvel em solos agrícolas da província de Buenos Aires

*Ferro, Daniel Adalberto*¹ ; *Andreini, Brian Luis*² ; *Lozano, Luis Alberto*³ ; *Merani, Victor Hugo*³ ; *Bongiorno, Florencia Marlene*² ; *Larrieu, Luciano*³ ; *Millán, Guillermo José*³ ; *Soracco, Carlos Germán*³ 

¹ Mecánica Aplicada - Mecanización Agraria. Centro de Investigaciones para la Sustentabilidad de Suelos Agropecuarios y Forestales (CISSAF). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), UNLP

² Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.

³ Centro de Investigación para la Sustentabilidad de Suelos Agrícolas y Forestales (CISSAF). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.

daniel.ferro@agro.unlp.edu.ar

DOI: <https://doi.org/10.35305/agro41.e031>

Recibido: 11/04/2022 Aceptado: 03/01/2023

Resumen

El calcio (Ca) es un nutriente que las plantas absorben en forma de Ca soluble desde la solución del suelo (CaCE) para abastecer sus requerimientos. La variación de su concentración en este estado es compleja y depende de factores naturales y antrópicos. Los suelos de la provincia de Buenos Aires se encuentran naturalmente bien dotados de Ca, pero se han observado zonas con posibles deficiencias debido a la exportación antrópica sin reposición de este elemento. El objetivo de este trabajo fue estimar la concentración de CaCE en suelos de la provincia de Buenos Aires a partir de funciones matemáticas ajustadas y, en consecuencia, conocer los principales parámetros edáficos que predicen su disponibilidad. Se realizó el muestreo de 24 suelos de la provincia de Buenos Aires, y se realizaron determinaciones físico-químicas de rutina en laboratorios de suelos. Se realizó una regresión lineal múltiple por selección de variables paso a paso (*Stepwise*). El análisis retuvo las variables conductividad eléctrica (CE) y a la relación entre el Ca intercambiable (CaCIC) respecto a la sumatoria de las bases (S). La ecuación fue: $2,175 \text{ CE (dS m}^{-1}) + 2,554 \text{ CaCIC/S} - 0,925$, con un R^2 de 0,55 ($p < 0,01$). La presencia de la CE se asociaría a la relación con los iones solubles, mientras que la relación CaCIC/S se relacionaría con la reserva de CaCE en suelo. Estos resultados preliminares demostraron que sería factible obtener estimaciones de CaCE soluble más precisas, sugiriendo que se deberá continuar con su estudio para poder comprender con mayor detalle su dinámica en suelos templados.

Palabras claves: bases; equilibrio; calcio en solución; ecuación; fertilidad

Summary

Calcium (Ca) is a nutrient that plants absorb as soluble Ca from the soil solution (CaCE) to supply their requirements. Variations in its concentration as soluble Ca are complex and depend on natural and anthropic processes. The soils of the province of Buenos Aires are naturally well endowed with Ca, but areas with possible deficiencies have been observed due to the anthropic export of this element without replenishing it. The objective of this work was to estimate the concentration of CaCE in soils of the province of Buenos Aires using adjusted mathematical functions and, consequently, to determine the main edaphic parameters controlling its availability. Twenty-four soils from the province of Buenos Aires were sampled, and routine physical-chemical determinations were performed in soil laboratories. Data were analyzed with stepwise multiple linear regression. The analysis retained the variables electrical conductivity (EC) and the relationship between exchangeable Ca (CaCIC) and the sum of the bases (S). The equation was: $2,175 \text{ EC (dS m}^{-1}) + 2,554 \text{ CaCIC/S} - 0.925$, with an R^2 of 0.55 ($p < 0.01$). The presence of EC would be associated with the ratio of soluble ions, while the CaCIC/S ratio would be related to CaCE stock in soils. These preliminary results show that it would be feasible to obtain more accurate estimates of soluble CaCE, suggesting the need to perform further studies for a more detailed understanding of its dynamics in temperate soils.

Keywords: bases; balance; calcium in solution; equation; fertility

Resumo

O cálcio (Ca) é um nutriente que as plantas absorvem na forma de Ca solúvel da solução do solo (CaCE) para abastecer as suas necessidades. A variação de sua concentração neste estado é complexa e depende de fatores naturais e antrópicos. Os solos da província de Buenos Aires são naturalmente bem dotados de Ca, mas foram observadas áreas com possíveis deficiências devido à exportação antrópica sem reposição deste elemento. O objetivo deste trabalho foi estimar a concentração de CaCE nos solos da província de Buenos Aires a partir de funções matemáticas ajustadas e, conseqüentemente, conhecer os principais parâmetros edáficos que predizem a sua disponibilidade. Vinte e quatro solos da província de Buenos Aires foram amostrados, e determinações físico-químicas de rotina foram realizadas em laboratórios de solos. Foi realizada uma regressão linear múltipla por seleção de variáveis passo a passo (*Stepwise*). A análise reteve as variáveis condutividade elétrica (CE) e a relação entre o Ca trocável (CaCIC) em relação à somatória das bases (S). A equação foi: $2,175 \text{ EC (dS m}^{-1}\text{)} + 2,554 \text{ CaCIC/S} - 0,925$, com um R^2 de 0,55 ($p < 0,01$). A presença de CE estaria associada à relação com os íons solúveis, enquanto que a relação CaCIC/S estaria relacionada com a reserva de CaCE no solo. Esses resultados preliminares demonstraram que estimativas mais precisas de CaCE solúvel poderiam ser viáveis, sugerindo que seu estudo seja continuado para entender com mais detalhes sua dinâmica em solos temperados.

Palavras-chave: bases; equilíbrio; cálcio em solução; equação; fertilidade

Introducción

El calcio (Ca) es un nutriente que las plantas necesitan para completar su ciclo de vida ([Marschner, 2012](#)). La mayor parte del ión Ca en el suelo se encuentra en la fracción intercambiable adsorbido a las cargas negativas de los coloides, mientras que la parte restante se encuentra en la solución del suelo (Ca soluble), sin interacción con los coloides y, en consecuencia, disponible para ser absorbido por las raíces de las plantas ([Kumar et al., 2015](#)). Ambas concentraciones se encuentran en equilibrio dinámico condicionado por características de los iones y de los coloides ([Navarro Blaya y Navarro García, 2003](#)). Las características de los iones que intervienen en las equilibrio edáfico son la concentración, valencia y su radio hidratado; mientras que las características de los coloides que afectan el equilibrio son su cantidad, tipo de coloide, superficie específica y densidad de cargas, aunque también existen interacciones preferenciales entre iones y coloides debido a propiedades estéricas ([Fassbender y Bornemisza, 1987](#); [Bolt et al., 2013](#)). El equilibrio en suelo es complejo y dependiente de las condiciones particulares de cada sitio edáfico ([Snakin et al., 2001](#)). Las características mencionadas, adicionalmente, condicionan la capacidad que tiene el suelo para reponer los iones absorbidos por las plantas (poder amortiguador). El proceso de reposición de nutrientes en la fracción soluble se conoce como renovación, y en caso de Ca se denomina desorción ([Vázquez y Pagani, 2015](#)).

La cantidad total de Ca en suelo, y de los iones en general, depende de los factores formadores del suelo, de los procesos pedogenéticos ocurridos y de la intervención antrópica en el sistema. Entre las características edáficas que condicionan su concentración se destacan la densidad aparente, porosidad total, contenido-tipo de coloides, pH, material parental y las propiedades de los iones presentes, y sus relaciones ([Tormena et al., 1999](#); [Leao et al., 2006](#); [Wilson et al., 2013](#); [Chen et al., 2014](#); [Safadoust et al., 2014](#); [Anda et al., 2015](#); [Emamgolizadeh et al., 2015](#); [Kim y Kim, 2015](#)). Las propiedades edáficas mencionadas, además, influyen indirectamente en la conductividad eléctrica del suelo (CE) debido a que los iones se comportan como electrolitos en el transporte de electrones ([USDA, 1954](#)). Respecto a la intervención antrópica, la historia de manejo productivo del suelo será condicionante fundamental de la concentración de Ca en el suelo a causa de su exportación fuera del sistema en los agroecosistemas ([Cambardella, 1994](#); [Sadeghian, 2010](#); [Safadoust et al., 2014](#)).

Los suelos de la Región Pampeana se caracterizan por presentar adecuadas concentraciones naturales de nutrientes para el crecimiento vegetal ([Larrea, 2019](#); [Sainz Rozas et al., 2019](#)). Algunos autores, sin embargo, diagnosticaron áreas susceptibles a la disminución de bases

(Presutti, 2018), mientras que otros informaron la existencia actual de zonas con baja concentración de bases debido a la intervención antrópica (Heredia *et al.*, 2012; Cruzate y Casas, 2009; Dell'Arciprete, 2018; Herrera y Rotondaro, 2019; Sainz Rozas *et al.*, 2019). Más aún, algunos autores ya han observado respuesta en el crecimiento vegetal al agregado de este nutriente en cultivos de cosecha y en especies forrajeras, del mismo modo que encontraron relación entre el rendimiento de cultivos extensivos y el contenido de Ca en suelo (Vázquez *et al.*, 2010; Vivas *et al.*, 2010; Fontanetto *et al.*, 2011; Barbieri *et al.*; 2015). Los ensayos realizados, sin embargo, no se ajustaron a calibraciones previas y evidencia la necesidad de empezar a considerar este nutriente dentro del planteo productivo.

La fertilización con Ca no es una práctica adoptada en producciones extensivas (Narvárez Ortiz, 2017). Ciarlo *et al.* (2018) mencionaron que la determinación de bases en laboratorios de suelos es muy reducida. Esta realidad muestra la escasa preocupación relacionada a la pérdida y dinámica general de estos nutrientes que podría estar asociada al desconocimiento para el manejo eficiente de estos recursos.

La metodología utilizada en el escaso diagnóstico de suficiencia en nutrientes básicos como Ca, magnesio (Mg) y potasio (K), desestima la concentración de bases solubles. Se evalúa la concentración en la fracción intercambiable suelo, considerando las cantidades absolutas y sus relaciones, ya sea entre cationes y/o propiedades de los suelos (Kopittke y Menzies, 2007; Vázquez y Pagani, 2015; Chaganti y Culman, 2017; Singh *et al.*, 2017). En consecuencia, una estrategia de calibración para el diagnóstico directo de suficiencia cálcica podría ser la concentración de Ca soluble. Este diagnóstico se podría alcanzar a través de las denominadas “funciones de pedotransferencia”. Este término fue definido por Bouma (1989) como funciones que permiten obtener información necesaria a partir de información que se posee, es decir, utilizando información disponible para traducirla en información más laboriosa de obtener.

La mayor parte de la investigación en funciones de pedotransferencia fue desarrollada en propiedades físicas de suelos (McBratney *et al.*, 2002). Aun así, algunos autores han desarrollado modelos predictivos otros parámetros de suelos como la CIC (Bell y van Keulen; 1995; Horn *et al.*, 2005), concentración de fósforo (Cox, 1994), intercambio Ca/K (Scheinost *et al.*, 1997), propiedades químicas (Genú y Demattê, 2011), entre otros. El desarrollo de estas funciones con mayores grados de ajuste, en su mayoría, ha sido posible debido a la reducción en las áreas de estudio, y en consecuencia no se debieran extrapolar más allá de las situaciones y lugares donde se han desarrollado. La investigación se ha realizado en el desarrollo de nuevos modelos para diferentes áreas más que a la integración de los diferentes modelos (McBratney *et al.*, 2002). Lince Salazar *et al.* (2015), por su parte, generaron funciones de predicción relacionando las concentraciones de elementos químicos en suelos tropicales de Colombia. Los autores lograron ajustar una función de regresión lineal múltiple para determinar la disponibilidad de Ca, Mg y K soluble en función de las propiedades del suelo. Estos autores encontraron que las concentraciones de Ca soluble en las diferentes unidades cartográficas se explicaron a partir de otros nutrientes en la fracción intercambiable, con un grado de ajuste R^2 de 0,55. Más aún, analizando cada unidad cartográfica individualmente encontraron que el Ca soluble se explicó con un grado de ajuste R^2 del 0,36 hasta el 0,88, en algunos sitios. Las interacciones entre iones, la fijación de nutrientes por parte de las arcillas y la influencia de la CIC y el pH podrían haber interferido en aquellas situaciones donde la concentración del Ca soluble no logró explicarse en función de su concentración en la fracción intercambiable (Bohn *et al.*, 2001; Sparks, 2003; Melo y Alleoni, 2009).

La generación de modelos semejantes a las funciones de pedotransferencia para predecir la concentración de calcio soluble en suelos de la provincia de Buenos Aires, como así también la manifestación de las propiedades edáficas que explican su comportamiento, permitirá ampliar la

base cognitiva para incorporar y optimizar el manejo de este nutriente fundamental en la participación de procesos edáficos y nutricionales necesarios para el adecuado crecimiento de especies vegetales. El objetivo de este trabajo fue estimar la concentración de calcio soluble en suelos de la provincia de Buenos Aires a partir de funciones matemáticas ajustadas y, en consecuencia, conocer los principales parámetros edáficos que predicen su disponibilidad.

Materiales y métodos

Se realizó el muestreo de 24 suelos de Buenos Aires, que abarcaron la zona del centro-norte de la provincia. Las muestras fueron seleccionadas a partir de las siguientes características edáficas: ubicación en la posición de loma, de 0 a 20 cm de profundidad, ausencia de carbonatos de calcio precipitados, suelos no salinos y no sódicos, pH menor a 7 y con historia de uso agropecuario. Cada muestra se obtuvo a partir de una muestra compuesta de 10 submuestras cada 50 ha. Dichas muestras fueron secadas en estufa mediante circulación forzada a 40 °C, mortereadas y tamizadas según la determinación practicada. Se realizaron los siguientes análisis por triplicado: pH actual (pH): relación suelo/agua de 1/2,5, determinación potenciométrica ([SAMLA-PROMAR; 2004](#)); textura: método de Bouyoucos: determinación de arena, limo y arcilla (Bouyoucos; 1962); carbono oxidable (CO) determinado por metodología Walkley y Black micrométodo ([IRAM-SAGyP; 2016](#)); nitrógeno total (Nt) por digestión ácida y destilación Kjeldahl ([IRAM SAGyP, 2018](#)); fósforo extractable (Pbk) por metodología Bray-Kurtz 1 ([IRAM-SAGyP; 2010](#)); CIC y cationes intercambiables: método del acetato de amonio 1N pH 7 (tamponado), determinación de CIC por destilación Kjeldahl, Ca (CaCIC) y Mg (MgCIC) por volumetría de formación de complejos, K (KCIC) y Na (NaCIC) por fotometría de llama ([SAMLA-PROMAR; 2004](#)); suma de bases intercambiables (S): CaCIC + MgCIC + NaCIC + KCIC; saturación con bases (S/CIC): se calcularon en base a S en relación a la CIC; relación CaCIC/S; relación CaCIC/CIC; conductividad eléctrica en extracto de saturación (CE): conductimetría ([SAMLA-PROMAR; 2004](#)); calcio soluble (CaCE): Ca en extracto de saturación: volumetría de formación de complejos con EDTA ([SAMLA-PROMAR; 2004](#)). De cada una de ellas se calculó el coeficiente de variación (CV).

Las ubicaciones de los sitios de muestreo en la provincia de Buenos Aires se indican en la [Figura 1](#) y los resultados de las determinaciones de suelos se muestran en la [Tabla 1](#) y [Tabla 2](#).

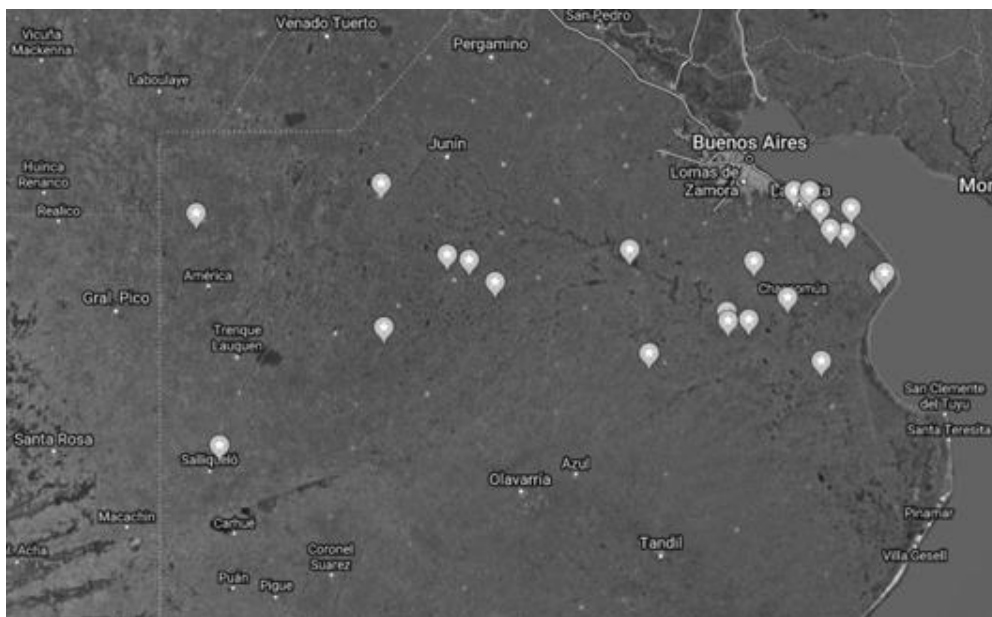


Figura 1. Imagen de la provincia de Buenos Aires que indica los sitios donde se obtuvieron las muestras para realizar el ensayo.

Tabla 1. Sitios y determinaciones analíticas realizadas: pH, carbono oxidable (CO), fósforo extractable (Pbk), nitrógeno total (Nt), conductividad eléctrica en extracto de saturación (CE), Ca soluble en extracto de saturación (CaCE), Arena, Limo y Arcilla, con los respectivos coeficientes de variación (CV)

Sitios	Latitud Longitud	pH	CO (%)	Pbk (mg kg ⁻¹)	Nt (%)	CE (dS m ⁻¹)	CaCE (meq l ⁻¹)	Arena	Limo (%)	Arcilla
Lincoln	S 34°54'03,24" W 61°34'50,51"	6,2	1,9	4,6	0,190	0,6	2,20	43,5	33,0	23,5
Villegas	S 35°04'47,99" W 63°13'52,31"	6,3	1,2	58,3	0,120	0,3	1,60	56,8	24,8	18,4
Los Hornos	S 34°59'16,79" W 57°59'45,23"	6,2	1,9	1,8	0,201	0,40	2,00	21,4	50,6	28,1
Bavio	S 35°06'56,51" W 57°48'51,12"	5,7	2,9	96,9	0,323	0,3	2,00	19,5	53,1	27,4
Arana	S 35°00'14,04" W 57°53'09,23"	6,1	2,7	6,5	0,272	0,5	2,80	19,0	54,6	26,4
Arana	S 35°05'44,87" W 57°56'06,36"	5,9	1,5	66,5	0,154	0,3	1,00	14,3	48,0	37,7
Chascomús	S 35°43'07,31" W 58°03'48,60"	6,1	2,3	27,8	0,217	0,4	1,20	23,6	50,2	26,2
Castelli	S 36°07'02,27" W 57°43'01,56"	5,6	2,9	15,0	0,300	0,7	2,40	31,3	62,0	6,7
Belgrano	S 35°49'52,67" W 58°29'37,67"	5,4	1,8	6,9	0,180	0,2	1,20	29,3	60,0	10,7
Belgrano	S 35°51'00,00" W 58°31'13,44"	5,1	2,3	13,1	0,220	0,3	1,52	29,3	60,0	10,7
Las Flores	S 36°04'10,91" W 58°02'10,32"	5,3	2,5	17,3	0,250	0,4	1,60	29,3	60,0	10,7
Saliqueló	S 36°49'54,11" W 62°59'52,07"	6,5	0,8	9,0	0,812	0,4	1,10	76,1	14,6	9,3
Vieytes	S 35°18'50,03" W 57°32'08,16"	5,9	3,1	25,0	0,331	0,5	1,40	15,7	58,7	25,6
Vieytes	S 35°17'42,00" W 57°38'28,68"	6,2	2,7	44,5	0,295	0,5	2,00	18,0	52,9	29,1
Bellocoq	S 35°55'32,55" W 61°29'17,78"	6,0	1,8	13,0	0,180	0,3	1,96	41,3	52,0	6,7
Inchausti	S 35°36'49,55" W 60°32'23,46"	6,1	1,8	11,2	0,175	0,4	1,50	65,3	24,0	10,7
Belgrano	S 35°52'36,86" W 58°33'44,20"	5,7	3,2	7,1	0,331	0,5	2,10	39,3	52,0	8,7
9 de Julio	S 35°34'45,44" W 60°46'56,16"	6,2	1,5	3,5	0,142	0,4	2,00	57,3	36,0	6,7
9 de Julio	S 35°20'04,19" W 60°56'04,92"	6,3	1,4	4,2	0,155	0,4	2,24	57,3	34,0	8,7
Pipinas	S 35°33'13,64" W 57°14'15,29"	5,9	2,8	6,4	0,259	0,5	1,20	17,3	62,0	20,7
Pipinas	S 35°34'40,54" W 57°16'56,51"	6,1	3,3	7,1	0,237	0,5	1,50	21,3	62,0	16,7
Magdalena	S 35°07'51,96" W 57°28'59,87"	6,1	3,4	4,1	0,317	0,3	1,60	23,3	66,0	10,7
Roque Perez	S 35°22'23,16" W 59°22'20,28"	5,7	1,9	4,9	0,191	0,2	1,00	53,3	36,0	10,7
Ranchos	S 35°30'18,72" W 58°14'07,80"	6,0	3,1	12,6	0,310	0,3	1,20	41,3	54,0	4,7
CV (%)		6	32	122	53	29	29	50	29	57

Tabla 2. Sitios y determinaciones analíticas realizadas: capacidad de intercambio catiónica (CIC), calcio intercambiable (CaCIC), magnesio intercambiable (MgCIC), sodio intercambiable (NaCIC), potasio intercambiable (KCIC), sumatoria de bases intercambiables (S), saturación de bases en la CIC (S/CIC), saturación cálcica en relación a la sumatoria de bases (CaCIC/S) y saturación cálcica en relación a la capacidad de intercambio catiónica (CaCIC/CIC), con los respectivos coeficientes de variación (CV)

Sitio	CIC (cmolc kg ⁻¹)	CaCIC	MgCIC	NaCIC	KCIC	S	S/CIC	CaCIC/S	CaCIC/CIC
Lincoln	20,9	8,6	1,7	0,2	1,8	12,3	0,59	0,70	0,41
Villegas	13,6	5,9	1,0	0,2	1,3	8,4	0,62	0,70	0,43
Los Hornos	23,3	9,4	1,8	0,2	1,7	13,1	0,56	0,72	0,40
Bavio	26,4	10,6	0,6	0,2	1,2	12,6	0,48	0,84	0,40
Arana	22,7	10,2	1,4	0,2	1,6	13,4	0,59	0,76	0,45
Arana	22,3	9,0	1,4	0,2	9,8	20,4	0,91	0,44	0,40
Chascomús	22,3	8,6	1,8	0,3	1,8	12,5	0,56	0,69	0,39
Castelli	17,4	10,3	2,0	0,1	1,2	13,6	0,78	0,76	0,59
Belgrano	15,0	5,0	2,3	0,2	0,9	8,4	0,56	0,60	0,33
Belgrano	18,4	6,8	1,2	0,1	1,2	9,3	0,51	0,73	0,37
Belgrano	18,5	9,9	1,3	0,1	1,5	12,8	0,69	0,77	0,54
Saliqueló	10,0	4,2	1,2	0,1	1,7	7,2	0,72	0,58	0,42
Vieytes	25,7	8,3	2,1	0,4	2,7	13,5	0,53	0,61	0,32
Vieytes	24,7	8,1	2,4	0,5	1,9	12,9	0,52	0,63	0,33
Belloccq	13,6	6,5	2,0	0,1	1,6	10,2	0,75	0,64	0,48
Inchausti	13,8	6,9	1,4	0,2	1,2	9,7	0,70	0,71	0,50
Belgrano	20,5	10,4	2,5	0,2	1,4	14,5	0,71	0,72	0,51
9 de Julio	13,7	8,4	1,4	0,1	1,1	11,1	0,80	0,76	0,61
9 de Julio	13,7	7,3	1,6	0,1	1,3	10,3	0,75	0,71	0,53
Pipinas	19,0	9,0	3,5	0,9	1,0	14,4	0,76	0,63	0,47
Pipinas	17,1	7,8	5,2	0,6	1,1	14,7	0,86	0,53	0,46
Magdalena	23,0	12,2	2,6	0,2	1,2	16,2	0,70	0,75	0,53
Roque Perez	16,4	8,0	2,0	0,1	1,1	11,2	0,68	0,71	0,49
Belgrano	18,1	9,5	2,3	0,1	1,6	13,5	0,75	0,70	0,53
CV (%)	24	22	48	81	98	23	18	13	17

Se realizó una regresión lineal múltiple para generar una función matemática ajustada que permita predecir la concentración de Ca soluble en la solución del suelo (CaCE) mediante el método estadístico de selección de variables paso a paso (*Stepwise*), con significancia de parámetros del 95% (p -valor $<0,05$), donde las variables regresoras fueron las determinaciones efectuadas en laboratorio. Se evaluaron los estadísticos arrojados del ANOVA relacionados con la significancia de la regresión ($p < 0,05$), significancia de los parámetros mediante test de *t-Student* ($p < 0,05$) y el grado de ajuste de la regresión a través del valor de R^2 y/o el error cuadrático medio predictivo (ECMP), evaluando a su vez la significancia ($p < 0,05$). Además, se evaluó el grado de ajuste de las regresiones simples respecto al CaCE con las variables retenidas por el modelo ($p < 0,05$) y se compararon los valores estimados por el modelo en comparación con los valores reales. Se utilizó el InfoStat® como software estadístico (Di Rienzo *et al.*, 2015).

Resultados

La regresión lineal múltiple por selección de variables paso a paso realizada por el software estadístico retuvo a las variables CE y CaCIC/S, arrojando un R^2 de 0,55 ($p < 0,01$) y un ECMP de 0,143. Los valores para los parámetros asociados a la función fueron de 2,175 para CE ($p < 0,01$), 2,554 para CaCIC/S ($p = 0,05$) y -0,925 para el término independiente ($p = 0,13$). Se observa que las dos variables fueron significativas ($p < 0,05$) aunque no se pudo comprobar que el término independiente es significativamente diferente a cero. A pesar de lo mencionado, el término independiente pertenece al modelo emitido debido a que fue considerado para el análisis de los parámetros arrojados y su eliminación modificaría la ecuación. Cabe destacar que la función se

ajustó para el rango de CaCE observado que varió entre 1 y 2,8 meq l⁻¹, de CE entre 0,24 y 0,70 dS m⁻¹ y de CaCIC/S entre 0,44 y 0,84.

La función arrojada por el modelo, entonces, fue:

$$CaCE \text{ (meq l}^{-1}\text{)} = 2,175 CE \text{ (dS m}^{-1}\text{)} + 2,554 CaCIC/S - 0,925$$

$$R^2 = 0,55$$

En la [Figura 2](#) se muestran los valores estimados por la ecuación generada versus los valores reales medidos de CaCE. Se puede observar que en la mayoría de los casos donde los valores reales fueron menores a 2 meq l⁻¹, el modelo sobrestimó el contenido de Ca soluble, mientras que en los valores reales superiores a 2 meq l⁻¹, el modelo subestimó el contenido de Ca soluble.

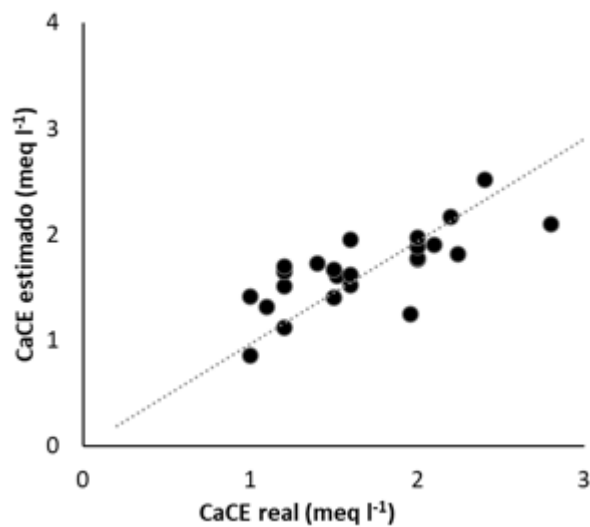


Figura 2. Relación entre el valor de calcio soluble real (CaCE real) y el valor de CaCE estimado por el modelo (CaCE estimado). La línea punteada representa la línea 1:1.

Analizando el grado de ajuste de manera individual, evaluado mediante el R², por cada variable regresora seleccionada en el modelo predictivo, fue de 0,35 para la CE (p<0,01) y de 0,28 para el CaCIC/S (p<0,01), respectivamente ([Figura 3](#)).

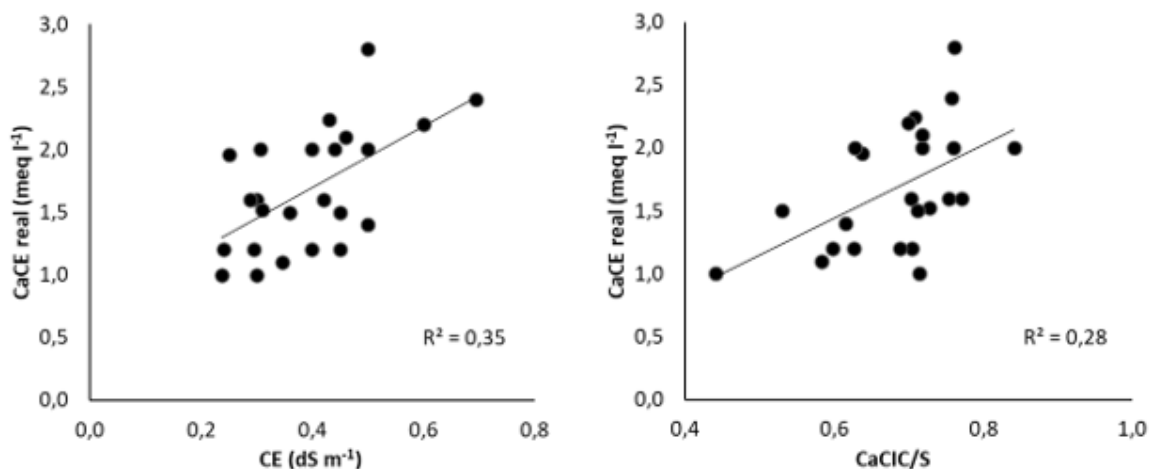


Figura 3. Gráficos individuales de las dos variables independientes seleccionadas en el modelo predictivo con sus respectivas ecuaciones y grados de ajuste R² (p<0,01). Izquierda: calcio soluble (CaCE) versus conductividad

eléctrica (CE). Derecha: calcio soluble (CaCE) versus calcio intercambiable en relación con suma de bases intercambiables (CaCIC/S).

El modelo explica casi la totalidad de la variabilidad de CaCE explicada por la suma individual de los parámetros CE y CaCIC/S. La sumatoria de los coeficientes de ajuste R^2 de las regresiones simples, 0,35 en CE ($p < 0,01$) y 0,28 en CaCIS/S ($p < 0,01$), arroja un valor de 0,63. Siendo el R^2 del modelo 0,55 ($p < 0,01$), se visualiza que el solapamiento entre la explicación de ambos parámetros es solamente un 8%.

Discusión

La función generada relaciona información que se determina en laboratorios de suelos con información que no suele determinarse ([Ciarlo et al., 2018](#)), cumpliendo con el objetivo que planteó Bouma ([1989](#)) de utilizar información de algunos parámetros de suelos conocidos para predecir otros que no se poseen.

La relación existente entre el CaCE y la CE se asocia directamente a la solubilidad del ión Ca en suelo que cumple el rol de electrolito y el aumento de su concentración se correlaciona con el aumento del valor de CE ([USDA, 1954](#); [Narváez Ortiz, 2017](#)). Aún así, el poder predictivo de esta variable es limitado ya que existen otras causas que determinan su valor, como la presencia de otros iones en suelo en conjunto con las interacciones que surgen en el equilibrio del sistema ([Fassbender y Bornemisza, 1987](#); [Bohn et al., 2001](#); [Snakin et al., 2001](#); [Navarro Blaya y Navarro García, 2003](#), [Leao et al., 2006](#); [Bolt et al., 2013](#)). El bajo CV en este parámetro se asoció a la elección de suelos por características similares, tanto desde el punto de vista topográfico, edafológico, como de la historia de manejo productivo; parámetros que determinan propiedades similares de los suelos en la concentración de Ca según lo informado por algunos autores ([Tormena et al., 1999](#); [Leao et al., 2006](#); [Wilson et al., 2013](#); [Chen et al., 2014](#); [Safadoust et al., 2014](#); [Anda et al., 2015](#); [Emamgolizadeh et al., 2015](#); [Kim y Kim, 2015](#))

La relación CaCIC/S se asociaría con la reserva relativa que existe de Ca soluble en suelo para estabilizar la concentración del CaCE ante su disminución, es decir, la capacidad amortiguadora de Ca del suelo. Es una variable que se encuentra muy ligada a la relación CaCIC/CIC, utilizada por algunos autores para diagnosticar suficiencia cálcica, tanto absoluta como relativa respecto a otras bases, y en un sentido general para los cultivos ([Kopittke y Menzies, 2007](#); [Heredia et al., 2012](#); [Vázquez y Pagani, 2015](#); [Chaganti y Culman, 2017](#)). El valor numéricamente superior de CaCIC/S en relación con CaCIC/CIC se asocia a las características de los suelos utilizados que no se encontraban saturados totalmente con bases ($pH < 7$, no salinos, no sódicos, sin carbonatos precipitados). Al igual que lo ocurrido en los valores observados para la CE, el bajo valor en el CV para esta variable se asoció a la elección de suelos con características similares que podrían haber minimizado la variabilidad respecto a la dinámica del Ca en los suelos de la provincia ([Cambardella, 1994](#); [Sadeghian, 2010](#); [Safadoust et al., 2014](#)).

Según Heredia *et al.* ([2012](#)), quienes utilizan la relación CaCIC/CIC como indicador de suficiencia cálcica como regla general para diagnóstico nutricional de cultivos, todos los suelos utilizados en el ensayo realizado en este trabajo, con excepción de uno, se encontraban deficientes ($< 0,60$); y el 20% de ellos en condición de severamente deficiente ($< 0,40$). La CaCE, sin embargo, retuvo a la relación CaCIC/CIC dejando de lado relación CaCIC/CIC, evidenciando que no se podría realizar el mismo diagnóstico con ambas variables, considerando su complementariedad a la CE como explicación de la variabilidad del CaCE en los suelos estudiados. Por otro lado, el parámetro utilizado para el diagnóstico de suficiencia cálcica ha sido tradicionalmente el CaCIC que cuantifica el Ca que está retenido por los coloides del suelo y, en consecuencia, no se encuentra fácilmente disponible para la absorción radical ([Vázquez y Pagani, 2015](#); [Chaganti y Culman,](#)

2017). Pese a esto esta metodología no ha demostrado tener buenos ajustes en la respuesta de los cultivos al agregado de diferentes dosis de Ca. Por ello, se propone considerar el valor de CaCE como posible indicador diagnóstico de suficiencia cálcica, ya que considera el Ca que se encuentra estrechamente disponible para la absorción radicular. Este parámetro puede ser una herramienta útil para ajustar las dosis de fertilización cálcica necesarias para optimizar el uso de los recursos y, de esta manera, se podrían agregar fertilizantes cálcicos más solubles en suelo reduciendo los riesgos de lixiviación y mejorando la eficiencia de uso de nutriente. Adicionalmente, será pertinente estudiar si a futuro si este indicador pudiera colaborar con el fraccionamiento de la dosis de fertilizante en diferentes etapas del cultivo y lograr así ser aún más eficiente en el aprovechamiento de los recursos, tal como se realiza con otros nutrientes como el N.

La función arrojada para la predicción de una variable química como el CaCE manifiesta la posibilidad de generar predicciones en parámetros químicos en suelos de zonas templadas, al igual que lograron algunos autores trabajando en otros sistemas edafoclimáticos (Cox, 1994; Bell y van Keulen, 1995; Scheinost *et al.*, 1997; Horn *et al.*, 2005). La ecuación arrojó valores de ajuste similares a los encontrados por Lince Salazar *et al.* (2015) para Ca, Mg y K solubles en suelos de Colombia. Sin embargo, los autores encontraron que el Ca soluble fue explicado por otras variables edáficas (otros nutrientes presentes en la fracción intercambiable) siendo semejante a lo que mencionaron Anda *et al.* (2015) y Emamgolizadeh *et al.* (2015). Las diferencias entre las variables regresoras de ambos modelos se explicaría por los diferentes ambientes edafoclimáticos estudiados y evidenciaría la posibilidad de contar con funciones ajustadas más localmente (Bohn *et al.*, 2001; Tormena *et al.*, 1999; McBratney *et al.*, 2002; Sparks, 2003; Melo y Alleoni, 2009; Wilson *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2014; Kim y Kim, 2015).

En la comparación realizada entre el Ca soluble estimado con respecto al Ca soluble medido se pudieron observar sobrestimaciones y subestimaciones que podría asociarse con la presencia de dos grupos de suelos, quizás más similares entre sí. Esta característica podría deberse a interacciones de iones a mayor concentración en interacción con las propiedades texturales de cada subgrupo de suelos. Estos resultados preliminares en el estudio del CaCE demuestran que sería factible la generación de simulaciones más precisas en los suelos de Buenos Aires. Semejante a lo mencionado por McBratney *et al.* (2002) y Genú y Demattê (2011), y en detrimento del alcance del producto, se prevé que existiría la posibilidad de generar nuevos modelos predictivos más ajustados mediante la selección de suelos más homogéneos y/o en áreas más reducidas.

Los estudios realizados hasta el momento podrían utilizarse para el entendimiento de los factores edáficos principales que intervienen en la disponibilidad de CaCE, siendo necesario realizar ensayos a futuro en material vegetal para evaluar la pertinencia de este indicador como criterio diagnóstico de mayor ajuste en relación con la suficiencia cálcica, y semejante a los utilizados para otros nutrientes (Singh *et al.*, 2017; Ciarlo *et al.*, 2018).

La determinación de CaCE no es una práctica adoptada por los laboratorios de suelos, aunque el Ca se mida en el extracto que se utiliza para la determinación de CE, que es más solicitada en los laboratorios de Argentina (Ciarlo *et al.*, 2018). De esta manera, contar con el dato de CaCE sería adicionar un paso metodológico a la determinación de CE, sin mayores requerimientos.

La función predictiva generada en este trabajo, por otro lado, es incapaz de cuantificar la capacidad que tendría el suelo para renovar el Ca en solución absorbido por las raíces de los cultivos, siendo un proceso fundamental en la nutrición vegetal (Navarro Blaya y Navarro García, 2003; Vázquez y Pagani, 2015). Aun así, será pertinente realizar estudios orientados a generar funciones ajustadas en los ámbitos locales mediante la selección de suelos con comportamientos similares o, por el contrario, en un ámbito regional si se considera una mayor heterogeneidad de suelos mediante la evaluación de una mayor cantidad de variables. Esos estudios permitirán evaluar el

comportamiento y dinámica de aquellos elementos como el Ca, nutriente que interviene en procesos fundamentales para el crecimiento y desarrollo vegetal, que posee reducido interés diagnóstico para fertilización debido a su creencia actual de suficiencia y en consecuencia será fundamental poder realizar un diagnóstico y calibraciones ajustadas (Marschner, 2012; Kumar *et al.*, 2015; Chaganti y Culman, 2017; Ciarlo *et al.*, 2018). Vázquez *et al.* (2010), Vivas *et al.* (2010), Fontanetto *et al.* (2011) y Barbieri *et al.* (2015) manifestaron la potencialidad de respuesta al agregado de Ca en suelos de la región templada de Argentina, evidenciando suelos deficientes y que la situación podría agravarse en el futuro si los sistemas agropecuarios continúan generando balances negativos de nutrientes (Cruzate y Casas, 2009; Herrera y Rotondaro, 2019; Dell'Arciprete, 2018; Presutti, 2018; Larrea, 2019; Sainz Rozas *et al.*, 2019). Por otro lado, se debe de tener en cuenta que muchas fertilizaciones se hayan asociadas al agregado de Ca como acompañante (superfosfatos simple y triple, nitrato de calcio, yeso, nitrofoska, etc.), aunque la cantidad de Ca agregado nunca es cuantificada y la fertilización base no se realiza en función de este nutriente. Vivas *et al.* (2010), a su vez, hallaron un aumento en el rendimiento de otros nutrientes (fosforo y azufre) al encontrarse acompañados con Ca. Este comportamiento también podría ser evaluado por las funciones predictivas del Ca con el fin de optimizar la fertilización en su conjunto.

Conclusiones

La concentración de calcio soluble en los suelos de la provincia de Buenos Aires estudiados se puede estimar a través de una función predictiva utilizando la conductividad eléctrica y la relación entre el calcio intercambiable y la sumatoria de las bases intercambiables del suelo.

Declaración de Autoría (CRedit)

DAF: Conceptualización, Supervisión, Investigación, Análisis formal, Redacción – borrador original, Visualización. **BLA:** Investigación, Metodología, Análisis formal, Escritura. **LAL:** Análisis formal. **VHM:** Investigación, Curaduría de datos, Escritura – revisión y edición. **FMB:** Investigación, Curaduría de datos, Escritura – revisión y edición. **LL:** Investigación, Metodología y Recursos. **GJM:** Investigación, Metodología, Software. **CGS:** Análisis formal

Bibliografía

- ANDA, M.; SURYANI, E. y SUBARDJA, D. (2015). Strategy to reduce fertilizer application in volcanic paddy soils: Nutrient reserves approach from parent materials. *Soil and Tillage Research* 150: 10-20.
- BARBIERI, P.; ECHEVERRÍA, H.; SAINZ ROZAS, H.; MARTINEZ, J. (2015). Soybean and wheat response to lime in no-till Argentinean mollisols. *Soil and Tillage Research*, 152: 29–38.
- BELL, M.A. y VAN KEULEN, H. (1995). Soil pedotransfer functions for four Mexican soils. *Soil Science Society of America Journal* 59: 865– 871.
- BOHN, H.; MCNEAL, B. y OCONNOR, G. (2001). *Química del Suelo*. Third Edition. John Wiley y Sons, INC. New York, Estados Unidos. 322 pp.
- BOLT, G.H.; DE BOODT, M.F.; HAYES, M.H.; MCBRIDE, M.B. y DE STROOPER, E.B. (2013). *Interactions at the Soil Colloid: Soil Solution Interface*. Springer Science y Business Media. Netherlands. 604 pp.
- BOUYOUCOS, G.J. (1962). Hydrometer method for making particle size analysis of soils. *Agrom. Jor.* 54: 464-465.
- BOUMA, J. (1989). Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science* 9: 177-213.
- CAMBARDELLA, C.A. (1994). Field scale variability of soil properties in central Iowa. *Soil Sci Soc AM J* 58(5): 1501–1511.
- CHAGANTI, V.N., y CULMAN, S.W. (2017). Historical Perspective of Soil Balancing Theory and Identifying Knowledge Gaps: A Review. *Crop Forage Turfgrass Manage* 3: 1-7.

- CHEN, G.; WEIL, R.; HILL, R.L. (2014). Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. *Soil and Tillage Research* 136: 61-69.
- CIARLO, E.; COSENTINO, D.; GARCÍA, M.; GONZÁLEZ, F. (2018). Análisis de participación de laboratorios de suelos en el programa PROINSA. *Acta XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Tucumán, Argentina. Pp. 45-49.
- COX, F.R. (1994). Current phosphorus availability indices: characteristics and shortcomings. In: *Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendation*. SSSA Special Publications, vol. 40. Havlin, J.L., Jacobsen, J.S. (Eds.). Soil Science Society of America, Madison, WI: 101-113.
- CRUZATE, G.A. y CASAS, R. (2009). Extracción de nutrientes en la agricultura argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 6:7-14.
- DELL'ARCIPRETE, S. (2018). Huella mineral de los nutrientes básicos de la actividad agrícola en suelos bonaerenses. *Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo*. FCAyF UNLP. La Plata, Buenos Aires. 29 pp.
- DI RIENZO, JA.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M. y ROBLEDO, C.W. (2015). *InfoStat versión 2015*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: <http://www.infostat.com.ar>. Último acceso: junio de 2020.
- EMAMGOLIZADEH, S.; BATENI, S.M.; SHAHSAVANI, D.; AS-HRAFI, T. y GHORBANI, G. (2015). Estimation of soil cation exchange capacity using Genetic Expression Programming (GEP) and Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS). *J. Hydrol.* 529: 1590-1600.
- FASSBENDER, H. y BORNEMISZA, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en América Latina*. Segunda Edición. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 420 p.
- FONTANETTO, H.; GAMBAUDO, S.; KELLER, O.; ALBRECHT, J.; WEDER, E.; SILLÓN, M.; GIANINETTO, G. y MEROL, G.. (2011). Fertilización cálcica en soja en la zona central de Santa Fe. *Información Técnica en Cultivos de Verano*. Campaña 2011. Publicación Miscelánea N° 121: 94-99.
- GENÚ, A.M., y DEMATTÊ, J.A.M. (2011). Prediction of soil chemical attributes using optical remote sensing. *Acta Scientiarum Agronomy* 33(4): 723-727
- HEREDIA, O.; CRUZATE, G. Y ROTONDARO, R. (2012). Estado actual del calcio en suelos pampeanos. *CD Proceedings XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata, Buenos Aires.
- HERRERA, A. y ROTONDARO, R. (2019). Relevamiento de fertilidad de los suelos pampeanos ¿Qué nos dicen los análisis de suelo? *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 28: 24-27.
- HORN, A.L.; DÜRING, R.A. y GÄTH, S. (2005). Comparison of the prediction efficiency of two pedotransfer functions for soil cation-exchange capacity. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168(3): 372-374.
- IRAM-SAGyP. (2010). Norma N° 29570-1:2010 Calidad ambiental - Calidad del suelo. Determinación de fósforo extraíble en suelos. Parte 1 - Método Bray Kurtz 1 modificado (Extracción con solución de fluoruro de amonio - ácido clorhídrico). *IRAM*. 24 pp.
- IRAM-SAGyP. (2016). Norma N° 29571-3:2016 Calidad ambiental. Calidad del suelo. Determinación de materia orgánica en suelo. Parte 3: Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, microescala. *IRAM*. 24 pp.
- IRAM-SAGyP. (2018). Norma N° 29572:2018 Calidad ambiental - Calidad del suelo. Determinación de nitrógeno en suelo por el método Kjeldahl modificado. *IRAM*. 32 pp.
- KIM, J.Y. y KIM, Y. (2015). Sorption of cesium on weathered biotite: The effects of cations in solution. *CATENA* 135: 107-113.
- KOPITTKE, P., y MENZIES, N. (2007). A Review of the use of the basic cation saturation ratio and the "Ideal" soil. *SSSAJ* 71(2): 259-265.
- KUMAR, A.; SINGH, U.M. y MANOHAR, M. (2015). Calcium transport from source to sink: understanding the mechanism(s) of acquisition, translocation, and accumulation for crop biofortification. *Acta Physiol Plant* 37: 1722.
- LARREA, G. (2019). Disponibilidad y variabilidad espacial de calcio, magnesio y potasio en suelos agrícolas y prístinos de la Región Pampeana. *Tesis para optar al título de Magister Science*. FCA UNMdP. Balcarce, Buenos Aires. 81 pp.

- LINCE SALAZAR, L.A.; RODRÍGUEZ, N.; VALENCIA, N. y SADEGHIA KHALAJABADI, S. (2015). Disponibilidad de Ca, Mg y K en función de las propiedades del suelo, Zona Cafetera Central de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 6(1): 29-42.
- LEAO, T.P.; DA SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S. y EUCLIDES, V.P.B. (2006). Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. *Soil and Tillage Research* 88(1): 279-285.
- MARSCHNER, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Third Edition. Elsevier. Londres, Inglaterra. 651 p.
- MCBRATNEY, A.B; MINASNY, B.; CATTLE, S.R. y VERVOORT, R.W. (2002). From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma* 109: 41– 73.
- MELO, V.D.F. y ALLEONI, L.R.F. (2009). *Química e mineralogia do solo*. Parte I. Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo. Viçosa, MG. 529 pp.
- NARVÁEZ ORTIZ, W.A. (2017). Desarrollo de modelos matemáticos para el estudio de la concentración de elementos en la solución del suelo. *Tesis de Doctorado*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 75 pp.
- NAVARRO BLAYA, S. y NAVARRO GARCÍA, G. (2003). *Química Agrícola*. Segunda Edición. Mundiprensa. Barcelona, España. 479 pp
- PRESUTTI, M. (2018). Susceptibilidad a la acidificación edáfica por extracción de nutrientes básicos por la agricultura extensiva bonaerense. *XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACs, Tucuman: 673-678*.
- SADEGHIAN, S. (2010). Evaluación de la fertilidad del suelo para una adecuada nutrición de los cultivos. Caso café. *XII Congreso ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, 23*. Santo Domingo, Ecuador. 23 pp.
- SAFADOUST, A.; FEIZEE, P.; MAHBOUBI, A.A.; GHARABAGHI, B.; MOSADDEGHI, M.R. y AHRENS, B. (2014). Least limiting water range as affected by soil texture and cropping system. *Agricultural Water Management* 136: 34-41.
- SAINZ ROZAS, H.; EYHERABIDE, M.; LARREA, G.; MARTÍNEZ CUESTA, N. y ANGELINI, H. (2019). Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. *Actas Simposio Fertilidad. Rosario, Santa Fe, Argentina*. Fertilizar Asociación Civil: 141-158.
- SAMLA-PROMAR. (2004). *Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos*. Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina: Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca. Versión en CD.
- SCHEINOST, A.C.; SINOWSKI, W. y AUERSWALD, K. (1997). Regionalization of soil buffering functions: a new concept applied to K/Ca exchange curves. *Advances in GeoEcology* 30: 23– 38.
- SINGH, M.; SINGH, Y.V.; SINGH, S.K.; PRADIP, D.; JAT, L.K. y RAM, R.L. (2017). Validation of Soil Test and Yield Target based Fertilizer Prescription Model for Rice on Inceptisol of Eastern Zone of Uttar Pradesh, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(2): 406-415.
- SNAKIN, V.V.; PRISYAZHNAYA, A.A. y KOVÁCS-LÁNG, E. (2001). *Soil Liquid Phase Composition*. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. 319 pp.
- SPARKS, D.L. (2003). Soil Solution–Solid Phase Equilibria. Chapter 4. In: *Environmental Soil Chemistry*. Second Edition. Academic Press. San Diego, USA: 115-132.
- TORMENA, C.A.; DA SILVA, A.P. y LIBARDI, P.L. (1999). Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. *Soil and Tillage Research* 52(3): 223-232.
- USDA. (1954). Salinity Laboratory Staff Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils U.S.D.A. *Handbook No. 60*. 125 pp.
- VÁZQUEZ, M.; TERMINIELLO, A.; CASCIANI, A.; MILLÁN, G.; GELATI, P.; GUILINO, F.; GARCÍA, J.; KOSTIRIA, J. y GARCÍA, M. (2010). Evaluación del efecto de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y propiedades edáficas en ámbitos templados argentinos. *Revista de la Ciencia del Suelo* 28(2):131-140.
- VÁZQUEZ, M. y PAGANI, A. (2015). Calcio y magnesio. Manejo de fertilización y enmiendas. En: *Fertilización de suelos y fertilización de cultivos*. Eds: H. Echeverría y F. García. INTA, Buenos Aires: 317-350.



VIVAS, H.S.; CANDIOTI, N.V. y QUAINO, O. (2010). Fósforo, azufre y calcio y sus relaciones para aumentar la producción de alfalfa. *Revista Fertilizar 14*: 4-8.

WILSON, M.G.; SASAL, M.C. y CAVIGLIA, O.P. (2013). Critical bulk density for a Mollisol and a Vertisol using least limiting water range: Effect on early wheat growth. *Geoderma 192*: 354-361.

Ferro, D. A., Andreini, B. L., Lozano, L. A., Merani, V. H., Bongiorno, F. M., Larrieu, L., Millán, G. J., & Soracco, C. G. (2023). Predicción de la concentración de calcio soluble en suelos agrícolas de la provincia de Buenos Aires. *Ciencias Agronómicas*, (41), e031. <https://doi.org/10.35305/agro41.e031>

Copyright (c) 2023 Ferro, D. A., Andreini, B. L., Lozano, L. A., Merani, V. H., Bongiorno, F. M., Larrieu, L., Millán, G. J., & Soracco, C. G.



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).