

FERTILIZANTES Y ENMIENDAS CÁLCICOS EN SOJA FORRAJERA SOBRE MOLISOLES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Daniel Adalberto Ferro ^{1*}, Victor Hugo Merani ¹, Guillermo Millán ¹, Luciano Larrieu ¹, Matilde Mur ¹, Tatiana Cinquetti ¹, Facundo Guilino ¹, María Florencia Zanardi ¹, Marcial Pablo Paradela ¹, Esteban Ivan Pereira ¹, Maria Clara Donadelli ¹, Jose Augusto Imaz ²

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina.

² The University of Sydney. Sydney, Australia.

RESUMEN

Las producciones agropecuarias en la Región Pampeana (RP) han generado la reducción de bases y acidificación de suelos por extracción sin reposición de nutrientes y elevado uso de fertilizantes. Esta problemática en zonas templadas no ha sido estudiada minuciosamente como en zonas tropicales, afectando principalmente a cultivos de leguminosas. El uso de correctores y fertilizantes cálcicos ha demostrado resultados variables en la RP, evidenciando la complejidad de la práctica. El uso de fertilizantes podría ser una práctica coyuntural al uso de correctores. El objetivo fue evaluar fertilizantes y enmiendas cálcicas en suelos de la provincia de Buenos Aires sobre 1) producción de materia seca (MS) de biomasa aérea, concentración de calcio (Ca) (CCaB) y magnesio (Mg) (CMgB) y exportación de Ca (ECaB) y Mg (EMgB) de soja forrajera, 2) propiedades fisicoquímicas y químicas del suelo y 3) balance de calcio (BCaS). Se realizó un ensayo en invernáculo sobre soja en suelos de Bellocq e Inchausti con 50 kg ha⁻¹ y 100 kg ha⁻¹ de Ca como fertilizante, 1500 kg ha⁻¹ de caliza (C1500) y un tratamiento testigo sin productos (T). El uso de 100 kg ha⁻¹ de Ca con fertilizante incrementó la MS de soja asociado al incremento a valores de 4 meq l⁻¹ de Ca en la fracción soluble-disponible del suelo (CaExt). La CCaB y CMgB en soja mostraron diferencias solamente entre suelos. La ECaS dependió exclusivamente de la producción de MS. El BCaS fue negativo solamente en el tratamiento donde no se aplicó producto. Estos resultados son importantes para entender la dinámica de nutrientes básicos en suelos de la RP, cuyos niveles en suelo están disminuyendo debido a los balances negativos, que incluso han generado acidificación de suelos. Además, podrían ser utilizados en planteos de manejo sitio-específico del suelo, garantizados por las amplias tecnologías disponibles relacionadas con la agricultura de precisión. Asimismo, mostraron que el CaExt podría ser un indicador de suficiencia cálcica.

Palabras claves: calcio; acidificación; Región Pampeana; materia seca

CALCIUM FERTILIZERS AND AMENDMENTS ON FORAGE SOYBEAN IN MOLLISOLS OF BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA

* Autor de contacto:
daniel.ferro@agro.unlp.edu.ar

Recibido:
21-03-24

Recibido con revisiones:
29-04-24

Aceptado:
02-05-24

ABSTRACT

The agricultural productions in the Pampas Region (PR) have led to the depletion of exchangeable bases and soil acidification due to the extraction of nutrients without replenishment and the excessive use of fertilizers. Such issue has been addressed in tropical areas but has not been thoroughly investigated in temperate regions despite its effects on leguminous crops. The use of amendments and calcium-based fertilizers has shown variable results in the PR, highlighting the complexity of the practice. The use of fertilizers might be a conjunctural solution to the use of amendments. The objective of this study was to evaluate

te calcium fertilizers and amendments on 1) forage soybean aerial biomass dry matter production (DM), calcium (Ca) concentration (CCaB) and magnesium (Mg) concentration (CMgB), and Ca export (ECaB) and Mg export (EMgB), 2) physicochemical and chemical soil properties, and 3) Ca balance (BCaS) in Mollisols from the province of Buenos Aires. A greenhouse trial was conducted with soybean from two sites (Bellocq and Inchausti). Four treatments were applied: 50 kg Ca ha⁻¹ (F50) 100 kg Ca ha⁻¹ (F100), 1500 kg CaCO₃ ha⁻¹ (C1500), and a control without products (T). The use of 100 kg ha⁻¹ of Ca with fertilizer increased soybean DM associated with an increase in values of 4 meq l⁻¹ of Ca in the soil soluble-available fraction (CaExt). CCaB and CMgB in soybean showed differences only between soils. BCaS depended solely on DM production. BCaS was negative only in the control treatment. These results are essential for understanding the dynamics of basic nutrients in PR soils, whose levels are decreasing due to negative balances, thus leading to soil acidification. Additionally, they could be used in site-specific soil management approaches, supported by the extensive precision agriculture technologies available. Furthermore, they showed that CaExt could be an indicator of calcium sufficiency.

Keywords: calcium; acidification; Pampas Region; dry matter

INTRODUCCIÓN

La soja (*Glycine max* L. Merr) es un cultivo utilizado en Argentina principalmente para la producción de granos (Ministerio de Agronomía, Ganadería y Pesca [MAGyP], 2021). Sin embargo, Romero (2005) menciona que se trata de una excelente alternativa forrajera para la incorporación de proteínas, principalmente si se utilizan genotipos de ciclo largo que permiten un mayor período de utilización, siendo un buen antecesor de pasturas puesto que permite el uso de herbicidas totales sistémicos como el glifosato. Luz (2007) demostró que en nuestro país este cultivo es utilizado por productores ganaderos de carne y leche desde hace ya algunos años, existiendo poca bibliografía que contenga datos concluyentes y definitivos relacionados al manejo y elección de cultivares más aptos para cada uso.

Los suelos productivos de la Región Pampeana (RP) de Argentina mayormente pertenecen al orden Molisol y se caracterizan por tener, naturalmente, elevados contenidos de nutrientes para la producción de cultivos (Imbellone et al., 2010). Las actividades antrópicas han reducido la concentración de nutrientes básicos en estos suelos a causa de la extracción sin reposición, incluso causando acidificación (Sainz Rozas et al., 2019). La acidificación de suelo impacta negativamente en la disponibilidad de nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y micronutrientes como molibdeno (Mo); en propiedades físicas y en propiedades microbiológicas, pudiendo limitar la producción de los cultivos (Vázquez y Millán, 2017). En la actualidad, se discute si la producción de materia seca (MS) por los cultivos en suelos de la RP se encuentra más limitada a causa de la reducción de nutrientes básicos o por las consecuencias de la acidificación; siempre y cuando los suelos no presenten limitantes productivas por las propiedades físicas (Taboada y Álvarez, 2008; Vázquez y Millán, 2017; Zubillaga y Ciarlo, 2015). En relación con nutrientes básicos, el Ca podría ser el elemento más afectado pues domina en el complejo de intercambio de estos suelos y podría afectar principalmente a los cultivos de la familia de las leguminosas debido a los mayores requerimientos en este nutriente (Marschner, 2023; Vázquez y Millán, 2017).

La corrección de suelos acidificados se realiza incorporando correctores o enmiendas al suelo. Los correctores tienen como objetivo incrementar el pH del suelo, y los productos más utilizados son la caliza/calcita/conchilla o dolomita que poseen carbonatos de Ca o Ca y Mg en su composición, respectivamente (Vázquez y Millán, 2017). Los carbonatos se caracterizan por su baja solubilidad y, por ello, se aplican en forma pulverulenta (menor a 850 micrones en su mayoría), en elevadas dosis (>1000 kg ha⁻¹), en forma anticipada (meses antes de la siembra) y, preferentemente, con incorporación al suelo para promover su disolución y reacción (Vázquez y Pagani, 2015). El efecto de estos productos depende del poder buffer del suelo que está determinado principalmente por la cantidad y tipos de coloides (Bennardi et al., 2015). El uso de enmiendas, paralelamente, puede perjudicar la producción de los cultivos por inmovilización temporal de P y/o aumento de la resistencia a la penetración si se aplican en dosis mayores a 2000 kg ha⁻¹ (Leon Perez, 2012; Vázquez et al., 2010). En la RP se han realizado estudios con el uso de estos productos y han demostrado resultados variables. Quiñonez et al. (2003) encontraron incrementos de MS en alfalfa agregando 2500 kg ha⁻¹ de dolomita en suelos de Santa Fe, Vázquez et al. (2010) encontraron incrementos en MS en diferentes cortes de alfalfa ante el agregado de dosis entre 1000 a 2000 kg ha⁻¹ en suelos de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe; Vázquez et al. (2012) encontraron respuestas variadas en soja ante el agregado de diferentes enmiendas (caliza, dolomita) y dosis de hasta 2000 kg ha⁻¹ en suelos de la provincia de Buenos Aires y Santa Fe; Girón et al., (2016) encontraron respuestas positivas en soja ante el agregado

de 1000 kg ha⁻¹ de calcita y dolomita en suelos de Villegas y, más recientemente, Machetti et al. (2019) encontraron respuesta en soja en ante el agregado de 1000 a 4000 kg ha⁻¹ de dolomita con yeso en un suelo de Magdalena, mientras que no encontraron respuesta ante el mismo tratamiento en un suelo de La Plata. La variabilidad en los resultados demuestra que la aplicación de enmiendas básicas en suelos de la RP es una práctica compleja donde intervienen características del producto, del suelo, del clima, de la tecnología y del cultivo (Machetti, 2021). En este marco, será necesario estudiar el efecto de los distintos correctores sobre los suelos para generar información que permita recomendar el uso de estos productos en cada sitio para incrementar la producción de cultivos.

La fertilización de suelos con cationes básicos, a diferencia de las enmiendas, tienen como principal objetivo incrementar la concentración de cationes básicos en la fracción soluble del suelo para aumentar su disponibilidad para los cultivos (Bachmeier et al., 2013). El uso de fertilizantes cálcicos en Argentina es muy escaso pese a que existen evidencias de respuesta en cultivos de leguminosas (Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos [CIAFA], 2023). Vivas y Fontanetto (2003), Gambaudo et al. (2007) y Fontanetto et al. (2011) encontraron incrementos en rendimiento de soja con dosis de hasta 100 kg Ca ha⁻¹ en suelos de Santa Fe, mientras que Girón et al. (2016) no encontraron respuesta en el rendimiento de soja ante la aplicación 50 kg Ca ha⁻¹ en suelos de Villegas. El conocimiento incipiente acerca de la reducción de bases como Ca en suelos de zonas templadas, implica que el tratamiento de esta problemática vía fertilización sea establecido sobre bases poco científicas. Por tal motivo, será necesario generar información que permita identificar la deficiencia de calcio en suelos de la RP para los cultivos y generar herramientas que permitan recomendar dosis ajustadas de fertilizantes cálcicos para lograr incrementar la producción de MS.

El uso de fertilizantes cálcicos podría considerarse una alternativa coyuntural al uso de correctores básicos en sitios deficientes en bases o acidificados, puesto que podrían generar el mismo efecto sobre el cultivo. La mayor solubilidad de los fertilizantes respecto a los correctores permitiría incrementar más rápidamente los niveles de Ca soluble en suelo luego de su aplicación, pero así también generaría una menor capacidad del suelo para retener las bases solubles, principalmente en aquellos suelos con bajos contenidos de coloides (Vázquez y Millán, 2017). En sitios donde la principal limitante sea la baja disponibilidad de Ca soluble, el uso de correctores en forma anticipada podría generar el mismo efecto que el uso de fertilizantes cálcicos sobre los cultivos, puesto que ambos productos elevarían los niveles de Ca soluble en suelo, pero podrían generar diferentes efectos sobre los parámetros químicos del suelo (Vázquez y Pagani, 2015). En términos generales, podría considerarse que el efecto del uso de correctores relacionados con la fertilización cálcica demora mayor tiempo para generar modificaciones en el suelo, pero las modificaciones podrían perdurar mayor tiempo respecto al uso de fertilizantes. Paralelamente, la fertilización cálcica de cultivos sería una práctica más fácil de adoptar que el uso de correctores básicos en los planteos productivos extensivos de la RP dado que los fertilizantes se aplican en menores dosis, que facilitan la logística del producto, y existe una mayor cantidad de maquinaria disponible para su aplicación respecto a los correctores (Cámara Argentina Fabricantes de Maquinaria Agrícola [CAFMA], 2020; CIAFA, 2023).

En base a lo expuesto precedentemente, se considera necesario evaluar comparativamente el efecto de fertilizantes y enmiendas cálcicas sobre cultivos de leguminosas utilizados en suelos de la RP, cuantificar el impacto sobre las propiedades fisicoquímicas y químicas del suelo y sobre el balance de Ca del suelo (BCaS). Estos estudios serán relevantes para generar criterios para el uso de productos cálcicos en suelos de la RP, permitiendo hacer recomendaciones de uso colaborando con la sustentabilidad de los sistemas (Sarandón y Flores, 2014). El objetivo de este trabajo fue evaluar fertilizantes y enmiendas cálcicas en suelos molisoles de la provincia de Buenos Aires sobre 1) la productividad y exportación de Ca y Mg en cultivares actuales de soja forrajera, 2) propiedades fisicoquímicas y químicas del suelo y 3) balance de Ca en suelo. La hipótesis de este trabajo fue que el agregado de fertilizantes cálcicos genera el mismo efecto que el uso de correctores sobre la producción de MS, concentración de Ca en la biomasa aérea (CCaB), concentración de Mg en la biomasa aérea (CMgB), exportación de Ca en la biomasa (ECaB) y en la exportación de Mg en la biomasa aérea (EMgB) de cultivares actuales de soja forrajera; mientras que provoca efectos diferenciales sobre las propiedades fisicoquímicas y químicas y en el BCaS de suelos molisoles de la provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios

Ubicación: los sitios utilizados en el ensayo fueron Bellocq e Inchausti. El sitio de Bellocq pertenece a la Chacra Experimental del Ministerio de Desarrollo Agrario de la provincia de Buenos Aires ubicada en Bellocq, partido de Carlos Casares, mientras que el sitio de Inchausti pertenece a la Escuela de Educación Agropecuaria M.C. y M.L. Inchausti de la UNLP, ubicado cercano a la localidad de Valdez, partido de 25 de Mayo (Figura 1).

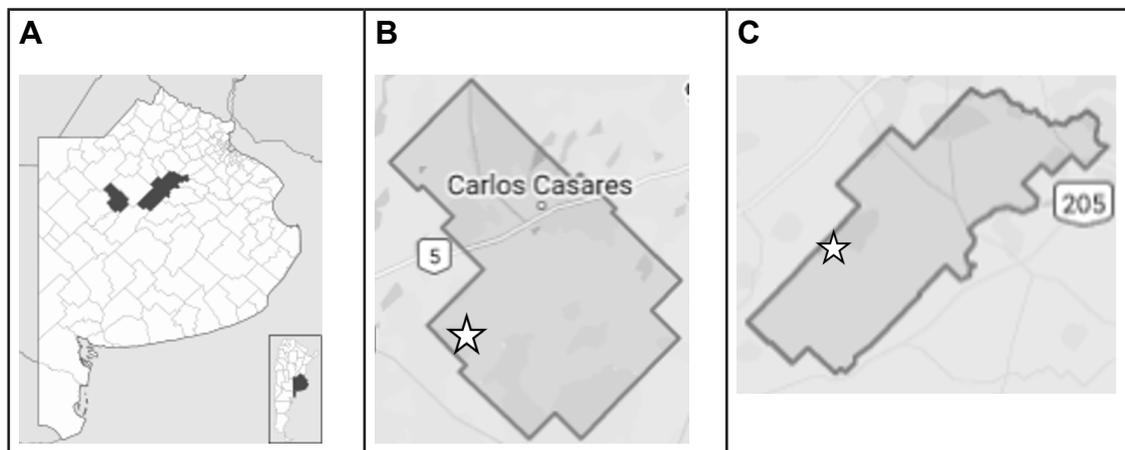


Figura 1: Sitios en la provincia de Buenos Aires utilizados en el trabajo. A: provincia de Buenos Aires identificando los partidos de Carlos Casares (izquierda) y 25 de Mayo (derecha). B: partido de Carlos Casares con ubicación del suelo de Bellocq (estrella); Abajo derecha: partido de 25 de Mayo con ubicación del suelo de Inchausti (estrella). Imagen: Google Maps® (Google, 2024)

Figure 1: Sites in the Buenos Aires province utilized in the study. A: Buenos Aires province identifying the districts of Carlos Casares (left) and 25 de Mayo (right). B: Carlos Casares district depicting the location of Bellocq soil (star); Bottom right: 25 de Mayo district indicating the location of Inchausti soil (star). Image source: Google Maps® (Google, 2024).

Muestreo: el muestreo de los suelos se realizó mediante muestra compuesta con intensidad de 1 submuestra ha^{-1} en los primeros 0,20 m de profundidad, donde se realizaron las determinaciones de laboratorio luego del secado del suelo a estufa de 40°C con circulación forzada, tamizado y molido según determinación a practicar. Se realizaron análisis de suelo por triplicado de: pH actual en relación suelo:agua 1:2,5 (pH); textura: proporción de arena (A), limo (L) y arcilla (arc); carbono oxidable (CO); nitrógeno total (Nt); fósforo extractable por metodología Bray Kurtz 1 (Pbk); CIC y cationes intercambiables por método bufferado a pH 7: Ca (CaCIC), Mg (MgCIC), K (KCIC) y Na (NaCIC); suma de bases intercambiables (S): CaCIC + MgCIC + NaCIC + KCIC; saturación con bases (S CIC⁻¹): se calcularon en base a S en relación a la CIC; relación CaCIC S⁻¹; relación CaCIC CIC⁻¹; conductividad eléctrica en extracto de saturación en relación suelo:agua de aproximadamente 1:1 (CE); Ca soluble-disponible (CaExt). Los protocolos utilizados en las determinaciones se mencionan en Ferro et al. (2023).

Características de los suelos: Los resultados de los análisis de suelos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Latitud, Longitud, Gran Grupo, Familia, arena (A), limo (L), arcilla (arc), textura (Text), pH, carbono oxidable (CO), nitrógeno total (Nt), fósforo Bray Kurtz 1 (Pbk), conductividad eléctrica (CE), calcio soluble-disponible (CaExt), capacidad de intercambio catiónica (CIC), calcio soluble-intercambiable (CaCIC), magnesio soluble-intercambiable (MgCIC), potasio soluble-intercambiable (KCIC), sodio soluble-intercambiable (NaCIC), relación entre sumatoria de bases y capacidad de intercambio catiónico (S CIC⁻¹), relación entre calcio soluble-intercambiable y sumatoria de bases intercambiables (CaCIC S⁻¹) y relación entre calcio soluble-intercambiable y capacidad de intercambio catiónico (CaCIC CIC⁻¹) de los suelos de Bellocq e Inchausti.

Table 1: Latitude, Longitude, Major Group, Family, sand (S), silt (L), clay (C), texture (Text), pH, oxidizable carbon (CO), total nitrogen (Nt), phosphorus Bray Kurtz 1 (Pbk), electrical conductivity (CE), soluble-available calcium (CaExt), cation exchange capacity (CIC), soluble-exchangeable calcium (CaCIC), soluble-exchangeable magnesium (MgCIC), soluble-exchangeable potassium (KCIC), soluble-exchangeable sodium (NaCIC), base saturation ratio (S CIC⁻¹), soluble-exchangeable calcium to total exchangeable bases ratio (CaCIC S⁻¹), and soluble-exchangeable calcium to cation exchange capacity ratio (CaCIC CIC⁻¹) of Bellocq and Inchausti soils.

| Descripción | Bellocq | Inchausti |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|
| Latitud | S 35°55'32,55" | S 35°36'49,55" |
| Longitud | W 61°29'17,78" | W 60°32'23,46" |
| Gran Grupo | Hapludol éntico | Hapludol éntico |
| Familia | franca gruesa | franca gruesa |
| mixta | mixta | |
| térmica | térmica | |
| A | 41 | 65 |
| L (%) | 52 | 24 |
| arc | 7 | 11 |
| Text | Fr-I | Fr-A |
| pH | 5,59 | 5,91 |
| CO (g kg ⁻¹) | 18,2 | 17,6 |
| Nt (g kg ⁻¹) | 1,80 | 1,75 |
| Pbk (ppm) | 48,5 | 28,0 |
| CE (dS m ⁻¹) | 0,42 | 0,43 |
| CaExt (meq l ⁻¹) | 0,72 | 1,81 |
| CIC | 9,10 | 14,69 |
| CaCIC | 3,59 | 7,89 |
| MgCIC (cmolc kg ⁻¹) | 3,01 | 4,11 |
| KCIC | 0,31 | 0,32 |
| NaCIC | 0,27 | 0,29 |
| S CIC ⁻¹ | 0,80 | 0,85 |
| CaCIC S ⁻¹ | 0,49 | 0,63 |
| CaCIC CIC ⁻¹ | 0,39 | 0,53 |

Ensayo

Se realizó un ensayo utilizando soja (*Glycine max* L. Merr) de grupo VII utilizada con fines forrajeros. Se sembraron 8 semillas en macetas con 3 kg de suelo que fueron raleadas a los 10 días luego de la emergencia para obtener 4 plántulas homogéneas por maceta. Las macetas fueron envueltas en bolsas de plástico para evitar el lixiviado de nutrientes y la percolación de agua. Cada maceta fue regada con agua destilada periódicamente para mantener un contenido hídrico equivalente a 80% de capacidad de campo.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con dos factores con interacción (suelo y tratamiento) y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en aplicaciones de fertilizantes y enmiendas cálcicas al suelo. El fertilizante utilizado fue cloruro de calcio (CaCl₂) y la enmienda utilizada fue carbonato de calcio (CaCO₃) con partículas menores a 50 µm. El fertilizante se incorporó al suelo al momento de la siembra y la enmienda se agregó tres meses antes de la siembra sin incorporación al suelo simulando un

planteo de siembra directa. Se realizaron cuatro tratamientos: T: testigo (sin aplicación de productos); F50: fertilizante equivalente a 50 kg ha⁻¹ de Ca; F100: fertilizante equivalente a 100 kg ha⁻¹ de Ca y C1500: equivalente a 1500 kg ha⁻¹ de CaCO₃. Las dosis equivalentes de fertilizante se calcularon en base a la cantidad de fertilizante agregado respecto a la densidad aparente del suelo y para una profundidad de 0,2 m. En ambos suelos se agregaron 65 mg Ca por maceta en F50 y 130 mg por maceta en F100. Las dosis de fertilizante se definieron en base a las referencias bibliográficas, y para que sean acordes a los planteos de fertilización realizados en la RP (CIAFA, 2023). La dosis de enmienda se correspondió con los valores máximos recomendados para estos suelos según la bibliografía (Vázquez et al., 2010).

Variables respuesta

El ensayo finalizó a los 50 días después de la siembra cuando las plantas fueron cortadas al ras del suelo. Las muestras del vegetal fueron secadas en estufa a 60°C con circulación forzada de aire hasta peso constante. En planta se midió biomasa aérea en forma de materia seca (MS) y, luego de lavado del material con agua destilada se midió CCaB, CMgB utilizando como muestra representativa la anteúltima hoja trifoliada. Posteriormente se calculó ECaB y EMgB a través del producto entre la MS y la CCaB y CMgB, respectivamente. Se calculó el BCaS como la diferencia entre la cantidad de Ca agregada a cada unidad experimental y los valores registrados de ECaB. La totalidad del suelo de las macetas, una vez seco en estufa a 40°C con circulación forzada, fue molido y tamizado por 2 mm para su acondicionamiento. Se realizaron análisis por triplicado de: pH actual (pH); conductividad eléctrica en extracto de saturación (CE); Ca soluble-disponible (CaExt): Ca en extracto de saturación (CaExt); CIC y cationes intercambiables: Ca (CaCIC), Mg (MgCIC), K (KCIC) y Na (NaCIC).

Análisis estadístico

Los resultados fueron evaluados estadísticamente por medio de análisis paramétrico de la varianza (ANOVA) con previa comprobación de supuestos básicos. Se realizó una comparación múltiple de Tukey entre los tratamientos que evidenciaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$). Se utilizó el software estadístico RStudio® (R Core Team, 2023).

RESULTADOS

La Tabla 2 muestra los resultados estadísticos de las variables analizadas respecto a los factores del ensayo.

Tabla 2: Estadísticos ANOVA de resultados de las variables de materia seca (MS), concentración de calcio en biomasa (CCaB), concentración de magnesio en biomasa (CMgB), exportación de calcio (ECaB), exportación de magnesio (EMgB) en planta de soja; pH, conductividad eléctrica (CE), calcio soluble-disponible (CaExt), calcio soluble-intercambiable (CaCIC), magnesio soluble-intercambiable (MgCIC), potasio soluble-intercambiable (KCIC), relación entre suma de bases intercambiables y capacidad de intercambio catiónico (S CIC⁻¹), relación entre calcio soluble-intercambiable respecto a sumatoria de bases intercambiables (CaCIC S⁻¹) y relación entre calcio soluble-intercambiable y capacidad de intercambio catiónica (CaCIC CIC⁻¹) de los suelos y balance de calcio en suelo (BCaS) respecto la interacción tratamiento*cultivo, al factor tratamiento y factor suelo del ensayo en invernáculo.

Table 2: ANOVA statistics for dry matter (MS), calcium concentration in biomass (CCaB), magnesium concentration in biomass (CMgB), calcium export (ECaB), magnesium export (EMgB) in soybean plants; pH, electrical conductivity (CE), soluble-available calcium (CaExt), soluble-exchangeable calcium (CaCIC), soluble-exchangeable magnesium (MgCIC), soluble-exchangeable potassium (KCIC), ratio of sum of exchangeable bases to cation exchange capacity (S CIC⁻¹), ratio of soluble-exchangeable calcium to sum of exchangeable bases (CaCIC S⁻¹), and ratio of soluble-exchangeable calcium to cation exchange capacity (CaCIC CIC⁻¹) of soils and soil calcium balance (BCaS) regarding the interaction treatment*cultivar, treatment factor, and soil factor of the greenhouse trial.

| Muestra | Variables | Tratamiento*Suelo | | Tratamiento | | Suelo | |
|---------|-------------------------|-------------------|-------|-------------|---------|---------|-------|
| | | F | p | F | p | F | p |
| Planta | MS | 0,59 | 0,63 | 3,53 | <0,05 | 10,08 | <0,01 |
| | CCaB | 0,60 | 0,63 | 1,92 | 0,17 | 12,70 | <0,01 |
| | CMgB | 2,38 | 0,10 | 0,82 | 0,50 | 5,84 | <0,05 |
| | ECaB | 0,96 | 0,43 | 4,74 | <0,05 | 0,66 | 0,43 |
| | EMgB | 1,35 | 0,29 | 2,70 | 0,08 | 14,60 | <0,01 |
| Suelo | pH | 24,38 | <0,01 | | | | |
| | CE | 1,53 | 0,25 | 11,51 | <0,01 | 12,33 | <0,01 |
| | CaExt | 2,44 | 0,10 | 21,66 | <0,01 | 226,4 | <0,01 |
| | CIC | 2,67 | 0,08 | 1,79 | 0,19 | 1512,06 | <0,01 |
| | CaCIC | 1,91 | 0,16 | 0,68 | 0,57 | 1224,48 | <0,01 |
| | MgCIC | 1,04 | 0,40 | 0,83 | 0,50 | 30,90 | <0,01 |
| | KCIC | 2,47 | 0,10 | 0,30 | 0,85 | 4,20 | 0,06 |
| | S CIC ⁻¹ | 0,77 | 0,53 | 2,55 | 0,09 | 10,23 | <0,01 |
| | CaCIC S ⁻¹ | 2,31 | 0,11 | 0,76 | 0,53 | 7,57 | <0,05 |
| | CaCIC CIC ⁻¹ | 4,50 | <0,05 | | | | |
| | Balance | BCaS | 0,96 | 0,44 | 1843,55 | <0,01 | 0,66 |

La producción de MS de soja mostró diferencias entre tratamientos y entre suelos (Figura 2). El F100 mostró un incremento solamente respecto a T en un 32%, pero sin mostrar diferencias con F50 y C1500. El suelo de Inchausti incrementó la MS en un 20% respecto al suelo de Bellocq.

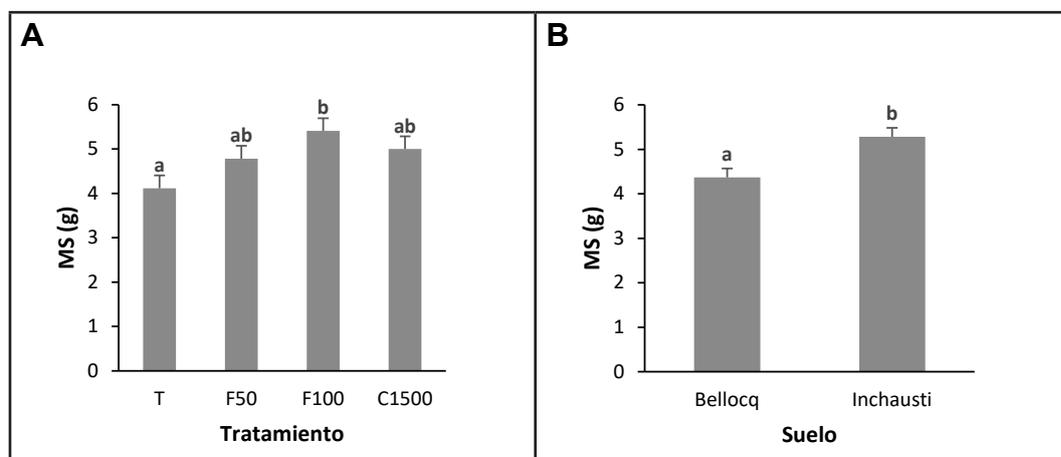


Figura 2: Materia seca (MS) de soja según tratamiento (A) y suelo (B). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos o suelos (p<0,05).

Figure 2: Soybean dry matter (DM) according to treatment (A) and soil (B). Different letters indicate statistically significant differences between treatments or soils (p<0.05).

La CCaB y CMgB en soja mostraron diferencias solamente entre suelos (Tabla 3). El CCaB de soja fue mayor en Bellocq que en Inchausti. En contraposición, el CMgB de soja fue mayor en Inchausti que en Bellocq.

Tabla 3: Concentración de calcio en biomasa (CCaB) y concentración de magnesio en biomasa (CMgB) en soja respecto a los suelos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre suelos para un mismo nutriente ($p < 0,05$).

Table 3: Calcium concentration in biomass (CCaB) and magnesium concentration in biomass (CMgB) in soybean relative to soils. Different letters indicate statistically significant differences between soils for the same nutrient ($p < 0.05$).

| Suelo | CCaB | | CMgB | |
|-----------|------|---|------|---|
| | (%) | | | |
| Bellocq | 1,33 | b | 0,55 | a |
| Inchausti | 1,15 | a | 0,63 | b |

La ECaB se diferenci6 solamente entre tratamientos, mostrando una mayor extracci6n de F100 respecto a T (Figura 3). La ECaB fue similar entre T, F50 y C1500. El patr6n de comportamiento de ECaB fue similar al comportamiento en la producci6n de MS (Figura 3A). Por otro lado, la extracci6n de Mg se diferenci6 solamente entre suelos. Inchausti increment6 la exportaci6n de Mg en un 40% respecto a Bellocq (Figura 3B). El patr6n de comportamiento en la extracci6n de Mg fue similar al patr6n observado en la producci6n de MS y a patr6n en el contenido de Mg en soja entre los suelos (Figura 2B y Tabla 3, respectivamente).

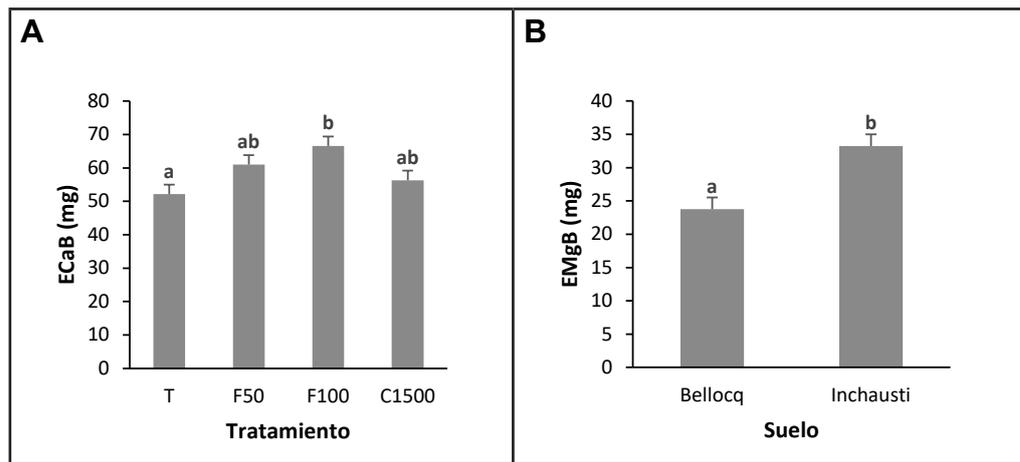


Figura 3: Exportaci6n de calcio en biomasa de soja (ECaB) seg6n tratamiento (A) y suelo (B). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamiento o suelo ($p < 0,05$).

Figure 3: Calcium export in soybean biomass (ECaB) as affected by treatment (A) and soil (B). Different letters indicate statistically significant differences between treatment or soil ($p < 0.05$).

El pH mostr6 interacci6n tratamiento*suelo (Tabla 2). El tratamiento C1500 increment6 el pH de ambos suelos a valores superiores respecto a los otros tratamientos en un 11% en Bellocq y un 5% en Inchausti (Figura 4). Los restantes tratamientos en Inchausti tuvieron un pH superior a los mismos tratamientos en Bellocq.

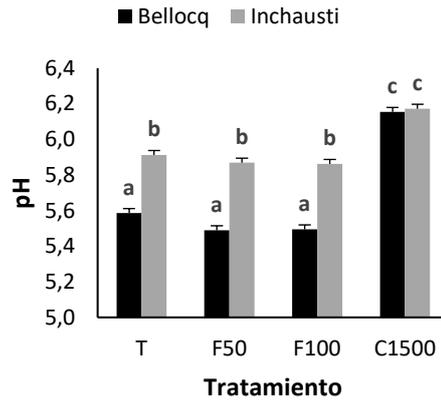


Figura 4: pH en los diferentes tratamientos y suelos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas en la interacción tratamiento*suelo ($p < 0,05$).

Figure 4: pH in different treatments and soils. Different letters indicate statistically significant differences in the treatment*soil interaction ($p < 0.05$).

La CE mostró diferencias entre tratamientos y entre suelos (Tabla 4). El F50 y F100 mostraron un incremento respecto a T y C1500 en los valores de CE. A su vez, T y C1500 no mostraron diferencias entre sí. El suelo de Inchausti arrojó una mayor CE que el suelo de Bellocq. El CaExt, al igual que CE, se diferenció entre tratamientos y suelos (Tabla 4). El F100 generó los mayores valores de CaExt, cercanos a 4 meq l⁻¹. Asimismo, el F50 mostró mayores valores de CaExt que T y C1500, que no se diferenciaron entre sí. El suelo de Inchausti tuvo un mayor contenido de CaExt que el suelo de Bellocq en el orden del 120% (3,96 vs 1,79 meq l⁻¹, respectivamente).

Tabla 4: Conductividad eléctrica (CE) y calcio (Ca) soluble-disponible (CaExt) para los diferentes tratamientos y suelos. T: testigo; F50: 50 kg ha⁻¹ de Ca con fertilizante; F100: 100 kg ha⁻¹ de Ca con fertilizante y C1500: 1500 kg ha⁻¹ de corrector. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas dentro de un mismo factor y para una misma variable ($p < 0,05$).

Table 4: Electrical conductivity (CE) and soluble-available calcium (Ca) (CaExt) for different treatments and soils. T: control; F50: 50 kg ha⁻¹ of Ca with fertilizer; F100: 100 kg ha⁻¹ of Ca with fertilizer; C1500: 1500 kg ha⁻¹ of corrective material. Different letters indicate statistically significant differences within the same factor and for the same variable ($p < 0.05$).

| Factor | Nivel | CE (dS m ⁻¹) | | CaExt (meq l ⁻¹) | |
|-------------|-----------|--------------------------|--------------|------------------------------|--------------|
| | | Value | Significance | Value | Significance |
| Tratamiento | T | 0,42 | a | 2,27 | a |
| | F50 | 0,55 | b | 3,06 | b |
| | F100 | 0,61 | b | 3,75 | c |
| | C1500 | 0,43 | a | 2,44 | a |
| Suelo | Bellocq | 0,46 | a | 1,79 | a |
| | Inchausti | 0,55 | b | 3,96 | b |

La CIC, CaCIC y MgCIC se diferenciaron solamente entre suelos, sin efectos por los tratamientos (Tabla 5). En la totalidad de los casos, Inchausti tuvo mayores valores que Bellocq en el orden del 100%. El KCIC no mostró diferencias entre tratamientos o suelos. La relación S CIC⁻¹ y CaCIC S⁻¹ mostraron diferencias entre suelos (Tabla 5). El suelo de Inchausti mostró mayores valores en S CIC⁻¹ (0,88 vs 0,80) y CaCIC S⁻¹ (0,61 vs 0,55) que el suelo de Bellocq.

Tabla 5: Capacidad de intercambio catiónica (CIC), calcio soluble-intercambiable (CaCIC), magnesio soluble-intercambiable (MgCIC), relación entre sumatoria de bases intercambiables y capacidad de intercambio catiónico (S CIC⁻¹) y relación entre calcio soluble-intercambiable y sumatoria de bases intercambiables (CaCIC S⁻¹) para los diferentes suelos en el ensayo en invernáculo. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre suelos para una misma variable (p<0,05).

Table 5: Cation exchange capacity (CIC), soluble-exchangeable calcium (CaCIC), soluble-exchangeable magnesium (MgCIC), ratio of sum of exchangeable bases to cation exchange capacity (S CIC⁻¹), and ratio of soluble-exchangeable calcium to sum of exchangeable bases (CaCIC S⁻¹) for different soils in the greenhouse trial. Different letters indicate statistically significant differences between soils for the same variable (p<0.05).

| Suelo | CIC | | CaCIC | | MgCIC | | S CIC ⁻¹ | | CaCIC S ⁻¹ | |
|-----------|------------------------|---|-------|---|-------|---|---------------------|---|-----------------------|---|
| | cmolc kg ⁻¹ | | | | | | | | | |
| Bellocq | 8,66 | a | 3,73 | a | 2,51 | a | 0,80 | a | 0,55 | a |
| Inchausti | 14,63 | b | 7,88 | b | 4,30 | b | 0,88 | b | 0,61 | b |

La relación CaCIC CIC⁻¹ mostró interacción suelo*tratamiento (Figura 5). La CaCIC CIC⁻¹ fue similar entre tratamientos de Inchausti, mientras que fue mayor en F100 en Bellocq respecto a T y F50, sin mostrar diferencias con C1500 en el mismo suelo. La totalidad de los tratamientos de Inchausti mostraron mayores valores de CaCIC CIC⁻¹ respecto a T y F50 en Bellocq. El F100 en Inchausti no se diferenció de F100 y C1500 en Bellocq.

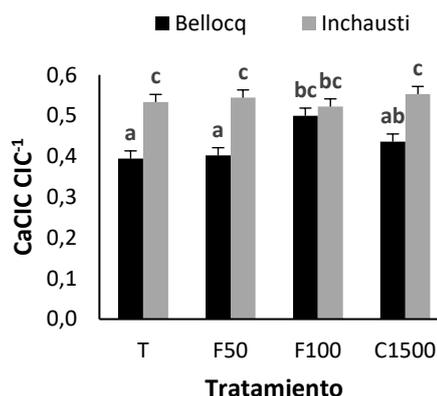


Figura 5: Relación entre calcio soluble-intercambiable y capacidad de intercambio catiónico (CaCIC CIC⁻¹) para la interacción tratamiento*suelo. T: testigo; F50 50 kg ha⁻¹ de Ca con fertilizante; F100: 100 kg ha⁻¹ de Ca con fertilizante y C1500: 1500 kg ha⁻¹ de corrector. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas para la interacción tratamiento*suelo (p<0,05).

Figure 5: Soluble-exchangeable calcium and cation exchange capacity ratio (CaCIC CIC⁻¹) for treatment*soil interaction. T: control; F50: 50 kg ha⁻¹ of Ca with fertilizer; F100: 100 kg ha⁻¹ of Ca with fertilizer; C1500: 1500 kg ha⁻¹ of corrective material. Different letters indicate statistically significant differences for the treatment*soil interaction (p<0.05).

El BCaS mostró diferencias entre todos los tratamientos (Figura 6). Solamente T mostró valores negativos en BCaS. El F50 tuvo valores levemente positivos (4 mg) y el F100 mostró valores cercanos a 64 mg. El C1500 tuvo los mayores valores (726 mg) que superaron ampliamente a los restantes tratamientos, siendo superior a F100 en un 1000%.

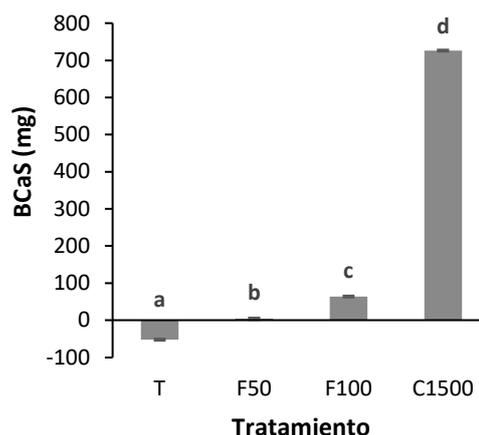


Figura 6: Balance de calcio en suelo (BCaS) según tratamiento. T: testigo; F50 50 kg ha⁻¹ de Ca de fertilizante; F100: 100 kg ha⁻¹ de Ca de fertilizante y C1500: 1500 kg ha⁻¹ de corrector. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

Figure 6: Soil calcium balance (BCaS) as affected by treatment. T: control; F50: 50 kg ha⁻¹ of Ca from fertilizer; F100: 100 kg ha⁻¹ of Ca from fertilizer; C1500: 1500 kg ha⁻¹ of corrective material. Different letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo fue evaluar fertilizantes y enmiendas cálcicas en suelos molisoles de la provincia de Buenos Aires sobre 1) la producción de MS, CCaB, CMgB, ECaB y EMgB de soja forrajera, 2) propiedades fisicoquímicas y químicas del suelo y 3) BCaS. Los principales resultados mostraron que el uso de fertilizantes cálcicos en dosis de 100 kg ha⁻¹ de Ca produjo un incremento en la biomasa de soja forrajera, que podría haber ocurrido debido al incremento de CaExt generado por el fertilizante. Estos hallazgos demuestran la importancia de la disponibilidad de nutrientes básicos en la fracción soluble del suelo para la producción de cultivos en suelos agroproductivos de la RP, principalmente en cultivos de la familia de las leguminosas utilizados para consumo animal (Filippi et al., 2021; Vázquez y Millán, 2017; Zubillaga y Ciarlo, 2015) y coinciden con los autores que observaron incremento en la producción de soja ante el uso de fertilizantes cálcicos en suelos de la RP (Fontanetto et al., 2011; Gambaudo et al., 2007; Vivas y Fontanetto, 2003). Por otro lado, el uso de correctores no produjo incrementos en la producción de MS de soja, a pesar de que generó un incremento en el pH del suelo, de manera diferencial según el sitio de estudio, condición que podría deberse a la diferente capacidad buffer de los suelos (Bennardi et al., 2015). Estos resultados demostrarían que la principal limitante para la producción de los cultivos podría asociarse mayormente a la disponibilidad de Ca en suelo por sobre los efectos de la acidez y están en línea con los autores que plantean una interacción específica en el uso de correctores según producto, suelo, cultivo, clima y tecnología (Machetti, 2021). En relación con el BCaS, los resultados mostraron que el uso de productos cálcicos genera valores positivos en este parámetro, siendo dependiente de la dosis de Ca agregada y permitiendo mitigar el desabastecimiento de nutrientes básicos en suelo (Sarandón y Flores, 2014). Sin embargo, el BCaS es dependiente de la dosis de Ca agregada y de los niveles de ECaB extraídos, por lo que debiera considerarse las cantidades de producto cálcico agregado y el ECaB a lo largo de una campaña productiva para garantizar la mitigación de los balances negativos de nutrientes (Abbona et al., 2018). Por otro lado, se observó que el uso de fertilizantes cálcicos incluso generó balances positivos de Ca, a pesar de incrementar los niveles de extracción de este nutriente. Los estudios realizados en este trabajo son importantes para entender la dinámica de nutrientes básicos en suelos agroproductivos de la RP y generar herramientas que permitan incrementar la producción de cultivos forrajeros sin comprometer la sustentabilidad de los sistemas, principalmente en sitios donde se realiza la cosecha del material donde los niveles de nutrientes básicos en suelo se encuentran en disminución y que incluso han generado acidificación de los suelos (Sainz Rozas et al., 2019).

Las características de los suelos estudiados tuvieron un efecto marcado en algunos parámetros del cultivo y en propiedades del suelo. El suelo de Inchausti mostró mayores valores de MS, CMgB y EMgB, y menores valores CCaB en soja que el suelo de Bellocq; como así también Inchausti mostró mayores valores de CE, CaExt, CIC, CaCIC, MgCIC y relaciones S CIC⁻¹ y CaCIC S⁻¹ que Bellocq. Los mayores valores de MS en Inchausti se asociarían principalmente con un mejor abastecimiento de nutrientes, posiblemente se podría

relacionar con los mayores niveles de CE, CaExt, CIC, CaCIC, MgCIC respecto al suelo de Bellocq. La mayor producción de MS debido a la mayor disponibilidad de nutrientes básicos en suelos ha sido reportada por autores que encontraron relación positiva entre la producción de soja y el contenido de Ca en el suelo (Barbieri et al., 2015). Los menores valores de CCaB en Inchausti podrían asociarse con la mayor producción de MS en este suelo, que habría generado dilución de CCaB. La reducción de CCaB ante el incremento de MS podría haberse generado por un mayor incremento del flujo transpiratorio, que condiciona la tasa de fotosíntesis, respecto al incremento del flujo de Ca hacia la parte aérea de la planta (White & Holland, 2018). Los mayores valores de CMgB en Inchausti respecto a Bellocq, podrían estar asociados al antagonismo entre Ca y Mg en soja, ya sea CCaB o CaExt, mencionado por algunos autores (Malavolta et al., 1997). Por otro lado, las relaciones $S\text{ CIC}^{-1}$ y $\text{CaCIC } S^{-1}$ no se modificaron con la aplicación de los productos, y sería esperable puesto que los valores de CIC, CaCIC y MgCIC no se vieron afectados por el uso de productos cálcicos, ya sea fertilizantes o enmiendas agregados, asociadas a las bajas concentraciones de cationes agregados en relación con el total en suelo. En relación con los indicadores $S\text{ CIC}^{-1}$ y $\text{CaCIC } S^{-1}$, estos resultados indicarían que estas relaciones no habrían permitido predecir diferencias en el comportamiento de soja ante el uso de diferentes dosis de fertilizante cálcico y/o correctores, coincidiendo con los autores que indican que el uso de indicadores relativos de Ca no serían adecuados para el diagnóstico de la fertilidad química del suelo (Chaganti & Culman, 2018). Estos estudios demuestran que las condiciones iniciales de los suelos de la RP influyen significativamente en los parámetros productivos y dinámica de cationes básicos en el cultivo de soja, como así también demostraron que muchos de ellos no se modifican con el uso de productos cálcicos. Sin embargo, sería esperable que la exportación de cationes sin reposición impacte principalmente de forma negativa en los parámetros de CE, CaExt, CaCIC, MgCIC, y consecuentemente, en $S\text{ CIC}^{-1}$, reduciendo la fertilidad de los suelos y, posiblemente, generando acidificación, tal como han reportado varios autores (Sainz Rozas et al., 2019).

La aplicación de productos cálcicos generó diferencias en el pH, CE y CaExt de los suelos. Los valores de pH se incrementaron de manera diferencial según el suelo estudiado solamente con la aplicación de correctores, siendo esperable dada la reacción alcalina que generan los carbonatos en suelo (Vázquez y Pagani, 2015). Asimismo, el incremento de pH fue mayor en Bellocq que en Inchausti ante el agregado de la misma dosis de corrector. Este comportamiento se debe principalmente al poder buffer del suelo, asociado a los coloides presentes, y concuerdan con lo encontrado por algunos autores (Bennardi et al., 2015; Machetti, 2021). El uso de correctores, sin embargo, no incrementó los valores de CaExt o CaCIC del suelo a pesar de incrementar el pH. Esta condición podría deberse a que se aplicaron en forma superficial, simulando un planteo de siembra directa, y en el momento del corte aún no se habría solubilizado todo el producto agregado. Los carbonatos se consideran sales insolubles que deben aplicarse en forma pulverulenta y preferentemente con incorporación para lograr su reacción en suelo, aunque su comportamiento posee una gran dependencia con el producto, suelo, clima, tecnología y cultivo (Vázquez y Millán, 2017). Por otro lado, el incremento de pH no provocó un incremento en la CIC, condición que podría deberse por la naturaleza de las arcillas illíticas predominantes de carga constante presentes en estos suelos (Millán et al., 2010). Paralelamente, el incremento de pH no generó una mayor producción de MS de soja, a pesar de que este cultivo podría considerarse una especie sensible a la acidez del suelo (Marschner, 2023). Sin embargo, esto pudo deberse a que los valores de pH inicial de los suelos no fueron tan bajos como se ha reportado en otros sitios de la RP y será pertinente realizar estudios en suelos con menores valores de pH (Sainz Rozas et al., 2019). En relación con la CE y CaExt, se observó que el uso de fertilizantes cálcicos incrementó los valores de estos parámetros, de forma creciente según la dosis, mientras que los carbonatos no generaron efectos. Estos resultados eran esperables puesto que los fertilizantes cálcicos poseen una mayor solubilidad que los carbonatos, y en consecuencia, incrementarían los valores de CaExt (Vázquez y Millán, 2017). Asimismo, están en línea con los autores que mencionan que el principal objetivo buscado del uso de fertilizantes es incrementar los valores en la solución del suelo y así aumentar la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Bachmeier et al., 2013). Paralelamente, la mayor solubilidad de los fertilizantes habría generado el incremento en los valores de CE, puesto que se comportaría como electrolitos en la solución del suelo. Interesantemente el uso de las mayores dosis de fertilizante no superó valores de CE de 2 ds m^{-1} , que podrían limitar el crecimiento de algunos cultivos debido a restricciones osmóticas para la absorción de agua (Echeverría y García, 2015). Estos resultados demuestran que el uso de fertilizantes cálcicos y correctores posee un impacto diferencial en parámetros del suelo, y que incluso pueden ser diferentes según dosis de fertilizantes cálcicos y según suelos con el uso de correctores, coincidiendo con los autores que plantean una interacción producto, suelo, cultivo, clima y tecnología en los efectos del uso de carbonatos en suelos de la RP (Machetti, 2021).

El uso de fertilizantes cálcicos generó un incremento en la producción de MS, pero no generó BCaS negativos a pesar de incrementar ECaB. El incremento de MS en soja con el uso de 100 kg ha⁻¹ de Ca en forma de fertilizante cálcico podría asociarse con una mejora en la disponibilidad de Ca en las raíces, evidenciada por el aumento de CaExt que generó este tratamiento en el suelo. El aumento de la producción de soja ante el uso de fertilizantes cálcicos ha sido reportado por varios autores en suelos de la RP, incluso utilizando las mismas dosis de fertilizante cálcico (Fontanetto et al., 2011; Gambaudo et al., 2007; Vivas y Fontanetto, 2003). Estos resultados avalarían lo mencionado por Zubillaga y Ciarlo (2015) quienes mencionan que la principal limitante para la producción de MS en los suelos agroproductivos de la RP podría deberse al desabastecimiento de nutrientes, incluso por sobre el pH del suelo, como así también indicarían que el CaExt podría ser un indicador apropiado para el diagnóstico de la suficiencia cálcica. Por otro lado, la aplicación de fertilizante cálcico en dosis de 100 kg ha⁻¹ de Ca incrementó los valores de ECaB. Este comportamiento se asociaría con la mayor producción de MS que generó este tratamiento, puesto que el CCaB no se modificó. El incremento de ECaB podría haber reducido el BCaS, sin embargo, no generó valores negativos que produciría una reducción de los niveles de Ca en suelo. En este sentido, el BCaS fue negativo solamente cuando no se aplicaron productos cálcicos, asociado a la ausencia de incorporación de este elemento al sistema. En los tratamientos donde hubo aplicación de productos el balance fue positivo, incluso en aquellos que se aplicaron menos dosis de fertilizante que fueron cercanos a la neutralidad. Estos resultados, sin embargo, debieran comprobarse a futuro estudiando un ciclo completo (ciclo anual o campaña productiva) para garantizar los balances positivos, dado que de seguir cosechando las mismas plantas de soja o bien cosechar mayor materia seca, el incremento de ECaB asociado podría generar BCaS negativos (Abbona et al., 2018). En contraposición, se observaron valores negativos de BCaS cuando no hubo aplicación de productos cálcicos, evidenciando el empobrecimiento de los suelos y coinciden con los autores que afirman que los suelos agroproductivos de la RP han reducido su concentración en nutrientes básicos debido a extracción sin reposición de nutrientes (Sainz Rozas et al., 2019). La realidad mencionada se asocia con la escasa medición de los niveles de bases de la región, que han impedido atender a la reducción en los niveles de nutrientes, siendo en la actualidad una limitante para la producción de los cultivos como se ha observado en estos estudios y mencionan algunos autores (Zubillaga y Ciarlo, 2015). Asimismo, también se deberá atender a la dinámica de otros nutrientes básicos como Mg y K, que en la actualidad se encuentran en disminución y que incluso se han observado extracción e incrementos en la producción de cultivos extensivos ante su aplicación (Ferro et al., 2017; Ventimiglia, 2022). La información generada es relevante para entender la dinámica de los efectos de uso de productos cálcicos en suelos de la RP y sus efectos en la extracción de nutrientes de los sistemas, principalmente en planteos ganaderos que podrían ser agravantes en este parámetro por cosechar directamente el tejido vegetal para consumo animal en varios períodos del año (Bender et al., 2015). Asimismo, permitieron valorar que el uso de productos cálcicos permitiría mitigar los efectos negativos de la extracción de bases en los sistemas, con el objetivo de mantener la productividad de los suelos en el tiempo (Sarandón y Flores, 2014).

CONCLUSIONES

El uso de fertilizantes cálcicos en los suelos molisoles de la RP incrementó la producción de MS de soja y la ECaB ante incrementos en los niveles de CaExt.

Los fertilizantes cálcicos no influyeron sobre la CCaB y CMgB en soja y sobre propiedades químicas de los suelos como CIC o cationes en la fracción soluble-intercambiable.

Las relaciones entre los niveles de nutrientes básicos en la fracción soluble-intercambiable y la CIC no lograron predecir el comportamiento de la soja ante el agregado de fertilizantes cálcicos o carbonato de calcio.

El uso de fertilizantes cálcicos o carbonato de calcio generó un balance positivo de Ca en suelo.

REFERENCIAS

- Abbona, E., Presutti, M., y Sarandón, S. (2018). *Balance de nutrientes en la producción hortícola de la provincia de Buenos Aires*. Actas XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Tucumán, Argentina. 7 pp.
- Bachmeier, O., Buffa, E., Hang, S., Rollán, A., Bachmeier, E. B., Hang, S., y Rollán, A. (2013). *Fertilidad y Fertilizantes* (7ma edición). SIMA. 428 pp.
- Barbieri, P. A., Echeverría, H. E., Sainz Rozas, H. R., & Martínez, J. P. (2015). Soybean and wheat response to lime in no-till Argentinean mollisols. *Soil and Tillage Research*, 152, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.03.013>

- Bender, R. R., Haegerle, J. W., & Below, F. E. (2015). Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. *Agronomy Journal*, 107(2), 563–573. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0435>
- Bennardi, D., Díaz Gorostegui, A., y Vázquez, M. (2015). *Curvas de acidificación en suelos una herramienta predictiva*. V Jornada Universitaria de Ciencias Exactas y Naturales- Química (pp. 1–15). FACEN, UNCA.
- Chaganti, V. N., & Culman, S. W. (2018). Historical perspective of soil balancing theory and identifying knowledge gaps: A review. *Crops & Soils*, 51(1), 40–47. <https://doi.org/10.2134/cs2018.51.0101>
- Cámara Argentina Fabricantes de Maquinaria Agrícola (CAFMA). (2020). La industria de la maquinaria agrícola en Argentina. Estructura, evolución 2002-2019 y perspectivas. Disponible en: <https://cafma.org.ar/web/uploads/statistics-files/4/Maquinaria%20Agr%C3%ADcola%20Nacional%202002-2019,%20Informe%20CAFMA.pdf?1594650963>. Último acceso: marzo de 2024.
- Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos (CIAFA). (2023). *Consumo de Fertilizantes 2022*. Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos. CIAFA. Disponible En: <https://www.ciafa.org.ar/files/MP2gUteEjTJDcpjmQNzlw1f1IAOXWsp72pMIX2nOQ.Pdf>. Último Acceso: Enero de 2024.
- Echeverría, H. E., y García, F. O. (2014). *Fertilidad de Suelos y Fertilidad de Cultivos* (2da Edición). Ediciones INTA. 904 pp.
- Ferro, D. A., Andreini, B. L., Lozano, L. A., Merani, V. H., Bongiorno, F. M., Larrieu, L., Millán, G. J., y 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>
- Ferro, D. A., Machetti, N. E., Abbona, E. A., y Vázquez, M. E. (2017). Exportación del Mg edáfico producida por cultivos extensivos e intensivos en los distintos partidos de la provincia de Buenos Aires. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 116(1), 155–159.
- Filippi, D., Denardin, L. G. de O., Ambrosini, V. G., Alves, L. A., Flores, J. P. M., Martins, A. P., Pias, O. H. de C., & Tiecher, T. (2021). Concentration and removal of macronutrients by soybean seeds over 45 years in Brazil: A meta-analysis. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 45, 1–18. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20200186>
- Fontanetto, H., Gambaudo, S., Keller, O., Albrecht, J., Weder, E., Sillón, M., Gianinetto, G., y Meoi, G. (2011). Fertilización cálcica en soja en la zona central de Santa Fe. Información Técnica en Cultivos de Verano. Campaña 2011. *Publicación Miscelánea INTA N° 121* (pp. 94–99). INTA.
- Gambaudo, S., Picco, L., Soldano, P., y Cervetti, A. (2007). Fertilización compuesta con calcio, magnesio y azufre en soja. Resultados experiencias campaña 2006/07. INTA. EEA Rafaela. Información Técnica Cultivos de Verano. *Publicación Miscelánea 108*, 185–189.
- Girón, P., Macchiavello, A., Barraco, M., Ottaviano, C., Ferro, D. A., y Vázquez, M. (2016). Aplicación de correctores básicos y fertilizantes cálcico-magnésicos en el cultivo de soja. *Informaciones Agronómicas*, 24, 20–23.
- Google. (2024). *Google Maps*. Disponible en: www.maps.google.com. Último acceso: febrero de 2024.
- Imbellone, P., Giménez, J., y Panigatti, J. (2010). *Suelos de La Región Pampeana*. Procesos de Formación. INTA. 292 pp.
- Leon Perez, S. L. (2012). Efecto de cinco niveles de fósforo y carbonato de calcio en la producción de materia seca, extracción de fósforo en cebada (*Hordeum vulgare* L.) y su disponibilidad de fósforo en el suelo bajo condiciones de invernadero. *Tesis de Grado. Universidad Nacional de Trujillo*. 48 pp.
- Luz, J. (2007). Soja forrajera ¿una nueva alternativa? *GAPP InforTambo*. Disponible en: https://produccion.com.ar/ver_notas.php?edicion=Mar_Abr2008&numero=171&id=109. Último acceso: diciembre de 2023.
- Machetti, N. (2021). Efectos sobre propiedades físicas de la remediación química de la acidez en suelos del ámbito templado argentino. Su incidencia en la producción vegetal. *Tesis de Doctorado. FCyF UNLP*. 134 pp
- Machetti, N., Pellegrini, A., Gutierrez, N., Giraud, R., Tropeano, F., Fernandez, F., Vázquez, M., y Cosentino, D. (2019). Efecto del encalado sobre propiedades químicas y físicas del suelo y sobre el rendimiento de soja (*Glycine max*). *Ciencia del Suelo*, 37(2), 372–382.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., e de Oliveira, S. A. (1997). *Avaliação do Estado Nutricional das Plantas. Princípios y Aplicacões* (Segunda Edición). Potafos. 319 pp.
- Marschner, P. (2023). *Mineral Nutrition of Plants* (Fourth Edition). Eds. Z. Rengel, I. Cakmak, & P. White. Academic Press.
- Millán, G., Vázquez, M., Terminiello, A., y Santos Sbuscio, D. (2010). Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana. *Ciencia del Suelo*, 28(2), 131–140.
- MAGyP (2021). *Estimaciones Agrícolas*. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Disponible en: <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>. Último acceso: diciembre de 2023.
- Quiñonez, A., Dalla Fontana, D., y Mollo, A. (2003). Respuesta de alfalfa al agregado de fósforo, boro y calcio. *Revista FAVE Ciencias Agrarias*, 2(1–2), 47–54.
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. Disponible en: <https://www.R-project.org/>. Último acceso: febrero de 2024 (Build 421). R Foundation for Statistical Computing.
- Romero, L. (2005). *Soja para pastorear*. INTA Rafaela Proyecto Regional de Lechería. Disponible en https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/76-soja_pastoreo.pdf. Último acceso: enero de 2024.
- Sainz Rozas, H., Eyherabide, M., Larrea, G., Martínez Cuesta, N., y Angelini, H. (2019). *Relevamiento y determinación de propiedades químicas*

- cas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. Actas Simposio Fertilidad (pp. 141–158). FERTILIZAR Asociación Civil.
- Sarandón, S., y Flores, C. (2014). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables* (Primera Edición). Edulp. 467 pp.
- Taboada, M., y Álvarez, C. (2008). *Fertilidad Física de los Suelos* (Segunda Edición). UBA. 160 pp.
- Vázquez, M. E., y Millán, G. J. (2017). *Acidez del suelo Origen, diagnóstico, consecuencias y tratamiento*. En: M. Vázquez (Ed.), *Manejo y Conservación de Suelos Con especial énfasis en situaciones argentinas* (pp. 229–217). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
- Vázquez, M., y Pagani, A. (2015). *Calcio y magnesio. Manejo de fertilización y enmiendas*. En E. H. Echeverría y F. García (Eds.), *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos* (pp. 317–350). INTA.
- Vázquez, M., Terminello, A., Casciani, A., Millán, G., Cánova, D., Gelati, P., Guilino, F., Dorronzoro, A., y Nicora, Z. (2012). Respuesta de la soja (*Glycine max* L. Merr) a enmiendas básicas en algunos suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. *Ciencia del Suelo*, 30(1), 43–56.
- Vázquez, M., Terminello, A., Casciani, A., Millán, G., Gelati, P., Guilino, F., García Díaz, J., Kostiría, J., y García, M. (2010). Influencia del agregado de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en ámbitos templados argentinos. *Ciencia del Suelo*, 28, 141–154.
- Ventimiglia, L. (2022). *Ensayos con potasio en el centro oeste de Buenos Aires*. 3er Seminario de Potasio En Argentina, 5.
- Vivas, H., y Fontanetto, H. (2003). Fósforo, azufre y calcio en la producción de soja . Videla, Departamento San Justo. 2002-03. Información Técnica de Cultivos de Verano INTA Rafaela. Campaña 2003. *Publicación Miscelánea*, 100, 1–5.
- White, P., & Holland, J. (2018). *Calcium in Plant Physiology and its Availability from the Soil*. *Proceedings of The International Fertiliser Society* 827.
- Zubillaga, E., y Ciarlo, E. (2015). *Nutrientes Básicos*. En R. Álvarez (Ed.), *Fertilidad de Suelos y Fertilización en la Región Pampeana* (pp. 177–193). FAUBA.