

## Soil quality under native, agricultural and silvopastoral systems in Mollisols the semiarid Chaco Region, Argentina

Calidad de suelo bajo sistemas natural, agrícola y silvopastoril  
en Molisoles del Chaco semiárido, Argentina

Diana Marcela Toledo <sup>a\*</sup> , Stella Maris Contreras Leiva <sup>a</sup> ,  
Carla Eliana Grancic <sup>a</sup> , Tania Soledad Rey Montoya <sup>a,b</sup> 

\*Autor de correspondencia: <sup>a</sup> Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias,  
Cátedra de Edafología, Corrientes, Argentina, [marcelatoledo94@hotmail.com](mailto:marcelatoledo94@hotmail.com)

<sup>b</sup> Estación Experimental Agropecuaria Corrientes, INTA, Grupo Recursos Naturales,  
El Sombrero, Corrientes, Argentina.

### ABSTRACT

Over the last forty years, the semi-arid Chaco landscape has increasingly undergone changes driven by forest-clearing, expansion of agricultural areas, intensive farming, and livestock-grazing in forest areas. Knowing the impact on soil quality was necessary and important to implement agricultural policies under a sustainability paradigm. The objectives were i) to evaluate how forest-clearing and agricultural and silvopastoral use affect soil quality in Mollisols of Chaco; (ii) to establish reference values for high soil quality; and (iii) to correlate chemical quality with a physical quality indicator. A completely randomized sampling design was used, with three treatments: forest (MON), silvopastoral system or forestry-livestock (FG), and no-till agricultural system (SD). Nine batches were selected per treatment and sampled at 0-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m. The following indicators were determined: texture, pH, electrical conductivity, organic matter, effective cation exchange capacity, exchangeable cations, and aggregate stability (EA). The following indices were calculated: saturation percentage of each exchangeable cation, relative stability index and chemical quality indices. An ANOVA, LSD test, and single and multiple correlations were performed. High-quality reference values were determined (MON). The indicators and indices showed that land-use had a negative effect on soil chemical and physical quality. Even though SD and FG resulted in soil fertility loss, the relationships between cations indicated that there was no deficiency or imbalance of nutrients; they should be included in the set to monitor the systems in this type of soil and systems. The physical quality (EA) was associated with the chemical quality of the soil.

**Keywords:** land-use changes, indicators and indices, physical quality, chemical quality.

### RESUMEN

En los últimos cuarenta años, se produjeron cambios en el paisaje debidos a la deforestación, al aumento del área agrícola, al avance de la ganadería hacia los bosques. Surgió así la necesidad de diagnosticar y monitorear el efecto del uso sobre la calidad del suelo, para implementar políticas agrarias bajo un paradigma de sustentabilidad. Los objetivos fueron i) evaluar el impacto del uso agrícola, y del uso silvopastoril sobre la calidad del suelo en Molisoles del Chaco, ii) establecer valores de referencia de alta calidad, y iii) correlacionar la calidad química con un indicador de calidad física. Se empleó un diseño de muestreo completamente al azar, con 3 tratamientos: monte (MON), sistema silvopastoril ó foresto-ganadero (FG), y sistema agrícola bajo labranza cero (SD). Se seleccionaron 9 lotes por tratamiento, se muestrearon a 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m. Se determinaron: textura, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables, estabilidad de agregados. Se obtuvieron: porcentajes de saturación de cationes, índices de estabilidad relativa y de calidad química. Se efectuaron ANOVA, prueba de LSD, y correlaciones. Se establecieron valores de referencia de alta calidad (MON). Los indicadores e índices señalaron que FG y SD impactaron negativamente en la calidad química y física. Si bien hubo una pérdida de fertilidad, las relaciones entre cationes señalaron que no hubo deficiencia ni desbalance de nutrientes, resultando recomendable incluirlas a la hora de evaluar y monitorear cambios en este tipo de suelo y sistemas. La calidad física (EA) correlacionó con la calidad química del suelo.

**Palabras clave:** cambios de uso, indicadores e índices, calidad física, calidad química

## INTRODUCCIÓN

La provincia del Chaco se encuentra en el corazón de la Región Chaqueña Argentina; los materiales parentales dominantes corresponden a sedimentos fluviales de la era Cenozoica, de origen lacustre y eólico. Este último material corresponde al tipo loess, siendo diferente al de la Pampa argentina, ya que está caracterizado por la predominancia de cuarzo e illita, con hornablenda y plagio-clasas alteradas, sin presencia de vidrio volcánico (Moretti et al., 2019).

El centro-oeste de la provincia es una vasta llanura sedimentaria que corresponde a la Ecorregión del Chaco Seco. Esta llanura se modela por la acción de los ríos que la atraviesan en sentido noroeste-sudeste, principalmente el Juramento-Salado, el Bermejo y el Pilcomayo, los cuales transportan desde sus altas cuencas gran cantidad de sedimentos (Morello et al., 2012).

En la Ecorregión chaqueña abundan los géneros *Schinopsis*, *Aspidosperma*, *Bulnesia*, *Neltuma*, *Acacia*, *Mimosa*, *Mimozyanthus*, *Larrea*, *Celtis*, *Capparis*, *Opuntia*, *Harrisia*, *Bougainvillea*, *Catagonus*, *Tolipeutes*, *Pediolagus*, *Dycotiles*, y *Ortalis*, y sus combinaciones, y adquieren valor diagnóstico para varias subregiones ecológicas.

En la subregión del Chaco Seco, el sistema natural predominante corresponde a la vegetación del tipo bosque o monte, y en menor medida a vegetación del tipo pastizal y sabanas abiertas. El 38 % de la ecorregión está dominado por Molisoles y le siguen en porcentaje de ocupación los Entisoles (28 %) y en menor medida los Alfisoles (16,5 %). Las sequías son frecuentes, las precipitaciones son de carácter errático, y generalmente ocurren en la estación de crecimiento de los cultivos, regulando la magnitud de las cosechas. Los suelos se encuentran parcialmente lixiviados y la saturación de bases permanece alta (Morello et al., 2012). En los montes del Oeste de Chaco con bajas precipitaciones y suelos profundos, sin encharcamiento, la introducción de forrajeras cultivadas permite cubrir rápido el suelo, evita procesos de erosión y logran en menor tiempo mayor producción de forraje, obteniéndose resultados promisorios con pasturas subtropicales perennes como *Gatton panic* (*Panicum maximum* v. *Gatton*). El manejo silvopastoril se aplica en bosques con alto requerimiento de luz, como son los de quebracho colorado, algarrobo, quebracho blanco, urunday, espina corona y guayacán, especies que componen el 60 % de la masa boscosa del parque chaqueño (Delvalle, 2000).

La ampliación de la frontera agropecuaria y forestal en Argentina se produce en gran parte a expensas de la eliminación de los bosques principalmente en el centro y norte del país, siendo el territorio del Bosque Chaqueño el que presenta mayores áreas con desmonte principalmente en las provincias de Chaco, Salta, Tucumán, Santiago del Estero y Córdoba (Casas et al., 1983; Cuadra et al., 2020).

Los cambios en el uso del suelo en el Chaco semiárido, ocurren en su gran mayoría por reemplazo de bosques

nativos lo que tiene como consecuencia la fragmentación del paisaje, el aumento del riesgo de degradación del suelo y la pérdida de la biodiversidad de especies vegetales y animales en la región (Rojas 2012). Asimismo, un proceso generalizado de conversión de cobertura vegetal que caracteriza la ecorregión es la arbustificación de pastizales y sabanas especialmente los de simbol (*Cenchrus pilcomayensis*) y la invasión de cactáceas arborescentes (Morello et al., 2012).

Los cambios de uso del suelo generan degradación significativa en la calidad física y química de los suelos agrícolas, en comparación con los suelos de la situación prístina en un plazo relativamente corto, fundamentalmente en las situaciones donde tras el desmonte se instala el monocultivo de soja (Rojas et al., 2016; López 2019). Urinovsky et al. (2021), destacan en Molisoles del Chaco seco que el desmonte y posterior uso agrícola, provocan densificación, disminución de la capacidad del suelo para retener agua para los cultivos y disminución de la estabilidad de los agregados y señalan que la estabilidad de agregados (EA) resulta ser un buen indicador de calidad, de relativa facilidad de medir y de bajo costo de determinación. La USDA (1996) considera que la EA es un indicador temprano asociado a la calidad y contenido de materia orgánica, a la actividad biológica y al ciclado de nutrientes en el suelo. Autores como Dalurzo (2002), Rojas (2012), Toledo (2014), señalan como indicadores de calidad física para suelos del noreste argentino a atributos como EA, densidad aparente, humedad equivalente, resistencia a la penetración, infiltración, porosidad total, porosidad capilar, estabilidad estructural en seco, espacio aéreo, y fracción erosionable. Autores como De Orellana y Pilatti (1994) proponen, al comparar efectos del uso, la utilización de valores de estabilidad relativa (ER) o relación entre el porcentaje de agregados estables de un suelo bajo cultivo y el del mismo suelo sin disturbar.

Respecto a la calidad química de los suelos de la región, son escasos los estudios de fertilidad referidos a macronutrientes en general y aún más reducidos aquellos referidos a los cationes como calcio, magnesio y potasio. Recientemente autores como Lambers & Barrow (2020), destacan la necesidad de utilizar términos más apropiados cuando se hace referencia a estos cationes del suelo, y en vez de utilizar “bases cambiables”, “cationes básicos”, “saturación de bases”, invitan a emplear en el siglo XXI los términos: “catión de intercambio”, “cationes intercambiables”, ó “saturación de cationes”, considerando que en el suelo no siempre se comportan como bases. En el presente trabajo utilizamos los términos *cationes intercambiables* y *saturación de cationes*.

Las deficiencias de cationes intercambiables como calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), generan problemas nutricionales, cambios en el pH y afectan a las propiedades físicas del suelo debido principalmente a su rol en la formación y estabilización de agregados. Resulta importante contar con información actualizada sobre la reac-

ción del suelo, los contenidos de cationes intercambiables, y su distribución en el perfil, en zonas de producción de cultivos (Sainz Rozas et al., 2019). Existen pocos estudios científicos que evalúan el impacto del desmonte y del cambio de uso del suelo sobre la capacidad de intercambio catiónico, los contenidos de macronutrientes esenciales como Ca, Mg y K intercambiables y su distribución en el perfil, también son escasos los trabajos orientados a la obtención de índices de fertilidad química y aún más aquellos que evalúan su relación con índices de calidad física. Conocer el impacto sobre la calidad del suelo resulta importante a la hora de tomar decisiones de manejo y de implementar políticas agrarias bajo un paradigma de sustentabilidad.

Los objetivos son i) evaluar el impacto del desmonte y posterior uso agrícola, y del uso silvopastoril, sobre la calidad del suelo en Molisoles del Chaco, ii) establecer valores de referencia de alta calidad de suelo bajo sistema natural, y iii) correlacionar la calidad química de los suelos bajo los distintos sistemas con un indicador de calidad física como la estabilidad de agregados.

## MÉTODOS

Caracterización de la región y del área bajo estudio: se trabajó en la Ecorregión del Chaco Seco, Subregión Chaco Semiárido entre las isohietas de 800 y 900 mm, dentro del Complejo Chaco Subhúmedo Central (Morello et al., 2012), clima mesotermal subhúmedo seco, y temperatura media anual de 21°C (Moretti et al., 2019). Las precipitaciones en la región son estacionales, concentradas de octubre a marzo, siendo los inviernos secos. La evapotranspiración entre 1.000 a 1.100 mm, presentándose un balance hídrico negativo y anualmente un déficit de agua cercano a los 200 mm. Se produce alternancia de períodos húmedos y secos. La vegetación natural corresponde a bosque de xerófitas con quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*) y quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*) y pastizal, con dos comunidades zonales; bosque de xerófitas cerrado a semiabierto, donde codominan *Schinopsis balansae*, *S. lorentzii* y quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*); y una comunidad del tipo pastizal dominado por gramíneas cespitosas megatérmicas como cola de zorro chaqueña ó flechilla (*Elionurus muticus*) y capín o pasto Pilcomayo (*Cenchrus pilcomayensis*) (Oyarzabal et al., 2018).

El estudio se llevó a cabo en el departamento Almirante Brown de la provincia del Chaco, localidades de Pampa del Infierno, y Los Frentones (26° 30' 13" S, 61° 10' 36" O; 26° 24' 25" S, 61° 24' 47" O). El relieve corresponde a una llanura tendida, muy suavemente ondulada con una pendiente general de 0,5 %. El material original es loess-aluvial local fósil, con predominancia de Haplustoles y Argiustoles dentro del orden Molisol (López 2019). Se realiza una agricultura de secano, principalmente bajo labranza cero o siembra directa, y se efectúan producciones del

tipo silvopastoril, en sistema de bosque nativo con pasturas naturales y/o implantadas. Los suelos se caracterizan por estar relativamente libres de problemas de hidromorfismo, haber sido parcialmente lixiviados y presentar una saturación de bases tendiente a permanecer alta. No obstante, es importante destacar que al momento no se encuentra publicada la cartografía de suelos del Departamento Almirante Brown.

En el área de estudio, la agricultura es de secano y generalmente los lotes son de medianos a grandes productores, se aplican técnicas conservacionistas como la labranza cero, pero no todos realizan rotaciones de cultivo, incluso se encuentran lotes con monocultivo de soja de más de 10 años sin rotación. Los sistemas silvopastoriles, combinan la ganadería, el forraje y la actividad forestal en la misma superficie. En los campos con monte natural, de producción silvopastoril, se quita el sotobosque y se deja que avance el pastizal natural o se implantan pasturas siendo una de las más utilizadas el *Gatton panic*.

En este estudio se evaluaron sistemas naturales (condición natural bajo vegetación del tipo bosque nativo o monte) y cultivados: uso agrícola bajo labranza cero y uso silvopastoril con pastura implantada. Se realizó un estudio observacional, realizando un muestreo de suelos completamente al azar, con tres situaciones: sistema natural (MON), sistema silvopastoril (FG), y sistema agrícola bajo labranza cero (SD). Para la evaluación de la calidad de suelos y el impacto del cambio del uso, se emplearon como nivel de referencia de alta calidad de suelo, los suelos bajo vegetación de monte nativo, con respecto al cual se compararon y cuantificaron los cambios de calidad de suelo debidos a los distintos usos.

El monte (MON) se caracterizó por la presencia de especies de mediano y alto porte entre ellas quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*), quebracho colorado (*Schinopsis lorentzii*), palo borracho blanco (*Ceiba insignis*), sacha limón (*Capparis speciosa*), sacha membrillo (*C. salicifolia*), mistol (*Ziziphus mistol*), itín (*Neltuma kuntzei*), algarrobo blanco (*Neltuma alba*), algarrobo negro (*Neltuma nigra*), y otras como quebracho colorado mestizo (*Schinopsis heterophylla*), jacarandá (*Jacaranda cuspidifolia*), tala trepadora (*Celtis iguanaea*), palo lanza (*Phyllostylon rhamnoides*), aromito (*Vachellia caven*), aibe (*Elionurus muticus*) (Morello et al., 2012).

El sistema silvopastoril (FG), correspondió a lotes bajo bosques nativos intervenidos con rolado de baja intensidad más una pastura implantada (*Panicum maximum cv Gatton panic*) y bajo pastoreo anual controlado (cargas de 0,8 a 1,1 E.V ha<sup>-1</sup>).

El sistema agrícola (SD), correspondió a lotes desmontados y cultivados bajo agricultura conservacionista con más de 5 años de agricultura bajo siembra directa con cultivos anuales en rotación. El sistema incluyó labranza cero o siembra directa, y el cultivo principal fue soja, con rotaciones principalmente de maíz y algodón, las más frecuentes de la zona.

Se seleccionaron y georreferenciaron nueve lotes por sistema (3), aplicando un muestreo al azar asistemático, en parcelas de 20 x 50 m, las mismas alejadas de los bordes de los lotes para evitar efecto de borde (más de 15-20 metros). Se tomaron muestras de suelo a 4 profundidades 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 y 0,20-0,30 m.

Las muestras fueron acondicionadas, secadas al aire, molidas y tamizadas, y se determinó textura por el Método de Bouyoucos (Dewis & Freitas, 1970), estabilidad de agregados por el método de (Kemper & Rosenau, 1986), pH (relación suelo: agua de 1:2,5), conductividad eléctrica (CE) en extracto de saturación, materia orgánica (MO) a partir del carbono orgánico oxidable, escala semi-micro, siguiendo la norma IRAM-SAGPyA 29571-3 (2016) en base a Walkley y Black (1934), capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) mediante la extracción con acetato de amonio 1N a pH 7 (Dewis y Freitas, 1970), calcio (Ca) y magnesio (Mg) intercambiables por complejometría con EDTA, sodio (Na) y potasio (K) intercambiables por fotometría de llama, y acidez (H) intercambiable por titulación (Dewis y Freitas, 1970). La dificultad de medir los cationes en solución ha llevado a que la medida más ampliamente difundida con fines de diagnóstico de fertilidad sea la concentración de estos elementos en la situación de intercambio.

Por cálculo se obtuvo la estabilidad relativa (ER) de la estructura, a partir de la relación entre el porcentaje de agregados estables de cada sistema cultivado y la del suelo de referencia (MON). Asimismo, fueron calculados los porcentajes de saturación de cationes: calcio (PSCa), magnesio (PSMg), potasio (PSK), y sodio (PSI).

El porcentaje de saturación de cada Catión (%Catión  $M^+$ ) se calculó aplicando la fórmula:

$$\% \text{ Catión } M^+ = \frac{M^+}{CICE} * 100 \quad [1]$$

Donde  $M^+ = Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^+ \text{ ó } Na^+$  intercambiable en  $cmol_c \cdot Kg^{-1}$  y CICE la capacidad de intercambio catiónica medida al pH del suelo.

Posteriormente, se obtuvieron índices de fertilidad a partir de las siguientes relaciones:  $Ca^{+2}+Mg^{+2}/K^+$ ,  $Ca^{+2}:Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}:K^+$ , y  $Mg^{+2}:K^+$ .

Análisis estadístico: los datos obtenidos se analizaron mediante un ANOVA, y una prueba de comparación de medias de LSD ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos y entre profundidades dentro de cada tratamiento. Se realizó una correlación simple de Pearson ( $P < 0,05$ ) para la primera profundidad, entre el indicador de calidad física (EA) y el resto de los atributos e índices de fertilidad y una correlación múltiple considerando todas las profundidades. Para el procesamiento de los datos se utilizaron los softwares R e INFOSTAT 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

## RESULTADOS

En la tabla 1, pudieron observarse los valores medios obtenidos para pH, MO, cationes intercambiables, CICE y EA. Los suelos se caracterizaron por presentar valores medios de pH entre 7 y 7,49. La textura de estos varió de franco-arcillosa a franco-arcillo-arenosa. Considerando todos los sistemas evaluados la MO varió entre 21 y 56  $g \cdot kg^{-1}$ , los mayores valores se presentaron en superficie y disminuyeron con la profundidad. La situación de referencia presentó los mayores contenidos de MO, en tanto los menores correspondieron al sistema agrícola. Respecto a los valores medios de acidez intercambiable (H), en todos los casos resultaron bajos (0,09 a 0,07  $cmol_c \cdot kg^{-1}$ ) y acordes a los valores de pH, sin diferencias significativas entre tratamientos y profundidades ( $P > 0,05$ ).

Los suelos bajo vegetación natural de monte presentaron en todas las profundidades, los mayores valores de  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  con diferencias significativas respecto a los FG y SD. Todos los tratamientos y profundidades presentaron valores de Ca y Mg dentro del rango alto a muy alto, presentando valores medios de calcio superiores a 9,4  $cmol_c \cdot kg^{-1}$ , y de magnesio a 2,70  $cmol_c \cdot kg^{-1}$  (tabla 1). Respecto a los valores medios de  $K^+$  intercambiable encontrados, en todos los casos fueron superiores a 1,2  $cmol_c \cdot kg^{-1}$  correspondiendo al rango de provisión muy alto.

Al analizar los valores de  $K^+$  y  $Na^+$  intercambiables fueron los suelos bajo MON y FG quienes presentaron los mayores, y se diferenciaron significativamente ( $P < 0,05$ ) de los suelos bajo labranza cero (SD) sólo en la primera profundidad para el caso del  $K^+$ , y en la segunda y tercera profundidad para el caso del  $Na^+$  intercambiable (Tabla 1). La CICE en todos los tratamientos fue mayor en superficie, presentando los mayores valores en suelos bajo MON señalando una mayor fertilidad; con diferencias estadísticas en todas las profundidades respecto a FG y SD.

Considerando los mínimos y máximos encontrados para los cationes intercambiables bajo la situación de MON, los valores de referencia de alta calidad de suelo para los primeros 0,30 m hallados fueron: MO: 16 a 73  $g \cdot kg^{-1}$ ;  $Ca^{+2}$ : 8 a 18  $cmol_c \cdot kg^{-1}$ ;  $Mg^{+2}$ : 3 a 8  $cmol_c \cdot kg^{-1}$ ;  $K^+$ : 1 a 4  $cmol_c \cdot kg^{-1}$ ;  $Na^+$ : 0,08 a 0,3  $cmol_c \cdot kg^{-1}$ ; H<sup>+</sup>: 0,05 a 0,14  $cmol_c \cdot kg^{-1}$ ; CICE: 16 a 29  $cmol_c \cdot kg^{-1}$ .

En la tabla 2, pueden observarse los valores obtenidos para la saturación de cationes. En ningún caso, se presentaron problemas de sodicidad, el PSI fue menor al 1%, con diferencias significativas entre tratamientos sólo para las primeras profundidades, señalando para la profundidad de 0,05 m el orden:  $FG \geq SD \geq MON$  ( $P < 0,019$ ). Para todos los tratamientos, los valores medios de PSMg encontrados variaron entre 17 y 29, correspondiendo los mayores valores a suelos bajo MON, presentándose diferencias significativas en todas las profundidades ( $P < 0,05$ ) respecto a los sistemas cultivados (FG y SD). Los valores de PSK variaron entre 10 y 16 % para las dos primeras profundidades, presentando el orden  $FG > SD \geq MON$ ,

**Tabla 1.** Valores medios de pH, MO (materia orgánica), Ca<sup>+2</sup> (calcio), Mg<sup>+2</sup> (magnesio), K<sup>+</sup> (potasio), Na<sup>+</sup> (sodio), H<sup>+</sup> (acidez intercambiable), CICE (capacidad de intercambio catiónico efectiva), y estabilidad de agregados (EA) para monte nativo (MON), silvopastoril (FG) y agrícola bajo labranza cero (SD). Se presentan las medias y coeficiente de variación (CV)

Means values for pH, organic matter (MO), exchangeable Ca<sup>+2</sup> (calcium), Mg<sup>+2</sup> (magnesium), K<sup>+</sup> (potassium), Na<sup>+</sup> (sodium), H<sup>+</sup> (exchangeable acidity), CICE (effective cation exchange capacity), and aggregate stability (EA) corresponding to the native forest (MON), the silvopastoral system (FG) and the no-till agricultural system (SD). The means and coefficient of variation (CV) are presented.

Variable	Prof. (m)	MON	FG	SD	CV	P-valor
pH	0-0,05	7,10Aa	7,08Aa	7,01Aa	6,70*	0,9201
	0,05-0,10	7,15Aa	7,38Aa	7,16Aa	6,50*	0,4782
	0,10-0,20	7,32Aa	7,17Aa	7,49Ab	4,95	0,2005
	0,20-0,30	7,37Aa	7,26Aa	7,46Ab	5,26	0,5509
MO g kg <sup>-1</sup>	0-0,05	56,22Cc	37,37Bb	26,43Ac	26,00	<0,0001
	0,05-0,10	33,07Bb	21,25Aa	22,00Ab	22,28	0,0002
	0,10-0,20	25,43Bab	21,15Aa	18,13Aa	16,05	0,0007
	0,20-0,30	22,05Ba	18,97ABa	17,49Aa	17,76	0,0303
CICE cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0-0,05	23,55Bb	16,40Aa	15,78Aa	16,97	<0,0001
	0,05-0,10	20,92Bab	15,49Aa	14,56Aa	15,27	<0,0001
	0,10-0,20	19,91Ba	14,50Aa	15,23Aa	14,29	0,0001
	0,20-0,30	21,43Bab	15,62Aa	16,57Aa	15,42	0,0003
EA %	0-0,05	86,61Bb	85,05Bc	63,05Ab	15,35*	0,0004
	0,05-0,10	84,67Bab	80,08Bbc	51,20Aab	17,96*	<0,0001
	0,10-0,20	77,71Ba	69,05Bab	41,12Aa	27,07	0,0003
	0,20-0,30	77,17Ca	59,44Ba	40,20Aa	26,26	0,0002

Letras mayúsculas distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos (columnas), y letras minúsculas distintas, entre profundidades para un mismo sistema ó tratamiento (líneas), de acuerdo con la Prueba LSD Fisher (P < 0,05). Datos de pH y de EA de profundidades 0-0,05 y 0,05-0,10 m, publicados en Urinovsky Irigoyen *et al.*, 2021.

Different uppercase letters show significant differences between treatments (columns), and different lowercase letters between depths for the same treatment (lines), according to the Fisher LSD Test (P < 0.05).

**Tabla 2.** Valores medios de PSI (porcentaje de sodio intercambiable), PSCa (porcentaje de saturación de calcio intercambiable), PSMg (porcentaje de saturación de magnesio intercambiable), PSK (porcentaje de saturación potasio intercambiable), y coeficiente de variación (CV), para monte nativo (MON), silvopastoril (FG) y agrícola bajo labranza cero (SD).

Mean values for PSI (saturation percentage of exchangeable sodium), PSCa (saturation percentage of exchangeable calcium), PSMg (saturation percentage of exchangeable magnesium), PSK (saturation percentage of exchangeable potassium) and coefficient of variation (CV), in the native forest (MON), the silvopastoral system (FG) and the no-till agricultural system (SD).

Variable	Prof. (m)	MON	FG	SD	CV
PSI (%)	0-0,05	0,81A	1,10B	0,96AB	20,98
	0,05-0,10	0,80A	1,02B	0,77A	21,45
	0,10-0,20	0,80A	0,79A	0,64A	27,90
	0,20-0,30	0,78A	0,74A	0,63A	39,34
PSCa (%)	0-0,05	61,07A	61,81A	68,57B	9,18
	0,05-0,10	58,60A	62,80AB	68,35B	9,46
	0,10-0,20	60,90A	64,97AB	68,60B	6,67
	0,20-0,30	60,49A	68,48B	70,57B	8,92
PSMg (%)	0-0,05	26,58B	19,99A	17,55A	25,83
	0,05-0,10	29,41B	21,89A	18,79A	25,83
	0,10-0,20	28,08B	22,72A	20,11A	20,40
	0,20-0,30	29,99B	22,16A	20,06A	22,96
PSK (%)	0-0,05	11,14A	16,61B	12,41A	17,31
	0,05-0,10	10,82A	13,81B	11,54AB	23,04
	0,10-0,20	9,77A	11,04A	10,16A	24,57
	0,20-0,30	8,38A	8,15A	8,25A	30,71

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, de acuerdo con la Prueba LSD Fisher (P < 0,05).

Different letters indicate significant differences between treatments, according to the LSD Fisher Test (P < 0.05)



con diferencias significativas sólo en la primera profundidad ( $P < 0,0001$ ).

En la tabla 3, se observaron los índices de fertilidad a partir de las relaciones obtenidas entre los diferentes cationes intercambiables. El índice Ca:Mg tomó valores medios entre 2:1 y 2,5:1 para la situación de referencia de alta calidad de suelo (MON), entre 3,1:1 y 3,3:1 para FG y entre 3,5:1 y 4,2:1 para SD, correspondiendo los menores valores al MON y los mayores al sistema agrícola, con diferencias significativas en todas las profundidades ( $P < 0,05$ ).

Los valores medios de Ca:K considerando todos los tratamientos y profundidades oscilaron de 3,8 a 9:1; correspondiendo el menor valor a FG en superficie, presentando diferencias significativas respecto a MON y SD sólo en la primera profundidad ( $P < 0,05$ ). El índice Mg:K para todos los tratamientos y profundidades, presentó valores medios entre 1 a 4:1, con menores valores en superficie.

El índice (Ca+Mg)/K fluctuó entre 5 y 12, correspondiendo los menores valores a suelos bajo sistema FG, con diferencias significativas respecto a MON y SD sólo en la primera profundidad ( $P < 0,0001$ ). No se presentaron diferencias entre tratamientos para el resto de las profundidades.

Analizando la variable EA, los mayores valores de ésta se presentaron bajo la situación de referencia de alta calidad de suelo con valores entre 77 y 88 % considerando todas las profundidades (tabla 1). Considerando todos

los tratamientos y sólo las 3 primeras profundidades, la EA señaló el siguiente orden  $MON \geq FG > SD$ , con diferencias significativas. A mayor profundidad (0,20 a 0,30 m) se presentó una clara diferenciación de la EA entre los tres sistemas en el orden  $MON > FG > SD$ , con diferencias estadísticamente significativas.

Considerando todos los tratamientos, la correlación simple entre la EA y el resto de las variables, para la primera profundidad fue positiva y significativa respecto a: MO ( $r: 0,66$ ), calcio ( $r: 0,46$ ), magnesio ( $r: 0,54$ ), potasio ( $r: 0,56$ ) y CICE (0,60) ( $P < 0,0001$ ,  $P < 0,02$ ;  $P < 0,0034$ ;  $P < 0,002$ ,  $P < 0,0009$  respectivamente).

En cuanto a la correlación múltiple, para los primeros 0,30 m, el tratamiento MON, resultó positiva y significativa entre CICE y EA,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$  ( $r: 0,46, 0,86, 0,59, 0,62$  respectivamente) y entre las variables EA y  $Ca^{+2}$  ( $r: 0,41$ ). De igual manera para el tratamiento SD, se encontró una correlación positiva y significativa entre las mismas variables CICE y EA,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  y  $K^+$  ( $r: 0,58; 0,92; 0,43; 0,50$  respectivamente) como así también entre EA y  $Ca^{+2}$  ( $r: 0,59$ ). Respecto al sistema silvopastoril, se encontraron correlaciones positivas y significativas entre CICE y  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  ( $r: 0,80; 0,63$ ), como así también entre EA y  $K^+$  ( $r: 0,45$ ).

Respecto a los valores obtenidos de estabilidad relativa de la estructura (ER) a partir de las relaciones entre EA de los sistemas cultivados respecto la referencia (MON), considerando 0,30m de profundidad, fueron: MON:100, FG: 90 y SD: 65.

**Tabla 3.** Índices de fertilidad obtenidos a partir de las relaciones entre cationes intercambiables, y coeficiente de variación (CV), para monte nativo (MON), silvopastoril (FG) y agrícola bajo labranza cero (SD).

Fertility indices obtained from the relationships between exchangeable cations, and coefficient of variation (CV) in the native forest (MON), the silvopastoral system (FG) and the no-till agricultural system (SD).

Índices	Profundidad (m)	MON	FG	SD	CV
<b>Ca:Mg</b>	0-0,05	2,57A	3,30AB	4,20B	35,78
	0,05-0,10	2,11A	3,21B	3,95B	36,26
	0,10-0,20	2,25A	3,11B	3,53B	29,59
	0,20-0,30	2,08A	3,31AB	4,29B	53,75
<b>Ca:K</b>	0-0,05	5,62B	3,86A	5,64B	19,84
	0,05-0,10	5,66A	4,85A	6,20A	27,19
	0,10-0,20	6,81A	6,18A	7,05A	28,19
	0,20-0,30	8,49A	9,11A	9,00A	35,25
<b>Mg:K</b>	0-0,05	2,45B	1,24A	1,44A	31,77
	0,05-0,10	2,81B	1,73A	1,71A	36,92
	0,10-0,20	3,25B	2,24AB	2,03A	43,13
	0,20-0,30	4,15B	3,01AB	2,54A	45,92
<b>(Ca+Mg) /K</b>	0-0,05	8,07B	5,10A	7,08B	17,85
	0,05-0,10	8,47A	6,59A	7,91A	25,41
	0,10-0,20	10,06A	8,42A	9,07A	29,80
	0,20-0,30	12,64A	12,12A	11,55A	35,72

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, de acuerdo con la Prueba LSD Fisher ( $P < 0,05$ ).

Different letters indicate significant differences between treatments, according to the LSD Fisher Test ( $P < 0.05$ )

## DISCUSIÓN

Los suelos evaluados presentan en todos los casos, reacción neutra a ligeramente básica, sin diferencias significativas entre tratamientos ni entre profundidades. La textura varía de franco-arcillosa a franco-arcillo-arenosa, y los valores de CE ( $< 2 \text{ dS m}^{-1}$ ) indican que agrónomicamente presentan condiciones aceptables para un buen desarrollo vegetal y crecimiento de los cultivos (USDA, 1999).

Los valores de MO, en todos los casos evaluados corresponden al rango de bien provistos a muy bien provistos, en base a la escala orientativa de provisión de Walkley & Black (1934). Considerando los primeros 0,05 m, la pérdida de los contenidos orgánicos debida al cambio de uso es del 33 % para FG y del 52 % para SD, respecto a la situación de referencia (MON). En todos los tratamientos, las concentraciones de MO disminuyen con la profundidad, destacándose una marcada estratificación para la situación prístina. La MO se comporta como un indicador sensible para distinguir suelos prístinos de disturbados, marcando el siguiente orden  $\text{MON} > \text{FG} \geq \text{SD}$ , con diferencias significativas entre tratamientos y entre profundidades ( $P < 0,05$ ).

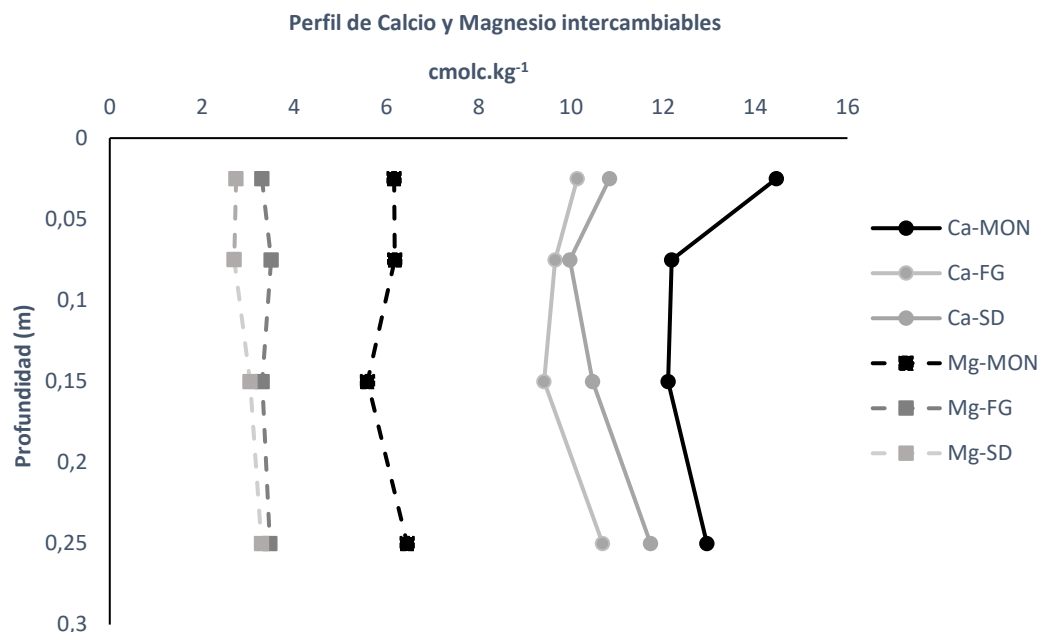
Valores similares encuentra López (2019) en suelos del Departamento Almirante Brown (Chaco), para situaciones de bosque nativo y suelos cultivados con soja. De igual modo, Peri et al., (2022), al evaluar la acumulación de carbono, encuentran pérdidas similares al considerar los primeros 0,30 m del perfil bajo monte nativo y sistemas cultivados.

En cuanto a la distribución de calcio y de magnesio intercambiables en el perfil de suelo, los valores para los diferentes sistemas en general son mayores en superficie sin diferencias significativas entre profundidades ( $P > 0,05$ ), excepto para calcio intercambiable bajo la situación prístina con diferencias entre profundidades (Figura 1).

La distribución de potasio y de sodio intercambiables en el perfil de suelo, también muestra los mayores valores en superficie y una disminución con la profundidad, presentando el sistema silvopastoril valores intermedios entre MON y SD (Figura 2).

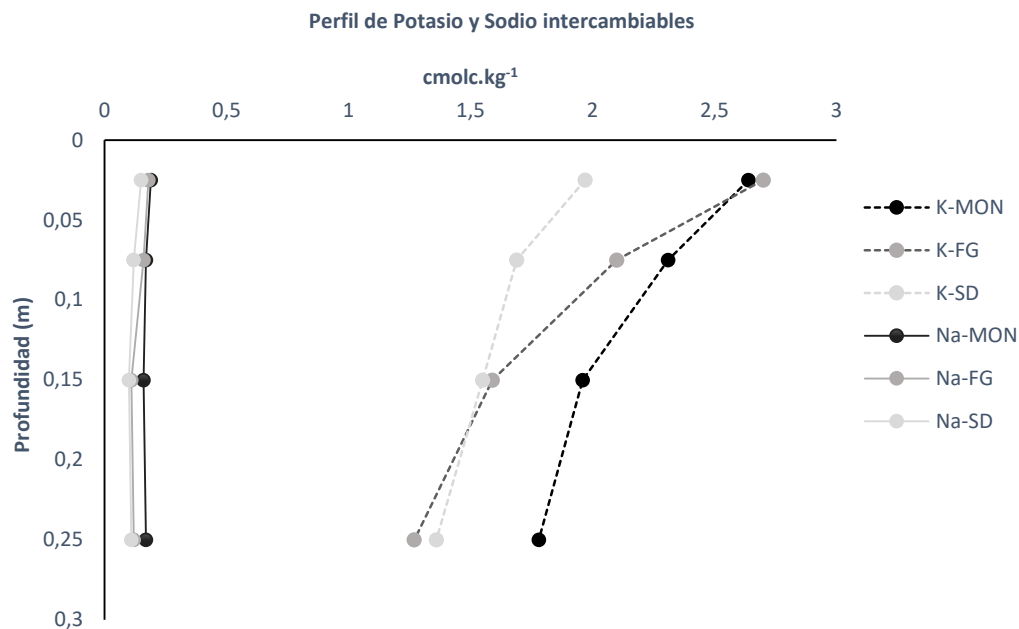
Respecto a la CICE, considerando todos los valores medios obtenidos, hay una disminución (21 a 30%) asociada al uso del suelo, aunque sin diferencias significativas entre profundidades para los suelos disturbados. La CICE resulta un buen indicador de fertilidad, sensible para distinguir la situación prístina de los suelos disturbados, y señala una pérdida de fertilidad debida al uso.

Considerando todos los tratamientos y profundidades, los valores medios de saturación de calcio varían entre 58 y 70 %. Los valores más altos corresponden al sistema agrícola (SD), los valores intermedios a FG, y los más bajos a MON, con diferencias estadísticas significativas entre SD y MON. Lo hallado coincide con Pérez et al., (2020), quienes, en suelos del Chaco Seco, bajo monte y cultivos agrícolas, encontraron también mayores contenidos de Ca en los suelos cultivados y menores en suelos bajo monte, asociándolo a una mayor actividad respiratoria en suelos sin disturbar. Las magnitudes de Ca encontradas se corresponden con la descripción de las cartas de suelo inclusive



**Figura 1.** Distribución de calcio y de magnesio intercambiables en el perfil de suelos correspondientes a monte (MON), sistema agrícola bajo labranza cero (SD) y silvopastoril (FG) en las 4 profundidades evaluadas.

Distribution of exchangeable calcium and magnesium in the soil profile corresponding to the native forest (MON), the no-till agricultural system (SD) and the silvopastoral system (FG) across the four depth levels.



**Figura 2.** Distribución de potasio y sodio intercambiables en el perfil de suelo para los tratamientos monte (MON), sistema agrícola bajo labranza cero (SD) y silvopastoral (FG) en las 4 profundidades evaluadas.

Distribution of exchangeable potassium and sodium in the soil profile for the native forest (MON), the no-till agricultural system (SD) and silvopastoral system (FG) across the four depth levels.

superando los valores de referencia (Zurita, 2007; Pérez et al., 2020). Por otra parte, los contenidos y la relación de Ca, Mg y K intercambiables pueden presentar elevada variabilidad sitio-específica generada no solo por el tipo de suelo sino por la actividad antrópica (Larrea et al., 2023).

Los porcentajes de saturación de cationes PSCa y PSMg se encuentran dentro de los rangos de disponibilidad media y alta respectivamente. En tanto que la saturación de potasio intercambiable (PSK) se presenta dentro del rango de disponibilidad muy alta (>10 %). Los valores de provisión o disponibilidad de referencia bajo, medio y alto se toman de lo reportado por Pellegrini (2017) para suelos de Argentina y por la Cátedra de Edafología, UNNE (2019) para suelos del NEA. No obstante, es necesario a futuro monitorear los cambios ya que el contenido de Ca, Mg, K intercambiables y sus relaciones, puede presentar una elevada variabilidad sitio-específica generada por el tipo de suelo y la actividad antrópica, y en el mediano plazo pueden comenzar a aparecer desequilibrios nutricionales (Larrea, 2019).

En todos los casos los índices de fertilidad a partir de las relaciones obtenidas presentan valores considerados como relaciones óptimas al resultar relaciones Ca:Mg menores a 7:1 para suelos del NEA (UNNE, 2019). Schulte & Kelling (1985) encontraron valores similares de la relación Ca:Mg, que varían entre 3:1 y 8:1, en diferentes tipos de suelos cultivados en Wisconsin, EE UU.

De acuerdo con los umbrales críticos para las relaciones entre cationes intercambiables reportados por Michelena et al., (1989) y Pellegrini (2017), los sistemas de cul-

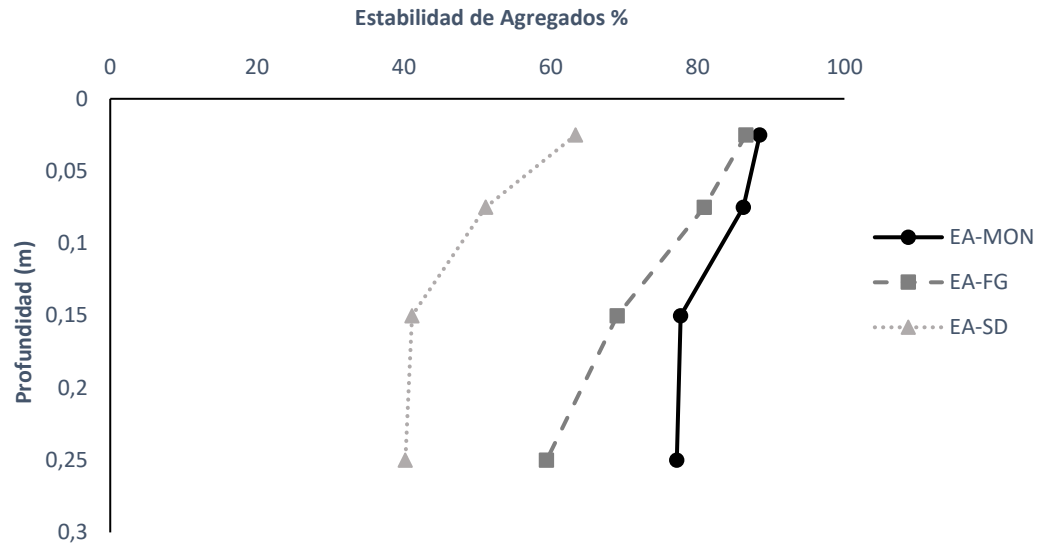
tivo FG y SD, al presentar valores superiores a 3, se ubican dentro del rango considerado crítico, que va de 3 a 15:1. Asimismo, los valores promedio de Ca:K se mantienen por debajo de 13:1, según las referencias mencionadas. Cabe destacar que los autores mencionados, consideran que estos rangos críticos corresponden a rangos de valores óptimos ó condiciones favorables.

Respecto al índice Mg:K, resulta más sensible para distinguir suelos prístinos de cultivados, y los mayores valores del índice corresponden a MON, con diferencias significativas respecto a los suelos cultivados para las dos primeras profundidades.

En cuanto al índice (Ca+Mg)/K, en general, los valores se encuentran dentro del umbral crítico (7 a 11) (Michelena et al., 1989; Pellegrini, 2017). Los resultados obtenidos en la presente investigación, son similares a los encontrados en suelos agrícolas de la región pampeana bajo cultivo de soja, por Diovisalvi et al. (2020) quienes señalan relaciones (Ca+Mg)/K y Ca:K, con valores promedio entre 7 y 8.

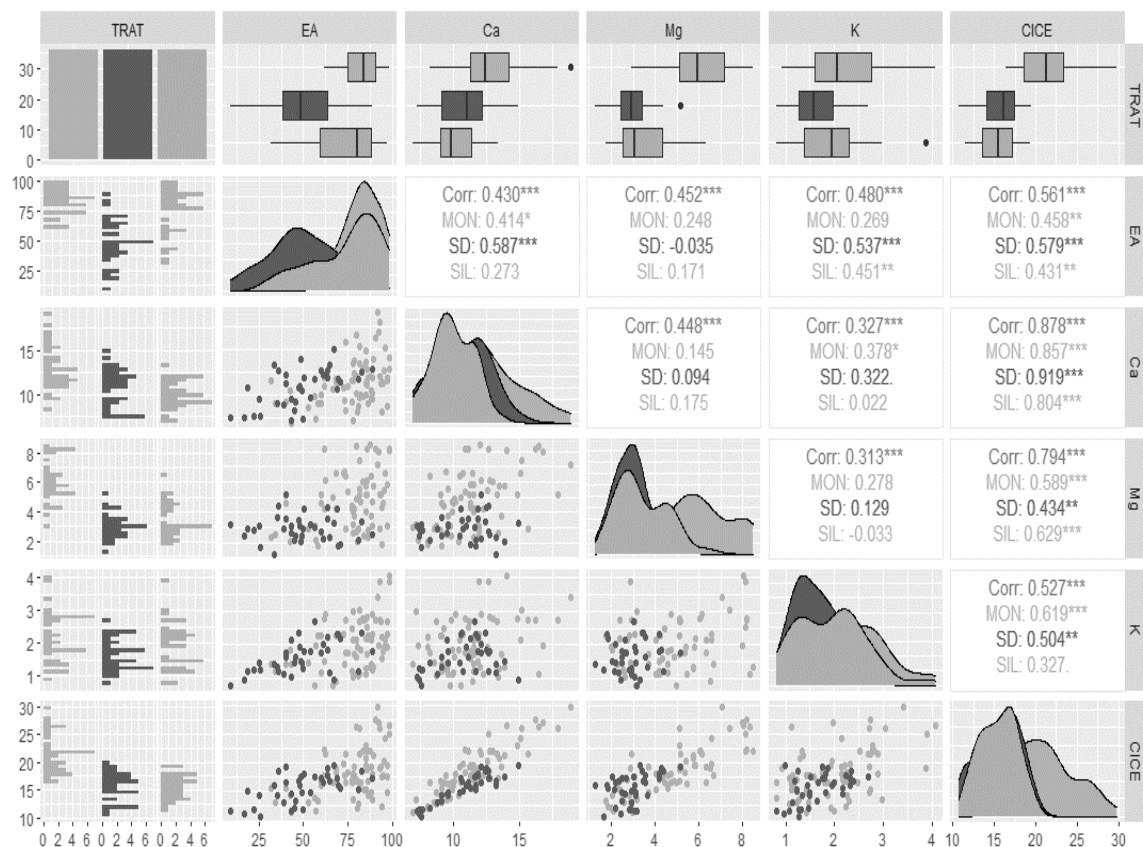
La variación de la EA en los sistemas evaluados, respecto de la profundidad se puede visualizar que disminuye con la profundidad (Figura 3). Los mayores valores corresponden a la situación de alta calidad de suelo (MON), los menores a SD. Por otra parte, la correlación múltiple entre EA y la capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE) y los cationes intercambiables, para cada sistema evaluado, resultó positiva y significativa (Figura 4), destacándose una relación directa, estrecha y de interdependencia entre la calidad física y la calidad química del suelo.





**Figura 3.** Distribución de los valores de estabilidad de agregados (%) para monte (MON), sistema agrícola bajo labranza cero (SD) y silvopastoril (FG) en las profundidades evaluadas.

Distribution of aggregate stability values (%) for the native forest (MON), the no-till agricultural system (SD) and the silvopastoral system (FG) across the evaluated depth levels.



**Figura 4.** Correlación múltiple entre los sistemas monte (MON), sistema agrícola bajo labranza cero (SD) y silvopastoril (FG) y las variables estabilidad de agregados (EA), capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE) y los cationes intercambiables para la profundidad de 0-0,30 m.

Multiple correlation between the native forest (MON), the no-till agricultural system (SD) and the silvopastoral system (FG), and the following variables: aggregate stability (EA), effective cation exchange capacity (CICE) and exchangeable cations for the 0-0.30 m depth.

## CONCLUSIONES

Los indicadores e índices obtenidos muestran que, tanto el sistema silvopastoril como el agrícola producen modificaciones en la calidad química y física del suelo, afectando la materia orgánica, los contenidos de macronutrientes, sus relaciones y la estabilidad estructural. Se establecieron valores de referencia de alta calidad (MON) que constituyen un umbral para comparar los distintos atributos.

Entre los índices, la relación Mg:K muestra sensibilidad para diferenciar sistemas naturales de sistemas cultivados. Asimismo, la estabilidad de agregados se relaciona positivamente con la capacidad de intercambio catiónico, evidenciando la estrecha vinculación entre la calidad física y la fertilidad química del suelo.

Aunque los índices funcionales derivados de los cationes intercambiables no señalan actualmente deficiencias ni desbalances graves, su valor radica en la capacidad de detectar tendencias de deterioro antes de que se manifiesten limitaciones nutricionales. En este sentido, las relaciones catiónicas permiten identificar procesos de pérdida de fertilidad incipientes -como la reducción progresiva del calcio, el aumento del sodio o desbalances entre bases- que, de mantenerse en el tiempo, pueden comprometer la productividad y la sustentabilidad. Por lo tanto, se recomienda incluir estos índices en programas de monitoreo y evaluación de la calidad del suelo, ya que funcionan como indicadores tempranos de degradación y contribuyen a orientar decisiones de manejo bajo un paradigma de sostenibilidad.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

DMT diseñó el trabajo, dirigió el Proyecto, realizó la construcción de índices, el procesamiento de datos y análisis estadístico univariado, las tablas y la interpretación de resultados; SMCL y CEG realizaron las determinaciones analíticas, los cálculos y el ordenamiento de datos, TSRM efectuó el procesamiento de datos y análisis estadístico multivariado, CEG y TSRM realizaron las figuras y la adaptación a las normas de redacción. Todos los autores contribuyeron en la redacción, discusión y revisión detallada del escrito.

## FINANCIAMIENTO

A la Secretaría General de Ciencia y Técnica, y a la Cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias, pertenecientes a la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), por la financiación del PI 16A006.

## AGRADECIMIENTOS

A los Ings. Agrs. Silvia Arzuaga y Samuel Tessaro, por su participación en la determinación del carbono orgánico

en el laboratorio de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE.

## REFERENCIAS

- Casas, R. R., Mon, R., Brandinelli, M. E., & Rea, H. (1983). *Uso y manejo de la tierra desmontada en la provincia de Santiago del Estero*. INTA. IDIA, 413, 416.
- Cuadra, D. E., Insaurralde, J. A., & Montes Galbán, E. J. (2020). Evaluación espacio-temporal de la deforestación en el noroeste de la provincia del Chaco (1986-2018): mediante el uso combinado de Sistemas de Información Geográfica y Procesamiento Digital de Imágenes. *Universidad Nacional de Luján, Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 17, 1-10.
- Dalurzo, H. C. (2002). *Agregado de residuos orgánicos en suelos ferralíticos. Efecto sobre variables que estiman sustentabilidad* (Tesis de maestría no publicada). Escuela para Graduados Alberto Soriano, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Delvalle, P. (2000). Manejo silvopastoril, una herramienta para mejorar la productividad del monte nativo. *Informaciones Agropecuarias*, 31, 1-5. INTA E.E.A Colonia Benítez, Chaco. Recuperado de [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/manejo%20silvopastoril/21-manejo\\_silvopastoril.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/21-manejo_silvopastoril.pdf)
- De Orellana, J. A., & Pilatti, M. A. (1994). La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo*, 12, 75-80. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Recuperado de [https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_12n2/orellana.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_12n2/orellana.pdf)
- Dewis, J., & Freitas, F. (1970). *Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas* (Boletín sobre suelos N° 10). FAO.
- Diovisalvi, N., Reussi Calvo, N., Boxler, M., & García, F. (2020). Relevamiento de calcio, magnesio y potasio en lotes de producción de soja. En H. C. Dalurzo, D. M. Toledo, A. R. Perucca, & S. C. Perucca (Comps.), *XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Suelos: Desafíos para una producción y desarrollo sustentables* (pp. 385-390). Recuperado de <http://congreso2020.suelos.org.ar/actas/>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat* (Versión 2020) [Software]. Centro de transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
- IRAM. (2016). *Norma IRAM-SAGyP 29571-3:2016. Calidad ambiental - Calidad del suelo. Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 3 - Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, microescala*.
- Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. En A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods* (pp. 425-441). ASA-SSSA.
- Lambers, H., & Barrow, N. J. (2020). P2O5, K2O, CaO, MgO, and basic cations: Pervasive use of references to molecules that do not exist in soil. *Plant and Soil*, 452, 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04593-2>
- Larrea, G. E. (2019). *Disponibilidad y variabilidad espacial de calcio, magnesio y potasio en suelos agrícolas y prístinos de la región pampeana* (Tesis de maestría no publicada). Universidad Nacional de Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/5057?locale-attribute=en>

- Larrea, G., Álvarez, R., Taboada, M. A., & Sainz Rozas, H. (2023). Cation nutrient reserves decline markedly under intensive cropping of Pampas Mollisols. *Catena*, 228, 107073. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106916>
- López, A. E. (2019). *Estudio del impacto del cultivo de soja (Glycine max (L.) Merr.) sobre indicadores edáficos y productivos en tierras desmontadas en el sector sur del Departamento Almirante Brown, provincia del Chaco* (Tesis de maestría no publicada). Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Agrarias, Rosario, Argentina. Recuperado de <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/5882>
- Michelena, R. O., Iruirtia, C. B., Vavruska, F. A., Mon, R., & Pittaluga, A. (1989). *Degradación de suelos en el norte de la región pampeana*. INTA. Publicación Técnica N° 6. Proyecto de Agricultura Conservacionista.
- Morello, J., Matteucci, S. D., Rodríguez, F., & Silva, M. (2012). *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente (GEPAMA), Universidad de Buenos Aires.
- Moretti, L. M., Morrás, H. J. M., Pereyra, F. X., & Schulz, G. A. (2019). Soils of the Chaco region. En G. Rubio, R. S. Lavado, & F. X. Pereyra (Eds.), *The soils of Argentina* (1st ed., pp. 149-160). Springer Cham. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-76853-3\\_10](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-76853-3_10)
- Oyarzabal, M., Clavijo, J., Oakley, L., Bizangoli, F., Tognetti, P., Barberis, I., Maturo, H., Aragón, R., Campanello, P., Prado, D., Oesterheld, M., & León, R. J. C. (2018). Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral*, 28, 040-063. Recuperado de [http://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia\\_Austral/article/view/399/292](http://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/399/292)
- Pellegrini, A. E. (2017). *Potasio, calcio y magnesio del suelo*. Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35408/mod\\_resource/content/1/14%20-%20CALCIO%2C%20MAGNESIO%20Y%20POTASIO.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35408/mod_resource/content/1/14%20-%20CALCIO%2C%20MAGNESIO%20Y%20POTASIO.pdf)
- Pérez, M. M., Sotelo, S., Sirio, L. A., Giménez, L. E., & Toledo, D. M. (2020). Análisis comparativo de suelos cultivados y de monte de la provincia del Chaco, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo*, 52(1), 87-101. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/357718324>
- Peri, P., Vetter, S., Barral, M. P., Goya, J. F., & Balbi, C. (2022). *Reporte nacional: Estimación de las reservas de carbono orgánico del suelo con plantaciones forestales y otros usos de la tierra, en distintas regiones de Argentina*. INTA y Ministerio de Agricultura. Ganadería y Pesca de la Nación. Recuperado de <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/12650>
- Rojas, J. M. (2012). *Indicadores de calidad de suelos desmontados y destinados a la producción agrícola en el área piloto de la Eco-región Chaqueña* (Tesis de maestría no publicada). Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina. Recuperado de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=1285454&pid=S1850-2067201800020000100051&lng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=1285454&pid=S1850-2067201800020000100051&lng=es)
- Rojas, J. M., Prause, J., Sanzano, G. A., Arce, O. E. A., & Sánchez, M. C. (2016). Soil quality indicators selection by mixed models and multivariate techniques in deforested areas for agricultural use in NW of Chaco, Argentina. *Soil & Tillage Research*, 155, 250-262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.08.010>
- Sainz Rozas, H., Eyherabide, M., Larrea, G., Martínez Cuesta, N., Angelini, H., Reussi Calvo, N., & Wyngaard, N. (2019). Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. En *Simposio Fertilidad 2019. Conocer más crecer mejor* (pp. 141-158). Fertilizar. Recuperado de [https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/11824/INTA\\_CRBsAsSur\\_EEABalcarce\\_Sainz%20Rozas\\_HR\\_Relevamiento\\_determinaci%C3%B3n\\_propiedades\\_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/11824/INTA_CRBsAsSur_EEABalcarce_Sainz%20Rozas_HR_Relevamiento_determinaci%C3%B3n_propiedades_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Schulte, E. E., & Kelling, K. A. (1985). *Soil calcium to magnesium ratios-should you be concerned?* (A2986). Cooperative Extension Publications. University of Wisconsin-Extension. Recuperado de <http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/a2986.pdf>
- Toledo, D. M. (2014). *Calidad de suelo en agroecosistemas de Misiones: Desarrollo y validación de calidad. Su aplicación en la evaluación de los cambios en el uso de las tierras* (Tesis doctoral no publicada). Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina. Recuperado de <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/29653?show=full>
- UNNE. (2019). *Edafología. Guía de trabajos prácticos: Valores de referencia suelos del NEA*. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste.
- Urinovsky Irigoyen, K., Toledo, D. M., Arzuaga, S. A., Acosta, M. G. L., & Contreras Leiva, S. M. (2021). Indicadores de calidad física en suelos del Chaco semiárido bajo distintos sistemas. *Revista Agrotecnia*, 31, 5-13. DOI: <https://doi.org/10.30972/agr.0315810>
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica). (1996). *Soil quality indicators: Aggregate stability*. Soil Quality Information Sheet. USDA Natural Resources Conservation Service. Recuperado de [https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/nrcs142p2\\_051276.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/nrcs142p2_051276.pdf)
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica). (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola. Servicio de Conservación de Recursos Naturales e Instituto de Calidad de Suelos. Recuperado de <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>
- Walkley, A., & Black, A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, as a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38. Recuperado de [https://journals.lww.com/soilsci/citation/1934/01000/an\\_examination\\_of\\_the\\_degtjareff\\_method\\_for.3.aspx](https://journals.lww.com/soilsci/citation/1934/01000/an_examination_of_the_degtjareff_method_for.3.aspx)
- Zurita, J. (2007). *Los suelos de la provincia del Chaco. Primera etapa. Carta de suelos del Departamento General Güemes*. INTA - Ministerio de la Producción de la Provincia del Chaco, Argentina.

Received: 25-11-2024

Accepted: 12-10-2025

