

## RELEVAMIENTO DE VARIABLES EDÁFICAS RELACIONADAS CON LA SALUD DEL SUELO EN EL NORESTE Y NOROESTE ARGENTINO

Sainz Rozas, H.<sup>1,2,3</sup>, M. Eyherabide<sup>1,3</sup>, N.I. Reussi Calvo<sup>1,2</sup>, N. Wyngaard<sup>1,2</sup>, V. Aparicio<sup>2,3</sup>, F. García<sup>1</sup>, M.F. González San Juan, N. Rouillet<sup>4</sup>, N. Stahringer<sup>5</sup>, D.S. Torrielli<sup>7</sup>, A. Sanzano<sup>6</sup>, A. Saperdi<sup>7</sup>, A.J. Saperdi<sup>7</sup>, J.M. Orcellet<sup>8</sup>, H.P. Angelini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP. <sup>2</sup>CONICET. <sup>3</sup>EEA INTA Balcarce. <sup>4</sup>Fertilizar AC, <sup>5</sup>Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), <sup>6</sup>EEA Obispo Colombres, <sup>7</sup>Asesor privado, <sup>8</sup>Nidera Semillas

\*Contacto: [sainzrozas.hernan@inta.gob.ar](mailto:sainzrozas.hernan@inta.gob.ar)

### INTRODUCCIÓN

La salud del suelo se define como la capacidad del mismo para cumplir determinadas funciones en el agroecosistema. Por lo tanto, un suelo saludable debe ser capaz de sostener la productividad, contribuyendo a la calidad ambiental y mejorando la salud humana, animal y vegetal.

La materia orgánica del suelo (MO) se utiliza generalmente como un indicador de salud del suelo (ISS; Cambardella y Elliott, 1992; Vagar, 2004), ya que está relacionada con varias funciones del suelo dentro del agroecosistema como la provisión de nutrientes (nitrógeno, fósforo y azufre, entre otros), la capacidad de intercambio catiónico, la estabilidad de agregados y la actividad microbiana (Weil y Magdoff, 2004; Picone, 2014), y por ende, la capacidad del suelo para degradar y/o retener plaguicidas y sus metabolitos (Hernández Guijarro et al., 2018a y b; Aparicio et al., 2018 y 2023; San Juan et al., 2023).

El pH del suelo puede ser considerado como otro ISS ya que la acidez o alcalinidad regula la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana y la adsorción de pesticidas a la matriz mineral del suelo (Picone, 2014; De Gerónimo y Aparicio, 2022). Además, en condiciones de extrema acidez o alcalinidad puede haber un efecto directo negativo del pH sobre el crecimiento de los cultivos (Brady and Weil, 1998). La disponibilidad de fósforo también podría ser considerado como un ISS ya que el crecimiento de los cultivos y el aporte de residuos estaría limitado en suelos con baja disponibilidad del mismo.

A partir de mediados de los '90 en algunas provincias del NOA (Tucumán y Salta) y del NEA (región este de Santiago del Estero, suroeste del Chaco y norte de Entre Ríos) se adoptaron modelos productivos extensivos propios de la región pampeana. En ambas regiones, la superficie destinada a la agricultura ha aumentado de 1.619.800 ha a 6.450.690 ha en 2019 (MAGyP, 2023), debido principalmente el crecimiento del área sembrada con soja y en menor medida maíz y girasol (Satorre y Andrade, 2021). Esta expansión fue en detrimento de los bosques y selvas nativos y de cultivos regionales típicos de dichas zonas.

Los suelos sobre los cuales se ha desarrollado la agricultura en el NOA y NEA pertenecen al orden de los Molisoles, Alfisoles, Inceptisoles, Entisoles y Vertisoles (Figura 1) y, en general, sus principales limitaciones, según orden, van desde la erosión hídrica o eólica, escasa estabilidad estructural, riesgo de ascenso de sales y climáticas por déficit de agua (Panigatti, 2010).

En estas condiciones mantener niveles adecuados de MO según suelo y ambiente y elevados niveles de cobertura son esenciales para mantener la salud edáfica, dada las elevadas temperaturas de estas zonas que aceleran la descomposición de la MO y el ascenso de sales a través de la evaporación. En un muestreo realizado en 2018 en la región pampeana, se determinaron caídas de MO del 26% al 34% en los suelos bajo agricultura, respecto de suelos prístinos. Sin embargo, hay poca información disponible de los cambios de esta variable como consecuencia del avance de la agricultura para los suelos del NOA y NEA argentino.

En un relevamiento realizado en 2005, Sainz Rozas et al. (2012) informaron que los valores más bajos de P extractable (Bray & Kurtz, 1945; P-Bray) se determinaron al norte de Entre Ríos, mientras que en el oeste de Santiago del Estero y norte y este de Tucumán, norte de Córdoba y Santa Fe, los niveles de P-Bray variaron de 20 a 90 mg kg<sup>-1</sup> según zonas y tipos de suelo. En los suelos del suroeste del Chaco los niveles de P-Bray del horizonte superficial varían de 30 a 166 mg kg<sup>-1</sup> según los tipos de suelo (Carta de suelos del INTA, 1985). Los niveles de P han disminuido de manera considerable en la región pampeana en los últimos años y la mayor parte de dicha región presenta niveles que varían de 10 a 20 mg kg<sup>-1</sup> (Sainz Rozas et al., 2019). Sin embargo, no se conoce como la actividad agrícola ha afectado los niveles de P-Bray en algunas regiones del NOA y NEA argentino.

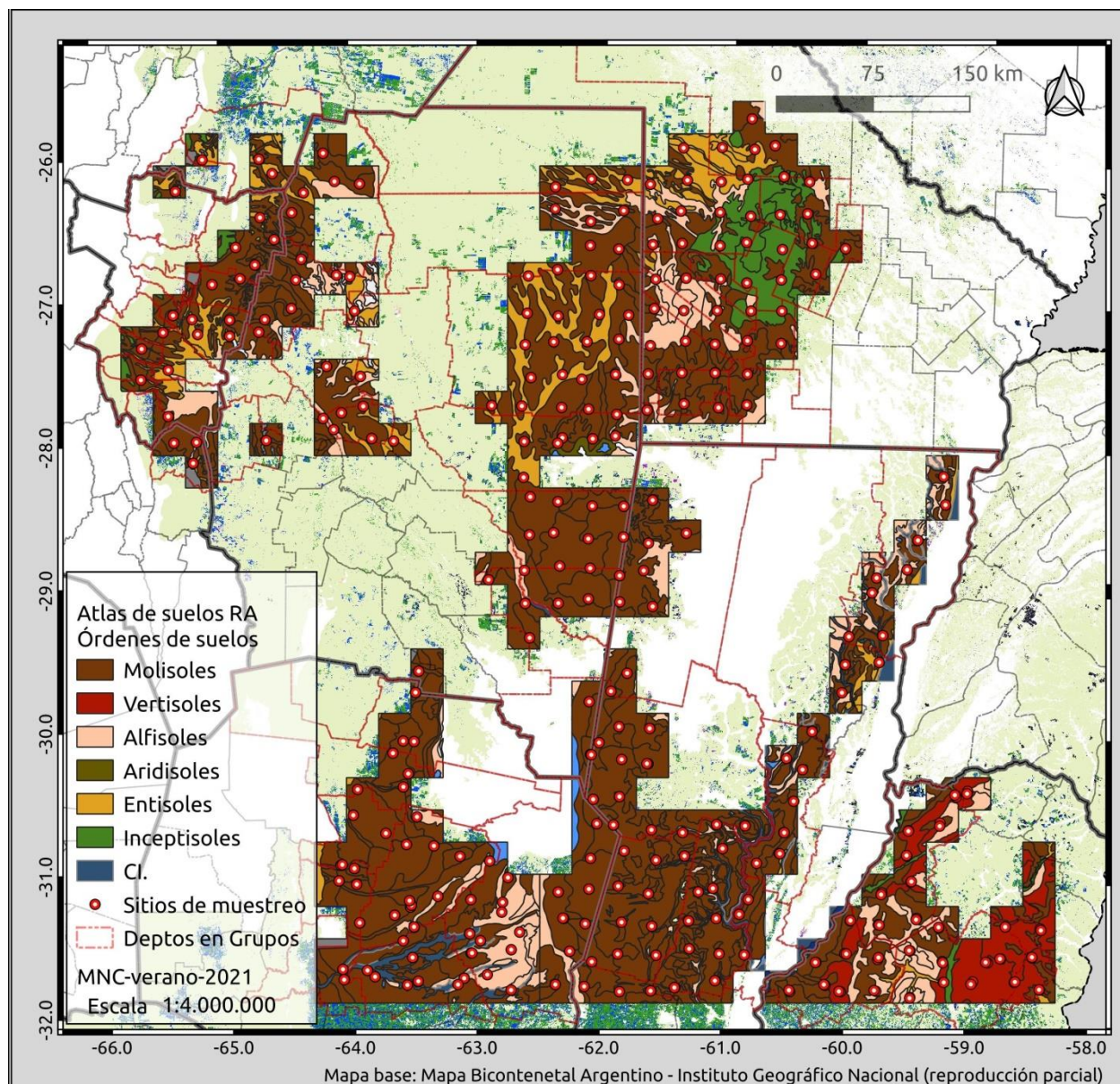
Para el caso del pH (relación suelo:agua 1: 2,5) se han informado valores que varían de 5,5 a 7,5 para el suroeste del chaco (Carta de Suelos del INTA, 1985) y de 6 a 7,5 para el norte de Entre Ríos, Santa Fe, y Córdoba, este de Tucumán y oeste de Salta (Sainz et al., 2011). En los últimos años el pH de los suelos ha disminuido a valores por debajo de 6 en el este y norte de la región pampeana (Sainz Rozas et al., 2019). Sin embargo, no se conoce como la actividad agrícola ha afectado el pH de los suelos en algunas regiones del NOA y NEA argentino.

El objetivo de este trabajo fue determinar los niveles actuales de MO, pH y P-Bray en suelos bajo agricultura y compararlos con los niveles de suelos prístinos en algunas zonas del NOA y NEA argentino.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Entre julio y octubre del 2022 se tomaron un total de 295 muestras de suelos prístinos y con más de 10 años de agricultura en algunas zonas del NOA y NEA argentino (**Figura 1**). Las áreas de muestreo se determinaron a partir de una grilla de 25x25 km, sobre la que se seleccionaron aquellas celdas donde al menos la mitad de la cobertura corresponde a lotes con cultivos agrícolas. Para definir la cobertura en cada celda se utilizó a información generada por el INTA en el proyecto

Mapa Nacional de Cultivos, específicamente el mapa correspondiente a la campaña de verano de 2021 (De Abelleira, et al., 2021). Las áreas prístinas correspondieron a montes, pastizales naturales y en menor proporción a zonas cercanas a los alambrados no disturbadas. En cada sitio (prístino y bajo agricultura), se tomó una muestra de suelo compuesta (30 sub-muestras por sitio) de la capa de suelo de 0 a 20 cm usando un muestreador de acero inoxidable.



**Figura 1.** Mapa indicando los sitios de muestreos y los principales órdenes de suelos. Cl: Complejos indefinidos.

Los análisis de suelo se realizaron en el laboratorio del Grupo de Relaciones Suelo-Planta del INTA-FCA Balcarce a partir de muestras secadas a 30°C y tamizadas por 2 mm. Se determinó pH actual (relación suelo:agua de 1:2.5), P-Bray I (Bray and Kurtz, 1945) y el contenido de MO por calcinación, siguiendo el método propuesto por Schulte & Hopkins (1996). Se pesaron 5 g de muestra en crisoles de 15 mL, posteriormente fueron colocados en estufa durante 24 h a 105°C.

Las muestras fueron enfriadas en desecador y pesadas. Luego se colocaron durante 2 h en una mufla a 360°C, posteriormente se transfirieron a un desecador y luego de enfriarse se registró el peso nuevamente. El cálculo de MO se realizó por diferencia de peso en las distintas temperaturas, según:

$$\% \text{ MO} = ((\text{peso } 105^{\circ}\text{C} - \text{peso } 360^{\circ}\text{C}) * 100) / \text{peso } 105^{\circ}\text{C}$$

Para el análisis estadístico de los datos las zonas se dividieron en 5 grupos: sur de Salta, este de Tucumán y oeste de Santiago del Estero (G1), este de Santiago del Estero y suroeste del Chaco (G2), norte de Córdoba (G3), norte de Santa Fe (G4) y norte de Entre Ríos (G5). En cada grupo y condición de suelo fue realizado un análisis estadístico descriptivo determinándose los cuantiles (0,05; 0,25; 0,50; 0,75 y 0,95), media, desvío estándar y rango intercuartílico. Para el contraste de hipótesis de la diferencia de medias de MO, pH y P-Bray para grupo y condición del suelo, se evaluó el supuesto de normalidad de la distribución de la variable por medio del test Shapiro-Wilk y Kolmogorov Smirnov en función del número de datos de cada grupo y condición de manejo. La comparación de medias para MO, pH y P-Bray se realizaron con el método paramétrico de la distribución T-student luego de corroborar la normalidad y la igualdad de varianzas con el F-test, usando la corrección de Welch cuando las varianzas no fueron iguales. Cuando los datos no tuvieron una distribución normal se utilizó el test no paramétrico de Wilcoxon (Bilisoly et al., 1997). El análisis estadístico y comparación de medias se realizó en R versión 4.2.3 (R Core Team, 2023).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución de los datos de MO y pH fue normal para cada grupo y condición de suelo y sesgada para P-Bray, con una gran proporción de datos con bajas concentraciones y una menor proporción con valores muy altos, comportamiento comúnmente observado con este nutriente (Pagani, 2014).

El valor más alto de MO en suelos prístinos se observó en el G5 (norte de Entre Ríos; **Tabla 1**), debido a la textura más fina de los suelos de este grupo, que deriva en una mayor estabilización y protección de la MO (Guggenberger et al., 1995; Six et al., 2002), y al régimen de humedad del suelo respecto a las demás zonas (Panigatti, 2010). La reducción de la MO varió del 11,7% (G2) hasta el 28,0% (G3). Aunque en general el valor promedio y la mediana fueron similares, en algunos grupos (G2 y G5), el 50% del set de datos mostró valores inferiores a los promedios en los suelos bajo agricultura (**Tabla 1**), lo que pone de manifiesto que estas reducciones de la MO respecto a los suelos prístinos son aún mayores a las determinadas a partir de los valores promedios. Los valores más elevados de reducción de MO son similares a los informados para la región pampeana por Sainz Rozas et al. (2019), a pesar de la menor historia agrícola de los suelos del NOA y NEA. Esto pone de manifiesto que la mineralización de la MO en estas zonas se acelera cuando se quita la cobertura de monte nativo o pastizal natural por las temperaturas más elevadas y la menor protección de la fracción orgánica en estos suelos (Panigatti, 2010; Guggenberger et al.,

1995; Six et al., 2002), respecto a los suelos de la región pampeana. Esta caída de los niveles de MO puede impactar en la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre en el corto a mediano plazo. En este contexto, incrementar la cobertura del suelo por residuos y la entrada de carbono al suelo a través de una mayor intensificación (mas cultivos por año y mayor proporción de gramíneas, uso de cultivos puente) o establecer sistemas mixtos agrícolas-ganaderos, serían herramientas de manejo claves para mantener y/o mejorar los niveles de MO actuales.

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos para los contenidos de MO (0-20 cm) para algunos suelos prístinos (Prist.) y agrícolas (Agric.) del noroeste y noreste argentino.

Grupo	n	CS	Cuantiles					Media	DS	Diferencia
			0,05	0,25	0,50	0,75	0,95			
			----- MO (%) -----							
								%		
1	45	Príst.	1,87	2,72	3,39	3,87	5,35	3,44 a	1,06	
	45	Agric.	2,03	2,35	2,73	3,01	3,44	2,72 b	0,50	-20,9
2	107	Príst.	2,19	2,8	3,26	3,68	4,64	3,26 a	0,7	
	107	Agric.	1,95	2,52	2,82	3,27	3,87	2,88 b	0,58	-11,7
3	46	Príst.	2,55	3,2	3,91	4,79	5,75	4,00 a	0,99	
	46	Agric.	1,83	2,58	2,87	3,25	3,80	2,88 b	0,58	-28,0
4	67	Príst.	2,59	3,1	3,63	4,21	5,11	3,69 a	0,81	
	67	Agric.	1,86	2,57	2,82	3,16	3,45	2,82 b	0,47	-23,6
5	30	Príst.	4,31	5,15	5,73	6,26	7,08	5,66 a	0,94	
	30	Agric.	3,51	3,87	3,99	4,47	4,68	4,11 b	0,4	-27,4

CS: condición de suelo; DS: desvío estándar; Diferencia: reducción de la MO en los suelos bajo agricultura en comparación con los suelos prístinos. Dentro de cada grupo valores con letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$  o  $0,01$ ) según el *test t*.

El pH del suelo mostró un comportamiento diferente según grupos. En los grupos 3 y 4 se determinó tendencia hacia una mayor acidificación (aunque no fue estadísticamente significativa) en los suelos bajo agricultura respecto a los suelos prístinos, mientras que en los restantes grupos este comportamiento fue inverso (**Tabla 2**). En los grupos 1 y 2, zonas con mayor temperatura y evapotranspiración anual, el aumento de pH de los suelos bajo agricultura fue del 3,4% al 5,6% (**Tabla 2**). Un estudio de suelos realizado en 2005-2006 en la región pampeana y extrapampeana ( $n = 30000$ ) informó que el 75% de los suelos del este de Tucumán y oeste de Salta mostraron valores de pH por debajo de 6,8 a 7,1 (Sainz Rozas et al., 2011), los que son inferiores a los determinados actualmente en dicha zona (G1; **Tabla 2**). Por otro lado, un estudio de clasificación de suelos realizado para el este y suroeste del Chaco (Carta de suelos del INTA, 1985) informó que la mayoría de los suelos tenían valores de pH por debajo de 6,8, valor inferior al informado para



dicha zona (G2; **Tabla 2**). Esto sugiere un proceso de alcalinización, lo cual es opuesto a lo informado para la región pampeana. El aumento del pH podría traer aparejado una disminución de la disponibilidad de micronutrientes como hierro, manganeso, cobre y cinc (Brady and Weil, 2008). En este sentido, Jobbágy et al. (2008) informaron que el ingreso de la agricultura reemplazando el monte nativo o al pastizal natural aumenta el drenaje profundo, seguido por ascensos graduales del nivel freático y una fuerte movilización de sales disueltas, lo que podría incrementar el pH si son sales sódicas. Esto podría disminuir la fertilidad de los suelos cuando los niveles freáticos y las sales movilizadas alcanzan la superficie. Según dichos autores esta vulnerabilidad hidrológica exige la compresión y el manejo de los ciclos del agua y las sales en sistemas bajo agricultura desde una perspectiva eco-hidrológica y plantea el desafío de desarrollar una “agronomía del agua” capaz de contribuir a la regulación de los niveles freáticos en los ecosistemas cultivados. Esto podría lograrse utilizando cultivos puentes con raíces profundas de manera de mantener el nivel freático por debajo de la zona de enraizamiento de los cultivos, además de proveer cobertura, lo que disminuiría la evaporación y, por ende, el ascenso freático.

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos para el pH (0-20 cm) para algunos suelos prístinos (Prist.) y agrícolas (Agric.) del noroeste y noreste argentino.

Grupo	n	CS	Cuantiles					Media	DS	Diferencia
			0,05	0,25	0,50	0,75	0,95			
										%
1	45	Príst.	5,92	6,70	7,20	7,80	8,38	7,25 b	0,80	
	45	Agric.	6,50	7,10	7,50	7,90	8,56	7,50 a	0,64	3,4
2	107	Príst.	6,20	6,60	7,00	7,30	7,80	7,00 b	0,52	
	107	Agric.	6,70	6,86	7,40	7,70	8,00	7,39 a	0,41	5,6
3	46	Príst.	5,25	6,32	6,75	7,20	7,87	6,73 a	0,72	
	46	Agric.	5,90	6,32	6,70	7,00	7,52	6,70 a	0,53	-0,4
4	67	Príst.	5,43	5,85	6,10	6,35	6,87	6,12 a	0,51	
	67	Agric.	5,60	5,8	6,00	6,25	6,97	6,09 a	0,41	-0,5
5	30	Príst.	5,79	6,42	6,75	7,00	7,25	6,67 b	0,46	
	30	Agric.	6,10	6,52	7,10	7,30	7,80	6,69 a	0,58	0,3

CS: condición de suelo; DS: desvío estándar; Diferencia: reducción del pH en los suelos bajo agricultura en comparación con los suelos prístinos. Dentro de cada grupo valores con letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$  o  $0,01$ ), según el *test t*.

Para los suelos en condición prístina, los valores de P-Bray variaron de 19 a 124 mg kg<sup>-1</sup>, correspondiendo el valor más bajo al G5 (norte de Entre Ríos; **Tabla 3**), resultado esperable en función de los bajos niveles de P del material original a partir del cual se desarrollaron estos suelos (Morras, 1996). En suelos bajo agricultura, los niveles de P-Bray variaron de 13 a 87 mg kg<sup>-1</sup>, correspondiendo el valor más bajo al G5 (norte de Entre Ríos, **Tabla 3**). Se determinaron

disminuciones significativas del P-Bray en todos los grupos, del 17% al 62% (**Tabla 3**). En el G4 y G5 (norte de Santa Fe y Entre Ríos, respectivamente), el 50% de los valores de P-Bray fue inferior a 20 y 10 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, lo que indica que en estas dos zonas el P podría ser limitante para la producción de los cultivos según los niveles críticos informados por García et al. (2014). Si bien en los demás grupos los niveles actuales de P-Bray duplican o triplican a los niveles críticos de la mayoría de los cultivos, la fuerte caída del P-Bray observada en los suelos de estas zonas con mucha menor historia agrícola que aquellos de la región pampeana, sugiere que se debe comenzar a monitorear el estado de esta variable a nivel de lote y comenzar a reponer este nutriente cuando la situación lo amerite. Esta práctica es muy poco frecuente en los sistemas productivos del NOA y NEA, ya que la adopción de la fertilización fosfatada es realizada aproximadamente por 40% de los productores (Fertilizar AC, 2022).

**Tabla 3.** Estadísticos descriptivos para la concentración de P-Bray (0-20 cm) para algunos suelos prístinos (Prist.) y agrícolas (Agric.) del noroeste y noreste argentino.

Grupo	n	CS	Cuantiles					Media	DS	Diferencia
			0,05	0,25	0,50	0,75	0,95			
			-----mg kg <sup>-1</sup> -----							
								%		
1	45	Príst.	16	39	72	107	169	82 a	54	
	45	Agric.	7	21	46	82	171	62 b	55	-24
2	107	Príst.	44	82	99	128	163	104 a	41	
	107	Agric.	34	55	78	117	149	87 b	40	-17
3	46	Príst.	58	86	119	164	222	124 a	53	
	46	Agric.	12	43	69	87	158	72 b	45	-42
4	67	Príst.	9	29	78	100	140	73 a	46	
	67	Agric.	5	13	20	32	74	28 b	22	-62
5	30	Príst.	4	5	7	18	74	19 a	26	
	30	Agric.	6	8	10	13	23	13 b	13	-33

CS: condición de suelo; DS: desvío estándar; Diferencia: reducción de la concentración de P-Bray en los suelos bajo agricultura en comparación con los suelos prístinos. Dentro de cada grupo valores con letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$  o  $0,01$ ), según el test no paramétrico de Wilcoxon.

## CONCLUSIONES

El avance de la agricultura hacia el NOA y NEA argentino ha provocado reducciones importantes en la MO (principal indicador de salud edáfica) de los suelos respecto a la condición prístina (hasta 28%). En dos de los cinco grupos evaluados el pH en los suelos bajo agricultura fue superior a aquellos en condición prístina, lo que podría ser consecuencia del ascenso freático, en casos donde los suelos permanecen con poca o nula cobertura viva o muerta la mayor parte del tiempo. Para fósforo, los niveles de P-Bray en suelos bajo agricultura también han disminuido

considerablemente respecto a aquellos en condición prístina (hasta 62%) y, en dos de los cinco grupos, estos niveles son limitantes para la producción agrícola.

Los resultados del presente relevamiento plantean la necesidad comenzar y/o intensificar el monitoreo de los niveles de materia orgánica, pH y P-Bray en la región del NEA y NOA argentino. Además, para revertir las tendencias observadas, se deben intensificar las secuencias de cultivos, evaluar la inclusión de cultivos puentes según el clima de cada zona o, inclusive generar planteos mixtos agrícola-ganaderos cuando sea posible.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a Fertilizar Asociación Civil por el financiamiento de la investigación.

### **BIBLIOGRAFÍA**

Aparicio, V.; E. De Gerónimo; F. Frolla; G. Domínguez; C. Galarza; P. Barbagelata; A. Irizar, A.; Costa, J.L.; Cerda, A. (2023). Depth distribution of soil, glyphosate, and aminomethylphosphonic acid (AMPA) properties and analysis of crop yield in six long-term experiments, *Journal of Soils and Sediments*, 1-17.

Aparicio, V. C.; S. Aimar; E. De Gerónimo; M.J. Mendez; J.L. Costa. (2018). Glyphosate and AMPA concentrations in wind-blown material under field conditions. *Land Degradation & Development*, 29(5), 1317-1326.

Bilisy, R.L., S. Nokes ; S.R. Workman. (1997). Statistical treatment of soil chemical concentration data (Vol. 26, No. 3, pp. 877-883). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.

Brady, N.; R. Weil. 1998. *Soil Acidity. The Nature and Properties of soil*. 14th ed. Prentice-Hall, inc. Simona and Schuster A Viacon Company. Upper Saddle River, New Jersey, USA.

Bray, R.H. & L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.

De Abelleira D; S. Verón; S. Banchemo; M. Iturralde Elortegui; S. Valiente; O. Puig; F. Murray; J.P.; Martini; K. Zelaya; D. Maidana; N. Varlamoff; J. Peiretti; P. Benedetti; J. Portillo; M. Melilli; E. Maidana; Y. Goytía; V. Sapino; A. Regonat; F. Cracogna; C. Espíndola; M. Parodi; F. Colombo; J. Scarel; J. Ayala; L. Martins; M. Basanta; A. Rausch; G. Almada; L. Boero; J. Calcha; A. Chiavassa; M. Lopez de Sabando; D. Kurtz; F. Marini; S. Sarrailhe; M. Petek; T. Propato; A. Ferraina; A. Pezzola; C. Winschel; S. Muñoz; J. Mesa; J. Volante. 2021. Mapa Nacional de Cultivos campaña 2020/2021, Colección 1, Versión 1.0, Informe, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina. <http://www.geointa.inta.gob.ar/2021/09/07/mapa-nacional-de-cultivos-campana-2020-2021/>. Ultima revisión: abril 2023.

De Gerónimo, E.; V.C Aparicio. (2022). Changes in soil pH and addition of inorganic phosphate affect glyphosate adsorption in agricultural soil. *European Journal of Soil Science*, 73(1), e13188.



- Fixen, P.E. 1998. Technology in perspective-a customer focus. Fertilizer Industry Federation of Australia, Inc., conference technology and training-transforming tomorrow. Oct. 18-21, pp. 41-47.
- García F.O.; L. Picone; I.A. Ciampitti. 2014. Fósforo. En Echeverría H. E. y F.O. García (ed.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. 2a. Edición. Buenos Aires, Argentina. ISBN 9-789875-215658. p. 229-264.
- Guggenberger, G.; W. Zech; L. Haumaier; B.T Christensen. (1995). Land-use effects on the composition of organic matter in particle-size separates of soils: II. CPMAS and solution <sup>13</sup>C NMR analysis. *European Journal of Soil Science*, 46(1), 147-158.
- Hernández Guijarro K.; F. Covacevich; V.C Aparicio, E. De Gerónimo. 2018. Bacterias nativas del suelo con potencial para la degradación de glifosato y promoción del crecimiento vegetal. *Ciencia del Suelo*, versión On-line ISSN 1850-2067.
- Hernández Guijarro, K.; V. Aparicio; E. De Gerónimo; M. Castellote; E.L. Figuerola; J.L. Costa; L. Erijman. (2018). Soil microbial communities and glyphosate decay in soils with different herbicide application history. *Science of the Total Environment*, 634, 974-982.
- Jobbágy, E.; M. Noretto; C. Santoni; G. Baldi. 2008. El desafío ecohidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. Diciembre de 2008 *Ecohidrología de llanuras y cambio de vegetación. Ecología Austral* 18: 305-322.
- MAGyP, 2023. Estimaciones Agrícolas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Presidencia de la Nación <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>. Consultado en abril de 2023.
- Morrás H. 1996. Diferenciación de sedimentos superficiales en la región pampeana en base a los contenidos de fósforo y potasio, Acta VI Reunión Argentina de Sedimentología, p, 34 – 42, Bahía Blanca, Buenos Aires, 16-27 de mayo.
- Panigatti, J.L. (2010). Argentina: 200 años, 200 suelos (No. P32 INTA 18474 y CD 67). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires (Argentina).
- Picone L. 2014. El ambiente físico-químico del suelo relacionado con la fertilidad. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.) Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2da Edición. Cap. 1, p. 31-51. Ediciones INTA. 2015. ISBN: 978-987-521-565-8. Buenos Aires, Argentina.
- R Core Team (2023), R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <https://www.R-project.org/>,
- R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sainz Rosas, H.; H.E. Echeverría; H.P. Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana Argentina. *Ciencia del Suelo*, 29 (1):29-37.

- Sainz Rozas, H.; Eyherabide, M.; G. Larrea; N. Martínez Cuesta; H. Angelini; N. Reussi Calvo; H. E. Echeverría; N. Wyngaard. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. Argentina. Buenos Aires. 2019. Libro. Otro. Simposio. Simposio de Fertilidad 2019. Fertilizar Asociación Civil.
- San Juan, M.F.; S.M. Lavarías; V.C. Aparicio; K. Larsen; J.C Lerner; A. Cortelezzi. (2023). Ecological risk assessment of pesticides in sediments of Pampean streams, Argentina. *Chemosphere*, 313, 137598.
- Satorre E. y F. H. Andrade. 2021. Cambios productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años. *Ciencia del Suelo*. Volumen 29 número 173:19-27.
- Schulte, E.E.; B.G. Hopkins. 1996. Estimation of organic matter by weight loss-on-ignition, In: FR Magdoff et al,(ed) *Soil organic matter: Analysis and interpretation*, SSSA Spec, Publ, 46, SSSA, Madison, WI, P 21-31.
- Six, J.; C. Feller; K. Deneff; S.M. Ogle; J.C. S´a Moraes; A. Albrecht. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – effects of no-tillage. *Agronomie*. 22, 755–775. <https://doi.org/10.1051/agro:2002043>.
- Weil, R.R., Magdoff, F. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. In Magdoff, F.; Weil, R.R. (eds.). *Soil organic matter in sustainable agriculture*. Boca Ratón, Florida, Estados Unidos: CRC Press. pp. 1-43.