



## EVALUACIÓN DEL ENCALADO SOBRE LA ACIDEZ DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

**Gudelj, V. J<sup>1</sup>., H. Ghío<sup>2</sup>, M. Castagnino<sup>2</sup>, J. Orazi<sup>2</sup>, R. Garcia<sup>2</sup>, M. Pelagagge<sup>2</sup>, J. Aletta de Sylvas<sup>3</sup>, F. Bardeggia<sup>2</sup>, G. Beltramo<sup>2</sup>, M.B. Conde<sup>1</sup>, O.E. Gudelj<sup>1</sup>, C.A. Lorenzon<sup>1</sup>, R.D. Seravalle<sup>1</sup>, L.A. Pereyra<sup>1</sup>, F. Garcia<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> EEA Marcos Juárez (INTA); <sup>2</sup> Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID); <sup>3</sup> Empresa Nutrient; <sup>4</sup> Consultor-FCA (UNNDP).

[gudelj.vicente@inta.gob.ar](mailto:gudelj.vicente@inta.gob.ar)

### RESUMEN

En el ciclo 2019-2020 se instalaron cinco experimentos de encalado en campo de productores en el sudeste de Córdoba. Los mismos tuvieron una duración de tres años culminando en el ciclo 2021-2022. Los tratamientos evaluados fueron: Testigo, 500 kg/ha de dolomita aplicación anual, 1500 kg/ha de dolomita aplicación inicial, 1050 kg/ha de dolomita + 450 kg/ha de yeso aplicación inicial. Las variables estudiadas fueron pH del suelo en los estratos de 0-5, 5-10 y 0-20 cm de profundidad y el rendimiento de los cultivos. El encalado aumentó levemente el pH del suelo en algunos de los sitios seleccionados, pero en la mayoría no incidió. Los cambios mayormente ocurrieron en los estratos superficiales. Cuando hubo modificación en el pH por el encalado no hubo diferencias entre fuentes ni entre momentos de aplicación de la enmienda. La falta de respuesta al encalado y los altos valores de rendimientos obtenidos estarían indicando que, si bien los valores de pH están en el límite del óptimo, aún no estarían afectando el desempeño de los cultivos, insinuando que la capacidad buffer de los suelos en estudio están morigerando el problema.

**PALABRAS CLAVE: ENCALADO, ACIDIFICACIÓN, RENDIMIENTO DE CULTIVOS**

### INTRODUCCION

El proceso de agriculturización iniciado a mediados de la década de 1970 originó cambios físico químicos en los suelos de la zona núcleo agrícola argentina. Uno de esos cambios es la acidificación de los mismos, como consecuencia de la exportación de bases: calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) sin reposición de las mismas mediante la fertilización y la utilización de fertilizantes amoniacales con alto índice de acidez como el sulfato de amonio y la urea. También la mineralización de la materia orgánica (MO) al producir  $\text{NH}_4^+$  en suelos con adecuada aireación se oxida a  $\text{NO}_3^-$  y libera  $\text{H}^+$ , que puede intercambiarse con el Ca y/o Mg de los coloides del suelo generando lixiviación de bases y acidificación del suelo (Vásquez y col, 2014). Por lo tanto, el laboreo al airear el suelo promueve la mineralización de la MO contribuyendo también a la acidificación del mismo. Aunque pareciera ser que lo que más incide es la aplicación de fertilizantes amoniacales en alta dosis, es decir con balances positivos. Experiencia de 16 años (1986-2002) en suelo Argiudol típico comparando labranzas combinadas y siembra directa no mostró diferencias significativas en el pH del suelo entre la situación inicial y final en ninguno de los tratamientos evaluados. Además del balance negativo de NPS, hubo una necesidad importante de Ca y Mg de la cual solo el 22% se llevaron los granos y el resto se restituyó con los rastrojos al suelo, sugiriendo un aporte de bases del sub-



suelo en los 18 cm superficiales donde se tomó la muestra que pudo haber morigerado la acidificación (Gudelj y col. 2002). Otras experiencias en el mismo tipo de suelo comparando testigo sin fertilizar, NPS balance negativo y NPS balance positivo para la secuencia M-T/S en siembra directa, mostraron luego de 14 años que el tratamiento testigo tenía valores de pH significativamente mayores en todas las profundidades evaluadas respecto del tratamiento NPS positivo y en superficie respecto de NPS negativo (Gudelj y col 2017). También habría un efecto tampón de los suelos, asociados a la textura (contenido de arcillas) (Chien 2009); los suelos de textura gruesa con menor capacidad de intercambio catiónico y reserva de bases en general serían más propensos a padecer la problemática (Hernández y col. 2006). Dada la baja solubilidad de los correctores calcáreos de la acidez en planteos de siembra directa se podría mejorar la solubilidad adicionando yeso (Hernández y col. 2006). Distintos experimentos demostraron la factibilidad de disminuir la acidez mediante el encalado incorporado al suelo (Gambaudo y col. 2001; Torella y col. 2007). En Otros, en planteos de siembra directa, donde los correctores se aplicaron al voleo sin incorporación, no hubo modificación del pH cuando se utilizó calcita o dolomita (Girón y col. 2016) pero si cuando a la dolomita se le adicionó yeso (Machetti y col. 2019). En cuanto a los rendimientos de los cultivos hubo aumentos significativos por la aplicación de material calcáreo (Gambaudo y col. 2001 y Girón y col. 2016) y en uno de dos experimentos realizados (Machetti y col. 2019). Dado el sostenido proceso de agriculturización con aplicación de fertilizantes, como así también los bajos valores de pH observados en los análisis de suelo de lotes de productores y las evidencias de efectos beneficiosos logrados en otras áreas agrícolas, es que se cree conveniente experimentar con el encalado de suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del encalado utilizando dolomita (granucal) sobre la acidez del suelo y el rendimiento de los cultivos durante tres años en cinco sitios ubicados en el Sudeste de Córdoba.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

En el ciclo 2019-2020 se instalaron cinco experimentos de encalado en campo de productores en el sudeste de Córdoba, que tuvieron una duración de tres años culminando en el ciclo 2021-2022. Las descripciones de los suelos de cada sitio seleccionado, los análisis químicos de suelos iniciales, realizados en el laboratorio de INTA Castelar, y las secuencias de cultivo utilizada en cada sitio se presentan en la tabla 1. Los ensayos se implantaron y cosecharon con máquina del productor de cada sitio. Las parcelas tuvieron una dimensión de 23 m de ancho por 100 metros de largo en todos los sitios excepto en Corral de Bustos donde el largo fue de 300 metros. Los productos utilizados para enmendar fueron dolomita  $MgCa(CO_3)$  (Granucal) y yeso  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  (Azufertil) ambos provistos por la Empresa Nutrient que fue la encargada de aplicarlos en superficie con equipo neumático Rogator 1300. Granucal es un producto granulado (2-3 mm) que contiene 20,5 % de calcio y 10,7 % de magnesio. Azufertil granulado (2-4 mm) 18 % S y 23% Ca. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: Testigo sin encalar, dolomita 500 kg/ha anual, aplicado todos los años antes de la siembra, dolomita 1500 kg/ha y dolomita 1050 kg/ha + yeso 450 kg/ha aplicados estos dos últimos tratamientos en el inicio de la experiencia (2019) antes de la siembra del primer cultivo. En el sitio Corral de Bustos solo se ensayaron los tres primeros tratamientos. Los ensayos tuvieron un diseño en bloques aleatorizados con 3 repeticiones y para el análisis de los resultados se realizaron análisis de variancias con modelos lineales mixtos, comparación de medias con test Lsd de Fisher (5%) con software infostat. Si bien se midieron muchas otras variables, en este trabajo se analiza la acidez del suelo medida a través del pH (1:2,5 suelo: agua) en tres profundidades (0-5, 5-10 y 0-20 cm) y los rendimientos de los cultivos (kg/ha).

Tabla1: Características de los suelos donde se realizaron los experimentos, análisis químico 0-20 cm al comienzo del experimento 2019 y secuencias de cultivos utilizadas

	SITIOS				
	Marcos Juárez	Los Surgentes	Corral de Bustos	Monte Buey	Justiniano Posse
Serie de Suelo	Marcos Juárez	Hansen 2	Hansen	Monte Buey	Ordoñez
Drenaje	bien drenado	bien drenado	bien drenado	bien drenado	Bien drenado
Tipo de suelo	Argiudol típico B moderadamente textural	Argiudol típico B moderadamente textural	Argiudol típico B moderadamente textural	Argiudol típico B levemente textural	Hapludol típico, sin B textural
<b>Horizonte A</b> Textura	Franco limosa	Franco limosa	Franco limosa	Franco limosa	Franco limosa
% arcilla	25,1	22,9	22,9	24,1	22,5
% limo	68,9	62,1	62,1	62,4	55,4
% arena	6	15	15	13,5	22
% mat. org.	1,86	1,94	2,35	1,81	1,64
pH	5,5	5,4	5,2	5,5	5,3
CIC	23,4	21,4	20,9	18	17,6
Cmol/kg Ca	13,4	11,2	11,4	10,7	6,4
Cmol/kg Mg	3,9	2,9	3,5	2,6	4,1
Cmol/kg Na	0,4	0,8	0,7	0,7	0,8
Cmol/kg K	2	1,5	1,7	2,1	1,9
<b>Secuencia</b> 2019-2020 2020-2021 2021-2022	maíz trigo-soja maíz	maíz maíz soja	trigo-soja Maíz trigo-soja	soja trigo-soja maíz	soja trigo-soja maíz

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se muestran los resultados del análisis de la acidez del suelo determinada a través de mediciones de pH en tres estratos al final de la experiencia, otoño 2022. No se observaron diferencias importantes entre tratamientos en cada sitio. De 0-5 cm hubo dos sitios en los que los tratamientos encalados no se diferenciaron entre sí, pero tuvieron un pH superior al testigo sin encalar superándolo significativamente en 0,42 y 0,28 puntos en Los Surgentes y Monte Buey respectivamente. Algo similar ocurrió de 5-10 cm en Justiniano Posse donde los tratamientos de encalado no se diferenciaron entre sí, pero si significativamente del tratamiento testigo al que superaron en promedio en 0,4 punto de pH. De 0-20 cm solo se observaron diferencias en el sitio Los Surgentes en el que los tratamientos con encalado no se diferenciaron entre sí, pero en promedio superaron significativamente en 0,24 punto de pH al testigo sin encalar.

En la tabla 3 se presentan los resultados de rendimiento de los cultivos en cada sitio y ciclo en el que se realizó el estudio y en la tabla 4 la producción total en cada sitio proveniente de la sumatoria de todos los cultivos en los tres años de estudio. En ningún caso se observó diferencias significativas entre tratamientos evaluados para un mismo sitio/ciclo o sitio. Si bien los valores de pH no estaban en el óptimo, estaban cercanos al mismo, según Picone (2015) para la mayoría de los cultivos el pH óptimo se encuentra entre 5,5 y 8,3. Estos resultados también estarían indicando que estos suelos tienen un gran poder buffer producto, en la mayoría de los casos, de sus altas saturaciones de bases en el complejo de intercambio. En el análisis inicial de suelo se puede observar que en todos los casos el porcentaje de satura-

Tabla 2: valores de pH en los estratos 0-5, 5-10, y 0-20 cm al final de los experimentos en los cinco sitios. Letras diferentes en sentido horizontal indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada sitio según test LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ).

SITIOS	Profundidad (cm)	TRATAMIENTOS			
		Testigo	500 kg D aplicación. anual	1500 kg D aplicación inicial 2019	1050 kg D + 450 kg A Aplicación inicial 2019
Marcos Juárez	0-5	5,27	5,43	5,43	5,57
	5-10	5,37	5,50	5,53	5,57
	0-20	5,30	5,60	5,50	5,55
Los Surgentes	0-5	5,57 b	5,93 a	6,03 a	6 a
	5-10	5,87	5,83	5,90	5,83
	0-20	5,67 b	5,93 a	5,90 a	5,90 a
Corral de Bustos	0-5	5,47	5,47	5,63	
	5-10	5,57	5,47	5,63	
	0-20	5,50	5,60	5,53	
Monte Buey	0-5	5,20 b	5,53 a	5,37 ab	5,53 a
	5-10	5,50	5,70	5,67	5,67
	0-20	5,90	6,00	5,87	5,90
Justiniano Posse	0-5	5,27	5,30	5,37	5,33
	5-10	5,27 b	5,60 a	5,67 a	5,73 a
	0-20	5,43	5,57	5,40	5,77

Tabla 3: Rendimiento de los cultivos (kg/ha) en cada sitio en los tres ciclos

Sitio-Ciclo-Cultivo	TRATAMIENTOS			
	Testigo	500 kg D aplicación. anual	1500 kg D aplicación inicial 2019	1050 kg D + 450 kg A Aplicación inicial 2019
MsJz - 2019/20 -Mz	14258	15138	14709	14709
LS - 2019/20 - Mz.	10638	10761	10886	10319
CB - 2019/20 - T	5295	5321	5207	
CB - 2019/20 - S2	5026	5080	5026	
MB - 2019/20 - S1	5704	5793	5729	5795
JP - 2019/20 - S1	5089	5300	5324	5114
MsJz - 2020/21 -T	5017	4421	4417	4532
MsJz - 2020/21 -S2	4623	4867	4623	4677
LS -2020/21 - Mz.	11521	11602	12524	11514
CB - 2020/21 - Mz	14089	14018	14160	
MB - 2020/21 - T	3084	3074	3278	3241
MB - 2020/21 - S2	4047	3878	3763	4013
JP - 2020/21 - T	2687	2618	2878	2653
JP - 2020/21 - S2	3169	3133	3062	3016
MsJz - 2020/21 -M	12580	13438	13326	12510
LS -2020/21 - S1	4926	4741	5269	5124
CB - 2020/21 - T	6573	6566	6687	
CB - 2020/21 - S2	3822	3782	3816	
MB - 2020/21 - M	12714	12718	12404	12522
JP - 2020/21 - M	12143	11976	12173	11898

ción de la CIC para Ca y Mg son satisfactorios excepto en Justiniano Posse donde el porcentaje de saturación con Ca estuvo en el 36,4 %. Considerando el porcentaje de saturación total de la CIC inicial en cada sitio y un porcentaje de saturación de bases deseado de 85 % la necesidad de encalado para esos lotes hubiera sido: 2148, 2112, 558, 228 y 0 kg/ha de CO<sub>3</sub> de Ca para Los Surgentes, Justiniano Posse, Corral de Bustos, Marcos Juárez y Monte Buey respectivamente. Eso es lo teórico, pero en la práctica no hubo respuesta en los rendimientos al encalar los suelos, lo que indicaría la capacidad buffer de estos suelos para el buen funcionamiento de los cultivos, que se refuerza más aún dados los altos rendimientos obtenidos, ya que el promedio de todos los sitios experimentales considerando todos los años de estudio fue superior en un 28, 49, 35, y 30 % para maíz, trigo, soja de segunda y soja de primera respectivamente, al compararlos con los de la media del departamento Marcos Juárez (Estimaciones Agrícolas Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca)

Tabla 4: Producción total (kg/ha) por sitio proveniente de la sumatoria de las producciones anuales en cada sitio para cada tratamiento.

SITIO	PRODUCCION TOTAL kg/ha			
	Testigo	500 kg D aplicación. anual	1500 kg D aplicación inicial 2019	1050 kg D + 450 kg A Aplicación inicial 2019
Marcos Juárez	36480	37864	37076	36428
Los Surgentes	27086	27206	28680	26958
Corral de Bustos	34806	34767	34898	
Monte Buey	25549	25463	25174	25571
Justiniano Posse	23089	23028	23437	22681

## CONCLUSIONES

El encalado aumentó levemente el pH del suelo en algunos de los sitios seleccionados, pero en la mayoría no incidió. Los cambios mayormente ocurrieron en los estratos superficiales. Cuando hubo modificación en el pH por el encalado no hubo diferencias entre fuentes ni entre momentos de aplicación de la enmienda. La falta de respuesta al encalado y los altos valores de rendimientos obtenidos estarían indicando que, si bien los valores de pH están en el límite del óptimo, aún no estarían afectando el desempeño de los cultivos, insinuando que la capacidad buffer de los suelos en estudio están morigerando el problema.

## BIBLIOGRAFIA

- Chien, SH; MM Gearhart & DJ Chemicals. 2009. Acidez generada por los fertilizantes nitrogenados: Nueva evaluación de los requerimientos de cal. Informaciones Agronómicas del cono Sur n° 41.
- MINAGRI. 2022. Estimaciones Agrícolas Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>
- Gambaudo, S; A Zampar; L Tomatis & O Quaino. 2001. Respuesta de la alfalfa a la aplicación de dos enmiendas calcáreas. Informaciones Agronómicas del cono Sur n° 12.
- Girón, P; A Macchiavello; M Barraco; C Ottaviano; D Ferro & M Vásquez. 2016. Aplicación de correctores básicos y fertilizantes cálcico-magnésico en el cultivo de Soja.
- Gudelj, VJ; H Ghio; O Gudelj; C Lorenzon; MB Conde; JP Ioele; C Galarza; P Vallone; P Tamburrini & F Garcia. 2017. Evaluación de reposición de nutrientes en experimentos de larga duración del Sudeste de Córdoba: Ensayos de larga duración en Argentina: un aporte

- al logro de sistemas agrícolas sustentables. Hugo Krüger ... [et al.]; compilado por Fernando Salvaggiotti; Hugo Krüger; Guillermo Studdert. - 1a ed. – Entre Ríos: Ediciones INTA, 2017. Libro digital, PDF.
- Gudelj, VJ; C Galarza; G Espoturno; P Vallone; O Gudelj; B Masiero; H Ghio. 2002. 16 años de Experiencias de Fertilización en Siembra Directa. Ensayos de Larga duración. Actas X Congreso Nacional de Aapresid. 13 al 16 de agosto de 2002. Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Hernández, J; M Vázquez; A Terminiello; M García. 2006. Movimiento descendente de bases en un suelo tratado con correctores de acidez y yeso. XX Congreso Argentino de Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy.
- Machetti, N; AE Pellegrini; NM Gutiérrez; RA Giraud; F Tropeano; F Fernández; ME Vázquez; DJ. Cosentino. 2019. Efecto del encalado sobre propiedades químicas y físicas del suelo y sobre el rendimiento de soja (*Glycine max*). *Ciencia Suelo (Argentina)* 37 (2): 372-382.
- Picone, LI. 2014. El ambiente físico-químico del suelo relacionado con la fertilidad: en fertilidad de suelos y fertilización de cultivos 2ª edición. Editores Echeverría E y Garcia F. Ed. INTA Argentina, p. 31-51 904 p
- Torella, JL; R Garuzzo & EC Faita. 2007. Efecto del encalado sobre las propiedades químicas del suelo y la germinación del trébol rojo (*Trifolium pratense*). *Informaciones Agronómicas del cono Sur* nº 36.
- Vásquez, M y A Pagani. 2014. Calcio y magnesio. Manejo de fertilización y enmiendas: en fertilidad de suelos y fertilización de cultivos 2ª edición. Editores Echeverría E y Garcia F. Ed. INTA Argentina, p. 317-350 904.