

## Indicadores de calidad en suelos con trigo bajo siembra directa

Juan Manuel Martínez; Fernando López; María Rosa Landriscini; Matías Duval; Juan A. Galantini

*En los suelos agrícolas la calidad está dada por su potencial para permitir el desarrollo de los cultivos, sin causar degradación del suelo ni deteriorar el ambiente. Algunas propiedades físicas, químicas y biológicas pueden ser buenos indicadores aunque no siempre universalmente aplicable.*



### La calidad del suelo

Actualmente resulta necesario contar con información científica que permita seleccionar indicadores adecuados para desarrollar índices a fin de evaluar correctamente la calidad de los suelos (CS) (Duval et al., 2013). La CS se define como la capacidad para funcionar dentro de ciertos límites del ecosistema (Toledo et al., 2013; Martínez et al., 2016a), sustentar la productividad biológica, mantener la calidad del agua y del aire, además de promover la salud de plantas, animales y humanos (Doran & Parkin, 1994; Karlen et al., 1997). Con respecto al nivel productivo, una deseable calidad de suelos se refiere a una alta productividad sin degradación del suelo o el ambiente (Govaerts et al., 2006). En los suelos agrícolas la calidad estará dada por su potencial para permitir el desarrollo de los cultivos, sin causar degradación del suelo ni deteriorar el ambiente. Las propiedades físicas, químicas y biológicas pueden ser buenos indicadores de CS aunque la mayoría no son universales, y son variables con el ambiente y características edáficas bióticas y abióticas (Shukla et al., 2005). Los indicadores de CS más efectivos probablemente varían acorde a la región, clima y sistema de producción (Parr et al., 1992). Sin embargo, debido a la imposibilidad de considerar todas estas propiedades juntas, es necesario hacer una selección de los indicadores más importantes. En tal sentido, la materia orgánica del suelo (MO), principalmente, sus fracciones más lábiles, como la MO particulada (MOP) y los carbohidratos- se consideran importantes indicadores tempranos de la CS y de la sustentabilidad (Duval et al., 2013).

La MO es una propiedad relativamente sencilla de medir y al mismo tiempo, se puede caracterizar de muchas maneras diferentes. Gregorich et al. (1994) y Bolinder et al. (1999) han sugerido que la MO puede ser apropiada para evaluar cambios en CS pero además hay que considerar otra serie de propiedades relacionadas que podrían llegar a estar más

estrechamente vinculadas con funciones específicas que modifican la CS. Dichos autores sugieren incluir, al carbono orgánico (CO) particulado (COP), fracciones livianas de N, carbono y nitrógeno (N) mineralizable, biomasa microbiana, carbohidratos y enzimas del suelo.

Diferentes autores han definido una serie de requisitos o pautas específicas que deben cumplir los parámetros evaluados para ser considerados indicadores. Según Dalal (1998) supone que un buen indicador debe medir una o más funciones del suelo; ser lo suficientemente sensible para reflejar los cambios debidos a perturbación, restauración o manejo; facilitar la referencia de valores críticos o umbrales; ser fácilmente interpretables; ser fácil y barato de obtener analíticamente.

El cultivo de trigo es la base de los sistemas productivos en una amplia región del Sudoeste bonaerense (Martínez et al., 2012, 2015). En las regiones semiáridas y subhúmedas, la principal limitante productiva es la disponibilidad de agua debido a la variabilidad de las precipitaciones. Además, la intensificación de la agricultura en los últimos años ha ido en detrimento del contenido de MO, afectando aún más los factores de producción. En estos casos, es necesario conocer cuáles son las propiedades edáficas tendientes a maximizar la producción, logrando una mayor sostenibilidad de los sistemas.

Debido a que muchas de las propiedades edáficas que contribuyen a explicar el rendimiento del cultivo se encuentran altamente correlacionadas, es necesario llevar a cabo una evaluación mediante métodos estadísticos que consideren todas estas variables simultáneamente y la correlación entre ellas (Bredja et al., 2000; Landriscini et al., 2015), permitiendo establecer cuáles son aquellas propiedades que maximizan el rendimiento. El análisis de componentes principales (CP) construye nuevas variables no correlacionadas o componentes principales, basándose en la matriz de correlación. Esta técnica examina todos los datos en un espacio de menor dimensión al espacio original de las variables, identificando las propiedades más sensibles en los tratamientos estudiados.

En el sudoeste bonaerense donde los recursos -como el agua disponible- son limitados, se desconocen en detalle cuáles son los indicadores que permitan observar el efecto de la agriculturización y de la siembra directa (SD) sobre la productividad de estos suelos. El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes indicadores químicos, físicos y biológicos de la CS asociados a la productividad del trigo y determinar cuáles son los más importantes en suelos bajo SD del sudoeste bonaerense.

## **Aspectos metodológicos**

Durante los años 2010 y 2011 se muestrearon 27 lotes de productores destinados al cultivo de trigo bajo SD, situados en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires, en lo que comprende la región semiárida bonaerense. Las características de los sitios y lotes se encuentran en la Tabla 1. Los suelos se muestrearon en 0-20 cm al momento de la siembra del cultivo en tres puntos de muestreo georeferenciados en un radio de 50 m, en cada uno de los lotes. En cada punto de muestreo se tomó una muestra compuesta de suelo (15-20 submuestras). Las muestras de suelo se secaron al aire y se tamizaron por 2 mm. Luego, se evaluó como indicadores químicos: carbono orgánico total (COT) por combustión seca con analizador automático (Leco), N total (Nt) del suelo (Bremner & Mulvaney, 1982), pH y fosforo extraíble (Pe, Bray & Kurtz, 1949). Con respecto a los indicadores físicos se analizó: contenido de agua del suelo al momento de la siembra (AS) y granulometría por tamaño de partículas por fraccionamiento físico del suelo (Duval et al., 2013), obteniendo las fracciones: arenas y limo+arcilla. Como indicadores biológicos se evaluó: N potencialmente mineralizable medido como N anaeróbico (Nan) (Martínez et al., 2017), carbono orgánico particulado grueso (COPg, > 100 micrones) y particulado fino (COPf, < 53 micrones) (Duval et al., 2013), e hidratos de C (CH) totales y solubles (CHt y CHs, respectivamente) (Puget et al., 1999). Al final del ciclo se obtuvieron 2 muestras compuestas de 2 m lineales trigo, para estimar el rendimiento de grano.

El análisis estadístico se basó en el uso de componentes principales (CP) utilizando a todos los indicadores químicos, físicos y biológicos como variables; y al rendimiento en grano como variable de clasificación. Se seleccionaron todos los CP > 1 y dentro de cada uno se seleccionó a las variables con los mayores autovectores y aquellas en que la distancia con era hasta un 10% con respecto a la más elevada (Li et al., 2013). El análisis estadístico se realizó con el software Infostat (Di Rienzo et al., 2013).

## **Resultados y discusión**

Los suelos evaluados tuvieron un nivel de MO en el rango 16 a 27,4 g kg<sup>-1</sup>. El pH fue de ligeramente ácido a neutro (6,1- 7,2), condición típica de los suelos de la región (Landriscini et al., 2015). La concentración de Pe de los suelos, en general se encontró por encima del límite de 10 mg kg<sup>-1</sup> para la en 0-12 cm, establecido por Ron & Loewy (1990), salvo en el sitio P donde se reportaron menores valores promedios (6,9 mg kg<sup>-1</sup>). Los rendimientos del

trigo oscilaron entre 1882 kg ha<sup>-1</sup> y 3469 kg ha<sup>-1</sup> con un promedio de 2445 kg ha<sup>-1</sup>. Los mayores rendimientos se hallaron en el sitio P, mientras que los menores en CR (Figura 1).

Tabla 1. Características generales y climáticas de los sitios seleccionados.

Sitio	n	Clasificación Taxonómica	Cultivo antecesor %	Temperatura			Pp.	
				media	máx	mín	Anual	Ciclo
				°C			mm	
García del Río (GR)	2	Haplustol Típico	Avena (50); Soja (50)	14,9	21,3	8,5	690	353
Las Oscuras (LO)	17	Argiustol Típico	Trigo (60); Arveja (20); Maíz (20)	15,0	21,4	8,6	669	317
Cnel. Rosales (CR)	4	Haplustol Entico	Cebada (100)	14,9	21,3	8,6	664	285
Cnel. Pringles (P)	4	Haplustol Típico	Trigo (60); Cebada (20); Mijo(20)	14,8	21,1	8,4	686	331

n, número de lotes por sitio. Cultivo antecesor, % de cada cultivo antecesor en los n lotes por sitio; Pp. Precipitaciones. Ciclo, precipitaciones durante el ciclo del cultivo

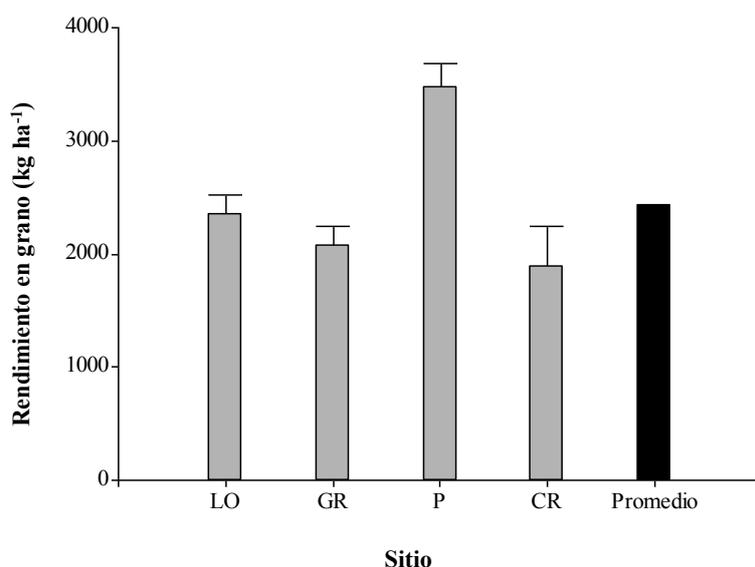


Figura 1. Rendimientos promedios (kg ha<sup>-1</sup>) de trigo por sitio y promedio de todos los sitios. Barras verticales indican desvío estándar en cada sitio.

El análisis de CP permitió explicar un 77% de la variabilidad total en el rendimiento en grano (Tabla 2), agrupando los primeros cuatro CP con autovalores > 1. Dentro de las variables seleccionadas como indicadores de calidad encontramos al contenido de arena, CHt y CHs para CP1; Nt, pH, arena y limo+arcilla en CP2, Pe en CP3 y COPg en CP4.

La selección de 4 CP con autovalores > 1 es dada por la elevada variabilidad de las propiedades químicas físicas y biológicas en los diferentes lotes evaluados (Li et al., 2013) sumado a la variabilidad obtenida en los rendimientos de trigo, característico de la región

semiárida. Dentro de los indicadores seleccionados el más importante en el caso del CP1 fueron los CHs, siendo el indicador de calidad más importante para estos suelos con trigo. Esta es una fracción altamente lábil y sensible por las prácticas de manejo (Duval et al., 2013; Martínez et al., 2016b). Además, Angers et al. (1993) sugirieron que existe un enriquecimiento de CH en la MO bajo el sistema SD, por lo que sería importante cuantificarlos bajo este sistema de labranza. En el CP2 se encontró a las fracciones granulométricas y al pH. Estos resultados coinciden a los hallados con Li et al. (2013), quienes concluyeron que todos los factores que regulan el agua, los nutrientes y la absorción de nutrientes por el cultivo, son importantes indicadores de la calidad de suelos. En este caso la condición textural y el pH cumplen una parte importante sobre el agua y la disponibilidad de nutrientes. Por su parte, Schoenholtz et al. (2000) concluyeron que la textura es el indicador de calidad más importante.

Tabla 2. Análisis de componentes principales con los indicadores para rendimiento de trigo.

	Rendimiento de trigo			
	CP1	CP2	CP3	CP4
Autovalores	4,59	2,02	1,5	1,16
Proporción de Varianza	0,38	0,17	0,12	0,1
Varianza acumulada	0,38	0,55	0,68	0,77
Variables	Autovectores			
COT	0,32	-0,03	0,31	0,24
Nt	0,30	-0,35	-0,002	0,08
pH	-0,03	<u>0,38</u>	-0,35	0,35
Pe	0,02	-0,24	<u>0,55</u>	0,44
AS	0,33	0,30	-0,06	-0,03
Arenas	<u>-0,35</u>	<u>-0,39</u>	-0,17	-0,03
Limo+arcilla	0,34	<u>0,39</u>	0,16	0,02
COPg	0,01	-0,13	-0,43	<u>0,68</u>
COPf	0,34	0,03	-0,37	-0,13
Npm	0,27	-0,34	-0,17	-0,36
CHt	<u>0,36</u>	-0,06	0,12	-0,01
CHs	<u>0,38</u>	-0,33	-0,22	0,09

Subrayados, se indican las variables con mayores autovectores por cada CP generado.

Para el CP3 se halló al Pe y esto puede ser explicado por la influencia de los indicadores en el CP2, que regulan la disponibilidad del fósforo. Mientras, que en el CP4 con menor explicación de la variabilidad total se encontró al COPg, debido a que en estas regiones debido a la erraticidad de las precipitaciones, existe mucha variabilidad en los aportes de C lábil de los residuos de cultivos y generalmente son escasos, en eso radica esa menor importancia en el rendimiento. Esto demuestra que a pesar de ser un indicador sensible e importante para otros suelos (Duval et al., 2013), en este caso debido a la baja explicación de la variabilidad total, no sería un indicador de la calidad de suelo importante, aunque debería

seleccionarse si se buscara un set mínimo de datos para evaluar la calidad del suelo. Estos resultados indican que evaluar la calidad en suelos con estas condiciones, los indicadores serían: CHS, CHt, contenido de arena y limo+arcilla; pH y Pe; COPg.

### **Conclusiones**

Se pudo detectar a los CHs como indicador biológico principal de la calidad de estos suelos con trigo. Otros indicadores importantes fueron la condición textural y el pH, dado que son reguladores del agua en el suelo y la disponibilidad de nutrientes para el trigo. Las fracciones más lábiles del C no fueron indicadores de gran importancia por la variabilidad en los aportes de fracciones lábiles por los residuos de cultivos en esta región.

Existe una falta de información sobre los indicadores de calidad de suelos en este ambiente, donde los rendimientos de los cultivos son muy variables y por lo tanto, los aportes de fracciones lábiles por los residuos resultan en general, escasos y dependientes de las condiciones climáticas del año. Sería importante incluir estos indicadores en la confección de índices funcionales del sistema que permitan explicar en mayor medida la variabilidad de los factores estudiados.

## Bibliografía consultada

- Angers D.A.; N. Bissonnette; A. Logbre; N. Samson. 1993. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.* 73, 39-50.
- Bolinder M.A.; D.A. Angers; E.G. Gregorich; M.R. Carter. 1999. The response of soil quality indicators to conservation management. *Can. J. Soil Sci.* 79, 37-45.
- Bray R.; L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59, 39- 45.
- Bredja JJ; T.B. Moorman; D.L. Karlen; T.H. Dao. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern high plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 2115-2124.
- Bremner A.E.; C.S. Mulvaney. 1982. Total nitrogen. In: *Methods of soil analysis, Part 2*, Page, C et al. (Eds). American Society of Agronomy and Soil Science Society of American Journal. Madison, WI. Pp. 595-624.
- Dalal R. 1998. Soil microbial biomass-what do the numbers really mean? *An. Prod. Sci.* 38 649-65.
- Doran J.W.; B.T. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. In: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, Doran, JW et al.(Eds.). Soil Science Society of America. Madison, WI. Pp. 3-21.
- Duval M.E.; J.A. Galantini; J.O. Iglesias; S. Canelo; J.M. Martinez; L. Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res.* 131, 11-19.
- Govaerts B.; K.D. Sayre; J. Deckers. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize in the highlands of Mexico. *Soil Till. Res.* 87, 163-174.
- Gregorich E.G.; M.R. Carter; D.A. Angers; C.M. Monreal; B.H. Ellert. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 75, 367-385.
- Karlen D.L.; M.J. Mausbach; J.W. Doran; R.G. Cline; R.F. Harris; G.E. Schuman. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 61, 4-10.
- Landriscini M.; J. Martínez; J.A. Galantini. 2015. Fertilización foliar con nitrógeno en trigo en el SO bonaerense. [Ciencia del Suelo 33, 183-196.](#)
- Li P.; T. Zhang; X. Wang; D. Yu. 2013. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China. *Soil & Till. Res.* 126: 112-18.
- Martínez J.M.; J.A. Galantini; M. Landriscini. 2015. Diagnóstico de fertilidad nitrogenada en el SO bonaerense mediante el uso clorofilómetro en trigo. [Ciencia del Suelo 33, 31-43.](#)
- Martínez J.M.; J.A. Galantini; M.E. Duval; F.M. López. 2016a. Indicadores edáficos de la fertilidad asociados a la calidad de suelos con trigo bajo siembra directa en el sudoeste bonaerense. [Rev. Ci. Agron. XXVI, 23-31.](#)
- Martínez J.M.; J.A. Galantini; M.E. Duval; F.M. López. 2016b. Indicadores de mineralización de nitrógeno en el sudoeste bonaerense: relación con las fracciones orgánicas del suelo. [Rev. Ci. Agron. XXVI: 50-57.](#)
- Martínez J.M.; J.A. Galantini; M.E. Duval; F.M. López. 2017. Tillage effects on labile pools of soil organic nitrogen in a semihumid climate of Argentina: a long-term field study. [Soil & Till. Res. 169, 71-80.](#)
- Martínez J.M.; M.R. Landriscini; J.A. Galantini; M.E. Duval; C.C. Cerda. 2012. Predicción del rendimiento en trigo mediante la utilización del índice de verdor. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Trabajo completo en CD-ROM. 16 al 20 de abril. Mar del Plata, Argentina.
- Parr J.F.; R.I. Papendick; S.B. Hornick; R.E. Youn. 1992. Soil quality: Attributres and relationship to alternative and sustainable agriculture *Amer. J. Altern. Agric.* 7, 5-16.
- Puget P.; D.A. Angers; C. Chenu. 1999. Nature of carbohydrates associated with water-stable aggregates of two cultivated soils. *Soil Biol. Biochem.* 31, 55-63.
- Ron M.; T. Loewy. 1990. Fertilización fosfórica en trigo en el sudoeste bonaerense. I Modelo de respuesta. *Ci. Suelo* 8, 187-194.
- Schoenholtz S.H.; H.V. Miegroet; J.A. Burger. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *For. Ecol. Manage.* 138, 335-356.
- Shukla, M.K.; R. Lal; M. Ebinger. 2005. Soil quality indicators for reclaimed mine soils in southeastern Ohio. *Soil Sci.* 169, 133-142.
- Toledo D.M.; J.A. Galantini; E. Ferreccio; S. Arzuaga; S. Vazquez. 2013. Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. *Ci. Suelo* 31, 201-212.