



XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Suelos... Huellas del pasado, desafíos del futuro

San Fernando del Valle de Catamarca,
Prov. de Catamarca, Argentina
21 al 24 de mayo de 2024



INDICADORES DE SUELO EN UNA ROTACIÓN CON CENTENO EN EL SUR DE CÓRDOBA

Boccolini, M.^{1*}, González, M. B.², Salustio, M.¹, Perotti, L.², Andreoni, L.², Conde, B.³

¹AER INTA, Mitre 656 (5800) Río Cuarto, Prov. de Córdoba, boccolini.monica@inta.gob.ar;
²Consultora Agropecuaria Biored, Mitre 151 (6120) Laboulaye, Prov. de Córdoba; ³EEA INTA Marcos Juárez, Ruta Provincial 12 KM 1.5 (2580) Marcos Juárez, Prov. de Córdoba.

RESUMEN: Los indicadores de calidad y salud de suelo son herramientas que nos brindan información sobre los procesos y propiedades físicas, químicas y biológicas. El objetivo fue detectar un set de indicadores de calidad y salud sensibles al uso del suelo en dos ambientes de distinta producción agrícola y en otro sin uso antrópico. El estudio se realizó en un Haplustol típico de Bucharado, Córdoba en una rotación agrícola con cultivo de cobertura (CC) Centeno. Se delimitaron dos ambientes de alta y baja productividad (AP y BP) y una situación natural como referencia (SR). Las muestras de suelo fueron tomadas en dos momentos antes y después del ciclo del centeno. Se recolectó biomasa aérea (BA) y de raíces (BR) del centeno. Las determinaciones fueron: Carbono orgánico total y particulado (COT y COP), Acidez (pH), Humedad (H), NO₃ (Nitratos), P (Fósforo), L (Lombrices), Respiración microbiana (RM), Carbono de la biomasa microbiana (CBM), Coeficiente metabólico (qMet.), Coeficiente microbiano (qMic.).

La BA y BR de centeno fue de 1930 y 2200 kg ha⁻¹ respectivamente, sin diferencias entre AP y BP. Los contenidos de COT y P del suelo fueron superiores estadísticamente en la SR con respecto a los ambientes productivos, mientras que, los nutrientes lábiles como COP, N-NO₃ y P del suelo cambiaron según el momento de muestreo.

Sólo el qMic. cambió mostrando diferencias significativas según el uso del suelo. El mayor valor se registró en BP, intermedio en AP; y el menor valor en SR. Una respuesta similar presentó L. con presencia sólo en AP y BP.

Los indicadores químicos de calidad: COT y COP, pH, Humedad, contenidos de N-NO₃, P; y los indicadores de salud: qMic. y L. constituyen el set que mostró mayor sensibilidad a los cambios por el uso y momento de muestreo de suelo.

PALABRAS CLAVE: calidad y salud de suelo, parámetros químicos y microbiológicos, ambientes productivos

INTRODUCCION

Actualmente, es abundante la bibliografía científica que muestra los impactos negativos generados por los cambios en el uso y manejo del suelo, como consecuencia del avance de la frontera agrícola y la intensificación de los sistemas de producción. En vista de esta situación crítica, algunos autores proponen la posibilidad de la "intensificación ecológica" para el uso de la tierra mediante siembra directa, diversificación de cultivos en la rotación, inclusión de cultivos de cobertura (CC) con el fin de producir más alimentos, al mismo tiempo que se preservan los recursos naturales (Frene et al., 2018). La inclusión de centeno como CC representa una práctica generalizada para los sectores productivos que implementan esta herramienta en regiones subhúmedas y semiáridas pampeanas.

En este camino y necesidad de implementar nuevas prácticas agrícolas que sean amigables con la naturaleza, es clave contar con indicadores de calidad y salud de suelo. La calidad de un suelo incluye un componente inherente del mismo, determinado por las características y propiedades físicas y químicas. Mientras que, la salud del suelo hace referencia a la capacidad

Organizado por:



AACCS
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO



UNCA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE
CATAMARCA



FCA



INTA Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria

para funcionar como un sistema de vida y vital para sostener la productividad biológica, promover la calidad ambiental y mantener la salud de la flora y fauna (Doran & Zeiss, 2000). Un indicador es un parámetro o un valor derivado de parámetros que provee información, describe el estado de un fenómeno/ambiente/área, con un significado extendido más allá que el directamente asociado con el valor del parámetro (OECD, 1995 en Becker, 2012). Por lo tanto, para evaluar la calidad del suelo existen indicadores físicos y químicos; y para la salud, los biológicos, siendo estos últimos los que presentan mayor sensibilidad y respuesta a los cambios (Pérez Brandan, 2014). Frente a este contexto, el objetivo fue detectar un set de indicadores de calidad y salud sensibles al uso del suelo en dos ambientes de distinta producción agrícola y en otro sin uso antrópico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Haplustol típico de textura franco arenosa en un lote de producción ubicado en el Establecimiento Santa María (34°49'14.13"S 63°35'4.38"O) Bucharado, Provincia de Córdoba. El mismo presentaba una rotación maíz/CC/soja. Como CC se utilizó un Centeno (*Secale cereale* L.) sembrado el 2 mayo y secado el 30 de agosto de 2022. El secado se realizó mediante Control max. 1.5 kg. ha⁻¹. La siembra de soja fue el 11 de octubre de 2022 y se cosechó el 14 de abril de 2023. La fertilización de arranque del CC fue con 100 kg. ha⁻¹ y la de reposición con 200 kg. ha⁻¹ de superfosfato simple. No se realizó fertilización nitrogenada. La densidad de siembra fue de 90 kg. ha⁻¹ de centeno.

Diseño experimental, ambientes y muestreos

A campo, se delimitaron dos ambientes de alta y baja productividad (AP y BP) en relación con el rendimiento de los cultivos principales, en dos repeticiones. Se recolectaron tres muestras compuestas de suelo en cada ambiente con barreno tubular de 2,5 cm de diámetro hasta los 10 cm de profundidad. También se muestreó una situación sin uso del suelo como referencia (SR). Las muestras de suelo fueron tomadas en dos momentos, antes el 7 de abril de 2022 (AC) y después, el 24 de abril de 2023 (DC) del ciclo del centeno. Además, previamente al secado del CC, el 29 de agosto de 2022, en estado vegetativo avanzado (previo a floración) se recolectó y determinó biomasa aérea y de raíces según la metodología propuesta por (Frasier et al., 2016a).

Determinaciones químicas y microbiológicas

El contenido de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) del material vegetal se obtuvo por servicio privado. La determinación de COT y COP (Carbono orgánico total y particulado) del suelo fue mediante el método Walkley and Black (1934). El contenido de nitrógeno de nitratos (N-NO₃) por método Sneed (Marban, 2004) y el de P mediante el método Bray P1 (Bray & Kurtz, 1945). Las mediciones de pH se realizaron con una relación suelo-agua de 1:2,5 (IRAM, 29410, 1999). Además, se determinó el contenido de humedad gravimétrica (H). El número de lombrices (L) se cuantificó de acuerdo con Domínguez et al. (2019). El Carbono de biomasa microbiana (CBM) se determinó según el método de fumigación-extracción (Vance et al., 1987). La Respiración microbiana (RM) de suelo según Alef (1995). El coeficiente metabólico (qMet.) resulta del cociente entre RM y CBM (Insam & Haselwandter, 1989). El coeficiente microbiano (qMic.) se calcula del cociente entre CBM y Carbono orgánico (CO) del suelo (Anderson & Domsch, 1993).

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante ANOVA. Las diferencias entre medias fueron determinadas mediante LSD Fisher con significancias del 5%. Se utilizó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

RESULTADOS Y DISCUSION

Producción de biomasa y aportes de C y N del centeno

La producción biomasa aérea (BA) y de raíces (BR) de centeno fue de 1930 y 2200 kg ha⁻¹ respectivamente, sin diferencias estadísticas significativas ($p>0,05$) entre ambientes de AP y BP (Tabla 1). Fernández et al. (2020) obtuvieron una producción de BA en centeno, de hasta 8000 kg ha⁻¹ a medida que postergaban la fecha de secado de la cobertura. Por su parte, Canale et al. (2023) encontraron que el centeno alcanzó una BA de 5000 kg ha⁻¹, pero con valores inferiores a los 2000 kg ha⁻¹ en fecha temprana de corte coincidiendo con este estudio. También Boccolini et al. (2022) para el mismo tipo de suelo y con la misma fecha de siembra del CC (mayo) en este estudio, observaron baja producción de BA de 1200 kg ha⁻¹ en cortes a fecha temprana (principios de septiembre). A medida que se prolonga el ciclo del CC aumenta la biomasa total del mismo, a la vez que es fuertemente dependiente de la fertilización nitrogenada. Por lo tanto, las discrepancias observadas pueden estar atribuidas, por un lado, a la interrupción temprana del ciclo del centeno (estado vegetativo avanzado) y por el otro, a la falta de fertilización con N, sumado esto a la fuerte influencia de heladas ocurridas durante el ciclo del cultivo (datos no mostrados). Barraco et al. (2021) obtuvieron un 50% más de biomasa aérea cuando duplicaron las dosis de N y P en un centeno fertilizado con 9P+40N kg ha⁻¹ en secado temprano; afirmando que una adecuada nutrición en gramíneas como coberturas incrementa significativamente la biomasa total en suelos de regiones subhúmedas y semiáridas pampeanas.

Tabla 1: Biomasa aérea (BA) y de raíces (BR) de centeno y sus contenidos de C, N y P en alta y baja productividad (AP y BP).

Ambiente	BA kg. ha ⁻¹	BR kg. ha ⁻¹	CBA kg. ha ⁻¹	NBA kg. ha ⁻¹	C/N BA	PBA kg. ha ⁻¹	CBR kg. ha ⁻¹	NBR kg. ha ⁻¹	C/N BR	PBR kg. ha ⁻¹
AP	1674	2190	669,8	19,3	36	3,7	875,8	25,2	35	3,7
BP	2188	2212	875,1	25,2	38	4,8	884,8	25,4	35	3,8

La producción de biomasa de raíces (BR) fue menor a la observada por Frasier et al. (2012), en un suelo arenoso franco, quienes reportaron 7800 kg. ha⁻¹ al finalizar el ciclo del centeno hasta los 12 cm de profundidad.

Los CC son una fuente importante de entrada de residuos al sistema suelo, y por ende de C, N y P entre otros nutrientes (Fernández et al., 2020). En este estudio, el contenido de C en el centeno representó un 40% de la biomasa total producida como lo informado por (Rampo et al., 2019). En la Tabla 1 se muestran el C y N de la biomasa aérea y raíces del centeno. Con respecto a la BA, los valores determinados de C (menor a 1000 kg) y N (menor a 50 kg) fueron similares a los reportados por Gómez et al. (2020) inicio de espigazón del cultivo, pero menores que los encontrados por Fernández et al. (2020) en floración. Las diferencias en los contenidos están relacionadas a las fechas de secado, cuanto más tardías más acumulación de C y menor contenido de N en biomasa aérea (Barraco et al., 2021).

Propiedades químicas y microbiológicas de suelo

Todos los indicadores de calidad evaluados cambiaron significativamente ($p<0,05$; $p\leq 0,0001$) según la condición del suelo y momentos de muestreo (Tabla 2). Los contenidos de COT y P del suelo fueron superiores en la SR con respecto a los ambientes productivos. Resultados similares fueron reportados por Ferreras et al. (2009) y Serri et al. (2018), donde el COT fue significativamente mayor en suelos de monte nativo en comparación con lotes de producción con CC. Se ha observado en numerosos estudios que los cultivos agrícolas disminuyen el COT en comparación con situaciones sin uso y manejo de suelo (Studdert & Echeverría, 2000). El COP y los contenidos de nutrientes lábiles como N-NO₃ y P del suelo cambiaron según el momento de muestreo. El COP y P fueron menores en DC, lo que refleja el consumo

de fuentes lábiles de C y nutrientes por parte de los cultivos de centeno y soja. Mientras que el contenido de N-NO₃ fue superior luego de la finalización del ciclo del centeno y de la cosecha de la soja. Este resultado puede ser atribuido al aporte de los residuos de cultivos a partir de su descomposición y mineralización.

El pH y la humedad fueron afectados significativamente (p=0,0001 y p<0,05) por el uso del suelo, mostrando los mayores valores en las zonas de AP y BP con respecto a SR; lo que puede deberse a los residuos de cultivo. Así los residuos estimulan a la actividad microbiana que tiende a ser mayor en los sitios productivos provocando cambios en el pH (Tabla 2). Además, es conocido que los residuos de cultivo en superficie contribuyen a mejorar la retención de agua en el suelo (Lal, 2005).

Para los indicadores de salud evaluados sólo el qMic. cambió mostrando diferencias significativas (p<0,05) según el uso del suelo (Tabla 2). El mayor valor se registró en BP, intermedio en AP; y el menor valor en SR. La obtención de un valor más alto podría estar indicando mayor contenido de CBM (Serri et al., (2018), tendencia que se observó en AP y BP con respecto a SR. Una respuesta similar presentó el número de lombrices, con presencia sólo en los ambientes productivos, debido principalmente al mayor contenido de humedad de suelo y residuos de cultivos.

Tabla 2. Valores de los indicadores de calidad (parámetros químicos) y salud (microbiológicos) de suelo según las condiciones de uso de suelo y momentos de muestreo. Carbono orgánico total y particulado (COT y COP), Acidez de suelo (pH), Humedad (H), N-NO₃ (Nitrógeno de nitratos), P (Fósforo), L (Lombrices), Respiración microbiana (RM), Carbono de la biomasa microbiana (CBM), Coeficiente metabólico (qMet.), Coeficiente microbiano (qMic.); SR: Situación referencia; AP y BP (ambientes de alta y baja productividad); Momento: AC y DC (antes y después del ciclo del centeno).

Sitio/ Amb.	COT gr.kg ⁻¹ s	COP gr.kg ⁻¹ s	pH	H %	N-NO ₃ mgr.kg ⁻¹ s	P mgr.kg ⁻¹ s	L n°.m2 ⁻¹	RM µgC- CO ₂ .grs ⁻¹ . d ⁻¹	CBM ugC.grs ⁻¹ 1	qMet. ugC- CO ₂ ug. CBM ⁻¹ . d ⁻¹	qMic. %
SR	27,6a	3,4	4,9b	10,4b	16,4	38,0a	0	6,9	174,9	0,05	0,62b
AP	18,5b	3,3	6,3a	17,9a	11,2	22,0b	53	11,1	258,1	0,05	1,54ab
BP	15,3c	2,9	6,2a	18,3a	13,2	18,6b	72	9,3	263,7	0,05	1,79a
Momento											
AC	22,72a	3,8a	5,9	16,1	8,7b	30,2a	82,7	8,1	232,3	0,04	1,13
DC	16,32b	2,4b	6,0	15,9	19,0a	19,0b	42,7	10,7	243,7	0,05	1,69
P valor											
Sitio	<0,0001	ns	0,0002	0,0001	ns	0,0007		ns	ns	ns	0,03
Momento	<0,0001	0,04	ns	ns	0,0001	0,0002		ns	ns	ns	ns
Sitio x Momento	0,04	ns	0,05	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns

CONCLUSIONES

La producción de BA y BR de centeno fue afectada por el manejo de fertilización y la fecha de secado.

Los indicadores químicos de calidad: COT y COP, pH, Humedad, contenidos de N-NO₃, P; y los indicadores de salud: qMic. y L. constituyen el set que mostró mayor sensibilidad a los cambios por el uso y momento de muestreo de suelo.

BIBLIOGRAFIA

- Alef, K. (1995). *Soil respiration*. In: K. Alef, and P. Nanninpietri (Eds.). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry* (pp. 214-219). Academic Press. Harcourt Brace and Company publishers, London U.K.
- Anderson, T.H. & Domsch, K.H. (1989). Ratios of microbial biomass carbon to total Organic-C in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 21, 471-479.

- Barraco, M., Álvarez, C., Girón, P., Rampo, M., Miranda, W. y Lobos, H. M. (2021). Manejo de los Cultivos de Cobertura en secuencia con Maíz tardío. *Memoria técnica*, 30-34, EEA General Villegas, Buenos Aires, Argentina.
- Becker, A. (2012). ¿Qué son los indicadores? En M. Wilson (Ed.), *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina* (pp.19-22) Ediciones INTA.
- Boccolini, M. F., Salustio, M., Toledo, M. y Ossana, J. (2022). Experiencia con cultivos de cobertura en un suelo franco arenoso del sudoeste de Córdoba, Argentina. Informe Técnico. Repositorio Digital INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13627>
- Bray, R.H. and Kurtz, L.T. (1945). Determination of Total Organic and Available Forms of Phosphorus in Soils. *Soil Science*, 59, 39-45.
- Canale, A., Lardone, A., Andreo, N., Boccolini, M., Salustio, M., Alvarez, C., Cuffia, A., López, J. M., Paquiodo, M., Pelliza, R., Gaona, J., Palanza, S., Sansot, I. y Conde, B. (2023). Cultivos de cobertura en Río Cuarto (Córdoba): impacto en biomasa aérea, agua y nitrógeno del suelo, y rendimiento de maíz. Informe Técnico. Repositorio Digital INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/16720>
- Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada, M. y Robledo C. W. InfoStat versión (2020). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Domínguez, A., Jiménez, J., Ortiza, C. E. and Bedano, J. C. (2019). Soil macrofauna diversity as a key element for building sustainable agriculture in Argentine Pampas. *Acta Oecología*, 92, 102-116.
- Doran, J. W. and Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15, 3–11.
- Fernández, R., Álvarez, C. O., Eggmann, O., Reinaldo, E. y Quiroga, A. R. (2020). Efecto del uso de Cultivo de Cobertura en una secuencia de Soja continua en la Región Semiárida Pampeana. *Semiárida Revista de la Facultad de Agronomía UNL Pampa*, 30 (2), 37-49. <http://dx.doi.org/10.19137/semiárida>
- Ferreras, L., Toresani, S., Bonel, B., Fernández, E., Bacigaluppo, S., Faggioli, V. y Beltrán, C. (2009). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del Suelo*, 27(1), 103-114.
- Frasier, I., Riestra, D., Noellemeyer, E., y Quiroga, A. (2012). *Aporte de C y N de raíces de cultivos de cobertura*. Presentación de trabajo. XIX Congreso Argentino y XXIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Bs. As., Argentina.
- Frasier, I., Noellemeyer, E., Fernández, R. & Quiroga, A. (2016a). Direct field method for root biomass quantification in agroecosystems. *Methods X*, 3, 513-519. <http://doi:10.1016/j.mex.2016.08.002>
- Frene, J. P., Wall, L. G., y Gabbarini, L. A. (2018). El manejo agrícola como herramienta clave para una agricultura de conservación. Su análisis desde la bioquímica y la microbiología del suelo. Divulgación. *Perfiles académicos de posgrado*, 2 (05), 1-16.
- Gómez, M. F., Noellemeyer, E., y Frasier, I. (2020). Dinámica de raíces y actividad biológica en secuencias de cultivos en dos tipos de suelo de la Región Semiárida Central. *Ciencia del Suelo*, 38 (1), 56-71.
- Insam, H. & Haselwandter, K. (1989). Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. *Oecologia*, 79,174-178. <https://doi.org/10.1007/BF00388474>
- Iram (Instituto de Normalización), (1999). Norma 29410. Determinación del pH.
- Lal, R. (2005). World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environment*, 31(4), 575-584.
- Marban L. 2004. Extracción y determinación de nitratos. SAGPyA-SAMLA. ISBN 987-9184-40-8
- Pérez Brandán, C. (2014). *Impacto de diferentes prácticas agrícolas sobre la diversidad microbiana del suelo y la sustentabilidad de un agroecosistema sojero del norte argentino*.
- Quiroga, A., Fernández, R., Frasier, I. y Scianca, C. (10-11 de agosto de 2009). *Cultivos de cobertura: Análisis de su inclusión en distintos sistemas de producción*. Conferencia. Jornadas Nacionales de Sistemas Productivos Sustentables, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

- Rampo, M., Gómez, M. F., Barraco, M., Lobos, M., Miranda, W., Girón, P., Álvarez, C. y Frasier, I. (2019). Efecto de la inclusión de centeno como cultivo de cobertura sobre la dinámica de residuos aéreos y raíces en secuencias con soja. *Memoria Técnica*, 1-3.
- Rubio G., Mosca C., Varela M. F., Scianca C. y Taboada MA. (2012). *Estructura de suelos arenosos bajo cultivos de cobertura*. En D. Méndez (Ed.), *Memoria técnica* (pp. 43-47) EEA General Villegas, Buenos Aires, Argentina.
- Ruffo, M. L. y Parsons, A. T. (2004). Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Información Agronómica del Cono Sur*, 21, 13–16.
- Serri, I., Boccolini, M., Oberto, R., Chavarría, D., Bustos, N., Vettorello, C., Apezteguia, H., Miranda, J., Alvarez, C., Galarza, C., Chiofalo, S., Manrique, M., Sueldo, R., Belmonte, M.C., Mattalia, L., Cholaky, C. y Vargas Gil, S. (2018). Efecto de la agriculturización sobre la calidad biológica del suelo. *Revista Ciencia de Suelo*, 36 (2), 92-104.
- Studdert, G.A. and Echeverria, H. E. (2000). Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Science Society American Journal*, 64, 1496-1503.
- Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba. Repositorio Digital UNC. <http://hdl.handle.net/11086/1689>
- Vance, E.D., Brookes, P.C. & Jenkinson, D.S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology Biochemistry*, 19, 703-707.
- Walkley, A. and Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63, 251-263. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>