

Efectos a corto plazo de los cultivos de cobertura sobre propiedades y macrofauna del suelo

Short-term effects of cover crops on soil properties and macrofauna

Josefina Scaglione^{1*} ,
Sergio Montico¹ ,
Guillermo Alberto Montero¹ 

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. Campo Experimental Villarino C.C. 14 (S2125ZAA), Zavalla, Santa Fe, Argentina.

*Autor de correspondencia:
scaglionejosefina@gmail.com

Artículo científico

Recibido: 07 de febrero 2023

Aceptado: 24 de mayo 2023

Como citar: Scaglione J, Montico S, Montero GA (2023) Efectos a corto plazo de los cultivos de cobertura sobre propiedades y macrofauna del suelo. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(2): e3645. DOI: 10.19136/era.a10n2.3645

RESUMEN. La evaluación de los cambios a nivel edáfico debido a la implementación de diferentes prácticas de manejo requiere el análisis de variables de distinta naturaleza. El objetivo de este trabajo fue determinar las variaciones anuales en propiedades y macrofauna del suelo, y las interacciones entre ambas, en secuencias rotacionales con y sin cultivos de cobertura (CC). Se trabajó en un experimento instalado en la localidad de Zavalla (Santa Fe, Argentina) y los tratamientos estudiados incluyeron CC (vicia y triticale) y barbecho químico como antecesores de maíz y soja, respectivamente. Se determinó carbono orgánico total (COT) y particulado (COP), porcentaje de agregados estables al agua (AEA), pH, parámetros comunitarios de macrofauna hipogea del suelo y abundancia de grupos tróficos. Los CC generaron valores superiores en COP y porcentaje de AEA en comparación con los de barbecho, en tanto que el COT presentó una tendencia de incremento anual en todos los tratamientos. En cuanto a las comunidades de macrofauna, el CC de vicia introdujo cambios favorables en abundancia, riqueza y diversidad luego de su ciclo de crecimiento, mientras que el triticale presentó una respuesta similar al barbecho y con valores inferiores a los de vicia. Los grupos tróficos registraron variaciones estacionales en su abundancia y cambios vinculados con las características de las secuencias rotacionales. Los CC causaron modificaciones en el corto plazo sobre propiedades y macrofauna del suelo debido a la cobertura generada y el aporte de materiales orgánicos.

Palabras clave: Fauna del suelo, hábitat edáfico, indicadores, rotaciones de cultivos, salud del suelo.

ABSTRACT. The assessment of edaphic changes due to the adoption of different management practices requires the analysis of different types of variables. The aim of this study was to determine annual variations on soil properties and macrofauna, and the interactions between them, in cropping sequences with and without cover crops (CC). The work was carried out on an experiment installed in Zavalla (Santa Fe, Argentina) and the treatments included CC (vetch and triticale) and fallow before corn and soybean, respectively. We determined soil organic carbon (SOC) and particulate organic carbon (POC), percentage of water stable aggregates (WSA), pH and macrofauna communities' parameters and trophic groups abundance. Treatments which included CC showed higher values of POC and WSA as compared to fallow ones, while SOC presented an annual increment in all treatments. As regard to macrofauna communities' parameters, CC of vetch made favorable changes in abundance, richness and diversity after its cycle, while CC of triticale showed a similar response to fallow and values were lower than vetch ones. Trophic groups abundance showed seasonal variations and changes associated with crop sequences characteristics. CC caused short-term changes on soil properties and macrofauna due to the coverage and the contribution of organic materials.

Key words: Soil fauna, edaphic habitat, indicators, crop rotations, soil health.

INTRODUCCIÓN

En la región pampeana argentina la degradación de los suelos se asoció fuertemente con el fenómeno de agriculturización, el cual estuvo definido por el incremento en la superficie destinada a la agricultura en detrimento de la ganadería o la actividad agrícola-ganadera (Montico *et al.* 2019). Tales cambios se vieron signados por la simplificación de las secuencias rotacionales, las cuales estuvieron dominadas por el monocultivo de soja bajo siembra directa (Wingeyer *et al.* 2015, Wilson *et al.* 2020). La degradación de los suelos no es sólo de índole física y química, sino también biológica y ecológica (Lal 2015). En relación con éstos últimos aspectos, la degradación biológica induce mayor vulnerabilidad en los sistemas de producción debido a que la biodiversidad edáfica actúa en la regulación de numerosas funciones del suelo que son esenciales para sostener los servicios ecosistémicos y soportar las distintas perturbaciones (Menta y Remelli 2020).

La macrofauna edáfica es un componente importante del suelo ya que, entre otras funciones, participa en la fragmentación y descomposición de la materia orgánica, la modificación de la estructura y la regulación de la actividad de otros organismos (Brown *et al.* 2015). Por lo tanto, la evaluación de los cambios en sus comunidades se constituye como una herramienta fundamental de diagnóstico de la condición edáfica (Gedoz *et al.* 2021). Al respecto, se han determinado cambios en términos de diversidad, abundancia y relaciones funcionales entre taxones vinculados a alteraciones en propiedades edáficas como consecuencia del manejo de los suelos (Menta y Remelli 2020, Cabrera-Dávila *et al.* 2022). Incluso se ha demostrado que ciertos grupos de artrópodos reflejan mayor sensibilidad a los cambios en la calidad del suelo debido a que viven, se alimentan y reproducen en este ambiente y, por lo tanto, se encuentran adaptados a condiciones edáficas particulares (Parisi *et al.* 2005).

Los cambios en la salud del suelo asociados a diferentes procesos de degradación condujeron a la búsqueda de estrategias productivas sustentables, entre las que se destaca la intensificación de

las secuencias rotacionales mediante la introducción de cultivos de cobertura (CC) (Bodner *et al.* 2010) debido a su asociación positiva con la provisión de numerosos servicios ecosistémicos (Garba *et al.* 2022). Si bien los efectos de los CC en el suelo son particulares para cada situación analizada, éstos se han descrito tanto sobre propiedades físicas y químicas (Blanco-Canqui y Ruis 2020, Beltrán *et al.* 2022) como biológicas (Schmidt *et al.* 2018, Fiorini *et al.* 2022), y fundamentalmente en secuencias de cultivos prolongadas. En base a lo expuesto anteriormente, el objetivo del presente trabajo fue evaluar, en el término de un año, los efectos del barbecho y dos CC en secuencias rotacionales con distintos cultivos de cosecha sobre propiedades edáficas y parámetros de las comunidades de macrofauna del suelo, como así también las vinculaciones entre ambos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características edafoclimáticas del sitio

El estudio se llevó a cabo durante la campaña 2020/2021 en un experimento instalado en un lote agrícola del Campo Experimental Villarino, ubicado en la localidad de Zavalla (Provincia de Santa Fe, Argentina) (33° 01' S; 60° 53' O). Durante los 10 años previos a la instalación del experimento, el lote se condujo en siembra directa y la secuencia rotacional implementada mostró predominancia del cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merr.).

El sitio se encuentra en una llanura con suaves ondulaciones y pendientes máximas de 1 a 2% (Montico y Di-Leo 2021). El clima es subhúmedo mesotermal con temperatura media anual de 17 °C y precipitaciones anuales promedio de 1100 mm concentradas mayormente en el período primavera-estivo-otoño (Cáceres 1980). El suelo correspondió a un complejo dominado por la serie Roldán (70%), la cual ha sido clasificada como Argiudol vértico, familia fina, illítica, térmica (Soil Survey Staff 1999). Se trata de un suelo muy profundo desarrollado a partir de sedimentos loésicos, franco limoso, con buena capacidad de almacenamiento de agua, moderadamente bien drenado y de lenta permeabilidad. El

horizonte superficial (A) tiene, en sitios no erosionados, un espesor de 28 cm y su composición textural presenta 25% de arcilla, 73% de limo y 2% de arena (INTA 1983).

Descripción y manejo del experimento

A principios de mayo de 2020 se instaló un experimento con un diseño de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Las unidades experimentales fueron parcelas de 20 m x 20 m en las que se evaluaron secuencias rotacionales con inclusión de CC o mantenimiento del barbecho químico durante el período otoño-invernal y diferentes cultivos de cosecha sucesores. Los tratamientos analizados fueron: barbecho - maíz (*Zea mays*) (Bar-M); CC vicia (*Vicia villosa* R.) - maíz (CCv-M); barbecho - soja (Bar-S); CC triticale (x *Triticosecale* W.) - soja (CCt-S). Todas las secuencias presentaron antecesor trigo (*Triticum aestivum*) - soja.

Los CC se sembraron el 08/05/20 (vicia) y el 11/05/20 (triticale) empleando una sembradora de siembra directa con distancia entre surcos de 19 cm. La densidad de siembra fue de 28 kg ha⁻¹ en vicia y 90 kg ha⁻¹ en triticale. En la siembra se aplicó un fertilizante con 7% de nitrógeno, 40% de fósforo, 9% de azufre y 10% de magnesio en dosis de 75 kg ha⁻¹ para ambos CC. El ciclo de los CC se interrumpió de manera química el 05/11/20 empleando glifosato con una dosis de 2 L ha⁻¹. La siembra de los cultivos estivales sucesores se efectuó el 04/11/20 en el caso del maíz y el 06/11/20 en soja, para lo cual se utilizó una sembradora de siembra directa con distancia entre surcos de 52 cm. El maíz correspondió al híbrido 22.6 PWU (Brevant) cuya densidad de siembra fue de 4 semillas por metro lineal, mientras que en soja se empleó un cultivar DM 4615 STS (Don Mario) con una densidad de siembra de 22 semillas por metro lineal. En todos los tratamientos se realizó una fertilización a la siembra con fosfato monoamónico (11-52-0) en dosis de 80 kg ha⁻¹. El control de malezas se efectuó de manera química, realizando las pulverizaciones según estado y densidad de las malezas presentes. En ninguno de los tratamientos se aplicaron insecticidas ni fungicidas. La cosecha de la soja de los tratamientos Bar-S y CCt-S se realizó el 21/04/21,

mientras que la del maíz de Bar-M y CCv-M se llevó a cabo el 29/04/21.

Muestreos

Los muestreos se realizaron en tres momentos: al comienzo del barbecho y previo a la siembra de los CC (07/05/20) (muestreo inicial), al momento de la supresión del crecimiento de los CC y antes de la siembra de los cultivos de cosecha (02/11/20) (muestreo post CC y barbecho) y luego de la cosecha de los cultivos de maíz y soja (11/05/21) (muestreo final). Dentro de cada parcela se definió un cuadrado de 6 m de lado en cuyos vértices se extrajeron las muestras para análisis de macrofauna y en el centro las correspondientes a variables edáficas. El espesor de suelo evaluado fue de 0-20 cm.

Variables estudiadas y determinaciones analíticas

Se determinó el carbono orgánico total (COT), carbono orgánico particulado (COP) y pH, para lo cual se extrajo una muestra compuesta por parcela constituida por 12 a 15 submuestras. El COT se obtuvo mediante el método de calcinación (Chatterjee et al. 2009) y el COP se determinó a través de la separación física de las muestras (Cambardella y Elliot 1992) y el método Walkey y Black (Walkey y Black 1934) para la estimación del contenido de carbono. En este caso, el COP correspondió a la fracción retenida en el tamiz de 53 μm de tamaño de malla. La determinación del pH se realizó por el método potenciométrico (relación suelo: agua 1:2.5). Además, se analizó la estabilidad estructural a través del cálculo del porcentaje de agregados estables al agua (AEA) en base a la metodología descrita por Hénin et al. (1958) y considerando la fracción de agregados de 0.25 a 2.00 mm.

Las muestras de macrofauna consistieron en monolitos de suelo de 20 cm de lado por 20 cm de profundidad, en los cuales se separaron manualmente los organismos presentes (Anderson y Ingram 1993). Los ejemplares colectados en cada muestra fueron colocados en solución conservante de alcohol 70% V/V, o formaldehído 5% V/V en el caso de las lombrices. Luego, fueron determinados hasta el nivel de especie empleando las correspondientes claves

taxonómicas (Stehr 1991, Borrór *et al.* 1992, Morrone y Coscarón 1998, Vittar 2008, Roig-Juñent *et al.* 2014a, 2014b, Claps *et al.* 2020). En los casos en que esto no fue posible, se definieron morfoespecies diferentes. En cada muestra se cuantificó la abundancia mediante conteo manual, la riqueza según el número de especies o morfoespecies y la diversidad α a través del índice de Shannon-Weaver (Pielou 1966). Se evaluó la estructura de las comunidades de macrofauna asignando cada especie/morfoespecie a un grupo trófico, según la información disponible en la bibliografía. Se definieron cuatro grupos: herbívoros (HER), predadores (PRE), detritívoros (DET) y hormigas (HOR) (Swift *et al.* 2012). Las HOR se consideraron como un grupo trófico independiente debido a que la mayoría de las especies explotan diversas fuentes de recursos de modo oportunista (Stuntz *et al.* 2002).

Análisis estadístico

En las variables edáficas, las diferencias entre tratamientos y momentos de muestreo se evaluaron mediante Modelos Lineales Generales y Mixtos. En estos se consideraron a los tratamientos, momentos de muestreo y la interacción entre ambos factores como efectos fijos, y variaron según el tipo de correlación temporal y la heterogeneidad de variancias entre tratamientos o momentos de muestreo. En cuanto a los parámetros comunitarios, se obtuvo un único valor de abundancia (total y según grupos tróficos) y riqueza por parcela a partir de la suma de los individuos y especies/morfoespecies registradas en cada monolito. El índice de Shannon-Weaver fue calculado con el software PCORD v6.0 (McCune y Mefford 2011) y se definió el valor promedio por parcela. En estos casos, los análisis estadísticos se efectuaron a través de Modelos Lineales Generalizados y Mixtos, para los cuales se consideraron los mismos efectos fijos que en las variables edáficas, pero se modificó la inclusión o no de efecto aleatorio (parcela) y la familia de distribución según se trate de variables discretas (abundancia y riqueza) o continua (índice de Shannon-Weaver). Del conjunto de modelos planteados en cada variable, se seleccionó el que presentó el valor

más bajo de los criterios de Akaike (AIC) y Bayesiano de Información (BIC). Cuando existieron diferencias significativas entre factores ($p < 0.05$), las mismas se evaluaron mediante la prueba LSD Fisher. Los cálculos se realizaron a través de la interfaz de R incluida en el software InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2020). Finalmente, se ejecutó un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) (ter Braak y Verdonschot 1995) vinculando la abundancia de grupos tróficos y las variables edáficas relevadas. Para ello, se empleó el software PCORD v6.0.

RESULTADOS

Variables edáficas

Los resultados obtenidos en cuanto a las variables edáficas se presentan en la Tabla 1. El COT registró interacción significativa entre tratamientos y momentos de muestreo ($F = 10.95$, $p < 0.0001$), evidenciándose una tendencia de incremento entre los muestreos inicial y final en todos los tratamientos. No obstante, sólo existieron diferencias significativas entre los tres momentos de muestreo en las secuencias Bar-M y CCv-M, y en ningún momento de muestreo se detectaron variaciones significativas entre tratamientos. Por el contrario, el COP no mostró interacción ni diferencias significativas entre tratamientos ($F = 2.45$, $p = 0.06$) ni momentos de muestreo ($F = 2.73$, $p = 0.08$), aunque se observaron tendencias similares entre las secuencias con barbecho y las que incluyeron CC. En relación al pH, se detectó interacción significativa entre factores ($F = 5.08$, $p = 0.002$), existiendo un aumento significativo en el muestreo post CC y barbecho con respecto al inicial en todos los tratamientos, excepto en Bar-M. Sólo se registraron diferencias significativas entre tratamientos en el muestreo post CC y barbecho, evidenciándose el máximo valor en CCT-S.

El porcentaje de AEA mostró interacción significativa entre tratamientos y momentos de muestreo ($F = 10.24$, $p < 0.0001$). En este caso, los tratamientos que incluyeron CC presentaron, en el muestreo post CC y barbecho, valores superiores de AEA en comparación con los respectivos en barbecho, aunque las diferencias no fueron significativas. En el

Tabla 1. Valores promedio y error estándar de COT, COP, pH y AEA según tratamientos (TR) y momentos de muestreo. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre momentos de muestreo en cada tratamiento; letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en cada momento de muestreo.

Variable	TR	Momentos de muestreo						
		Inicial		Post CC y barbecho			Final	
COT (%)	Bar-M	1.74 ± 0.09	c A	2.16 ± 0.09	b A	2.53 ± 0.09	a A	
	CCv-M	1.87 ± 0.09	c A	2.15 ± 0.09	b A	2.49 ± 0.09	a A	
	Bar-S	1.77 ± 0.09	b A	2.30 ± 0.09	a A	2.43 ± 0.09	a A	
	CCt-S	1.81 ± 0.09	b A	2.29 ± 0.09	a A	2.41 ± 0.09	a A	
COP (%)	Bar-M	0.43 ± 0.16		0.75 ± 0.16		0.51 ± 0.16		
	CCv-M	0.51 ± 0.16		0.76 ± 0.16		0.91 ± 0.16		
	Bar-S	0.69 ± 0.16		0.87 ± 0.16		0.63 ± 0.16		
	CCt-S	0.59 ± 0.16		0.93 ± 0.16		1.01 ± 0.16		
pH	Bar-M	5.75 ± 0.05	a A	5.87 ± 0.05	a B	5.90 ± 0.05	a A	
	CCv-M	5.71 ± 0.05	b A	5.90 ± 0.05	a B	5.79 ± 0.05	ab A	
	Bar-S	5.74 ± 0.05	b A	5.89 ± 0.05	a B	5.80 ± 0.05	ab A	
	CCt-S	5.76 ± 0.05	b A	6.06 ± 0.05	a A	5.80 ± 0.05	b A	
AEA (%)	Bar-M	10.20 ± 1.48	b A	24.00 ± 4.69	a A	15.47 ± 2.48	a A	
	CCv-M	7.60 ± 1.48	b A	27.33 ± 4.69	a A	21.80 ± 2.48	a A	
	Bar-S	9.27 ± 1.48	b A	25.80 ± 4.69	a A	21.50 ± 2.48	a A	
	CCt-S	7.57 ± 1.48	b A	29.53 ± 4.69	a A	21.10 ± 2.48	a A	

muestreo final, si bien no existieron variaciones significativas entre tratamientos, el menor porcentaje de AEA correspondió a la secuencia Bar-M, en tanto que Bar-S y CCt-S presentaron el mismo valor promedio.

Parámetros de las comunidades de macrofauna hipogea

En la Tabla 2 se muestran los resultados promedio de abundancia, riqueza e índice de Shannon-Weaver. Sólo existió interacción significativa en abundancia ($F = 3.33$, $p = 0.02$), mientras que en riqueza se evidenciaron diferencias significativas entre momentos de muestreo ($F = 3.74$, $p = 0.04$). Por su parte, el índice de Shannon-Weaver no mostró interacción ni diferencias significativas entre tratamientos ni momentos de muestreo ($p > 0.05$).

En el muestreo post CC y barbecho el CC de vicia presentó el mayor valor de abundancia, pero no mostró diferencias significativas con el correspondiente en barbecho. De igual forma, el CC de triticale tampoco se diferenció significativamente del barbecho en dicho momento de muestreo. Por el contrario, en el muestreo final la mayor abundancia correspondió a la secuencia Bar-S y la menor a Bar-M. En cuanto a la riqueza, el mayor valor prome-

dio se evidenció en el muestreo final (23.70 ± 1.75 especies/morfoespecies) y se diferenció significativamente del muestreo inicial, el cual presentó la menor riqueza (18.59 ± 1.48 especies/morfoespecies). Asimismo, si bien no existieron diferencias significativas, en el muestreo post CC y barbecho el CC de vicia introdujo mayor riqueza que el barbecho y el CC de triticale, en tanto que en el muestreo final el mayor valor correspondió a la secuencia Bar-S. En otro punto, el índice de Shannon-Weaver mostró similitud con las tendencias detectadas entre tratamientos en la riqueza.

Abundancia de grupos tróficos y vinculación con variables edáficas

Se detectó interacción significativa entre factores en HOR ($F = 4.00$, $p = 0.01$) y HER ($F = 6.55$, $p = 0.0003$), mientras que los DET y los PRE sólo mostraron diferencias significativas entre momentos de muestreo ($F = 45.23$, $p < 0.0001$ y $F = 19.79$, $p < 0.0001$, respectivamente) (Tabla 3). En cuanto a la abundancia de HOR, se observó una elevada variabilidad entre tratamientos y momentos de muestreo, mientras que los HER mostraron un incremento asociado al CC de vicia en el muestreo post

Tabla 2. Valores promedio y error estándar de abundancia, riqueza e índice de Shannon-Weaver de macrofauna edáfica según tratamientos (TR) y momentos de muestreo. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre momentos de muestreo en cada tratamiento; letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en cada momento de muestreo. Letras mayúsculas con * muestran diferencias significativas entre momentos de muestreo.

Parámetro	TR	Momentos de muestreo					
		Inicial		Post CC y barbecho		Final	
Abundancia (n° de organismos)	Bar-M	58.33 ± 18.14	a B	50.67 ± 15.83	a AB	48 ± 15.02	a A
	CCv-M	214.33 ± 65.21	a A	118 ± 36.14	ab A	53.67 ± 16.73	b A
	Bar-S	29.67 ± 9.49	b B	45 ± 14.12	ab B	104.67 ± 32.12	a A
	CCt-S	58 ± 18.04	a B	36.67 ± 11.6	a B	68.33 ± 21.16	a A
Riqueza (n° de especies / morfo-especies)	Bar-M	18.8 ± 2.98		19.12 ± 3.01		21.43 ± 3.25	
	CCv-M	19.33 ± 3.03	B*	29.15 ± 4.01	AB*	21.94 ± 3.3	A*
	Bar-S	16.8 ± 2.77		20.09 ± 3.11		30.63 ± 4.15	
	CCt-S	19.57 ± 3.06		17.25 ± 2.82		21.89 ± 3.3	
Índice de Shannon-Weaver	Bar-M	1.24 ± 0.16		1.24 ± 0.16		1.35 ± 0.17	
	CCv-M	1.33 ± 0.17		1.43 ± 0.19		1.26 ± 0.16	
	Bar-S	1.34 ± 0.17		1.30 ± 0.17		1.52 ± 0.20	
	CCt-S	1.23 ± 0.16		1.25 ± 0.16		1.26 ± 0.16	

Tabla 3. Valores promedio y error estándar de abundancia de grupos tróficos de macrofauna edáfica (n° de organismos) según tratamientos (TR) y momentos de muestreo. HOR y HER: letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre momentos de muestreo en cada tratamiento; letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en cada momento de muestreo. DET y PRE: letras mayúsculas con * muestran diferencias significativas entre momentos de muestreo.

Grupo trófico	TR	Momentos de muestreo					
		Inicial		Post CC y barbecho		Final	
HOR	Bar-M	15.00 ± 10.17	a B	7.00 ± 4.88	a B	5.00 ± 3.55	a AB
	CCv-M	182.00 ± 120.68	a A	76.67 ± 50.98	a A	0.33 ± 0.40	b B
	Bar-S	7.67 ± 5.32	a B	5.67 ± 3.99	a B	19.00 ± 12.82	a A
	CCt-S	17.33 ± 11.72	a B	3.67 ± 2.67	ab B	0.33 ± 0.40	b B
DET	Bar-M	12.33 ± 3.63		13.33 ± 3.87		34.00 ± 8.95	
	CCv-M	12.67 ± 3.71	B*	6.67 ± 2.21	B*	41.33 ± 10.74	A*
	Bar-S	7.00 ± 2.29		9.67 ± 2.96		57.00 ± 14.56	
	CCt-S	9.67 ± 2.96		3.00 ± 1.24		45.00 ± 11.63	
PRE	Bar-M	4.12 ± 1.67		6.33 ± 2.36		3.17 ± 1.37	
	CCv-M	4.08 ± 1.64	B*	11.67 ± 3.98	A*	3.21 ± 1.37	B*
	Bar-S	3.73 ± 1.50		16.65 ± 5.51		4.72 ± 1.81	
	CCt-S	4.10 ± 1.66		5.67 ± 2.15		4.41 ± 1.76	
HER	Bar-M	26.00 ± 5.14	a A	23.33 ± 4.7	a A	5.00 ± 1.52	b B
	CCv-M	15.00 ± 3.30	a AB	21.00 ± 4.31	a A	7.33 ± 1.96	b B
	Bar-S	9.67 ± 2.38	b B	7.33 ± 1.96	b B	20.67 ± 4.25	a A
	CCt-S	25.67 ± 5.08	a A	24.00 ± 4.81	a A	17.67 ± 3.75	a A

CC y barbecho en comparación con el muestreo inicial, aunque las diferencias entre ambos momentos no fueron significativas. En el muestreo final, la mayor abundancia de HER correspondió a los tratamientos que incluyeron soja como cultivo estival, los cuales se diferenciaron significativamente de las secuencias con maíz. Por su parte, los DET registraron mayor abundancia en el muestreo final, el cual se diferenció significativamente de los muestreos inicial y post

CC y barbecho. Finalmente, los PRE resultaron más abundantes en el muestreo post CC y barbecho y, a pesar de que no existió interacción significativa, el CC de vicia mostró una abundancia superior a la de la correspondiente secuencia bajo barbecho y al CC de triticale en dicho momento de muestreo.

Los resultados derivados del ACC se muestran en la Figura 1. El porcentaje de variancia explicado por los ejes canónicos uno y dos fue de 42%. Se

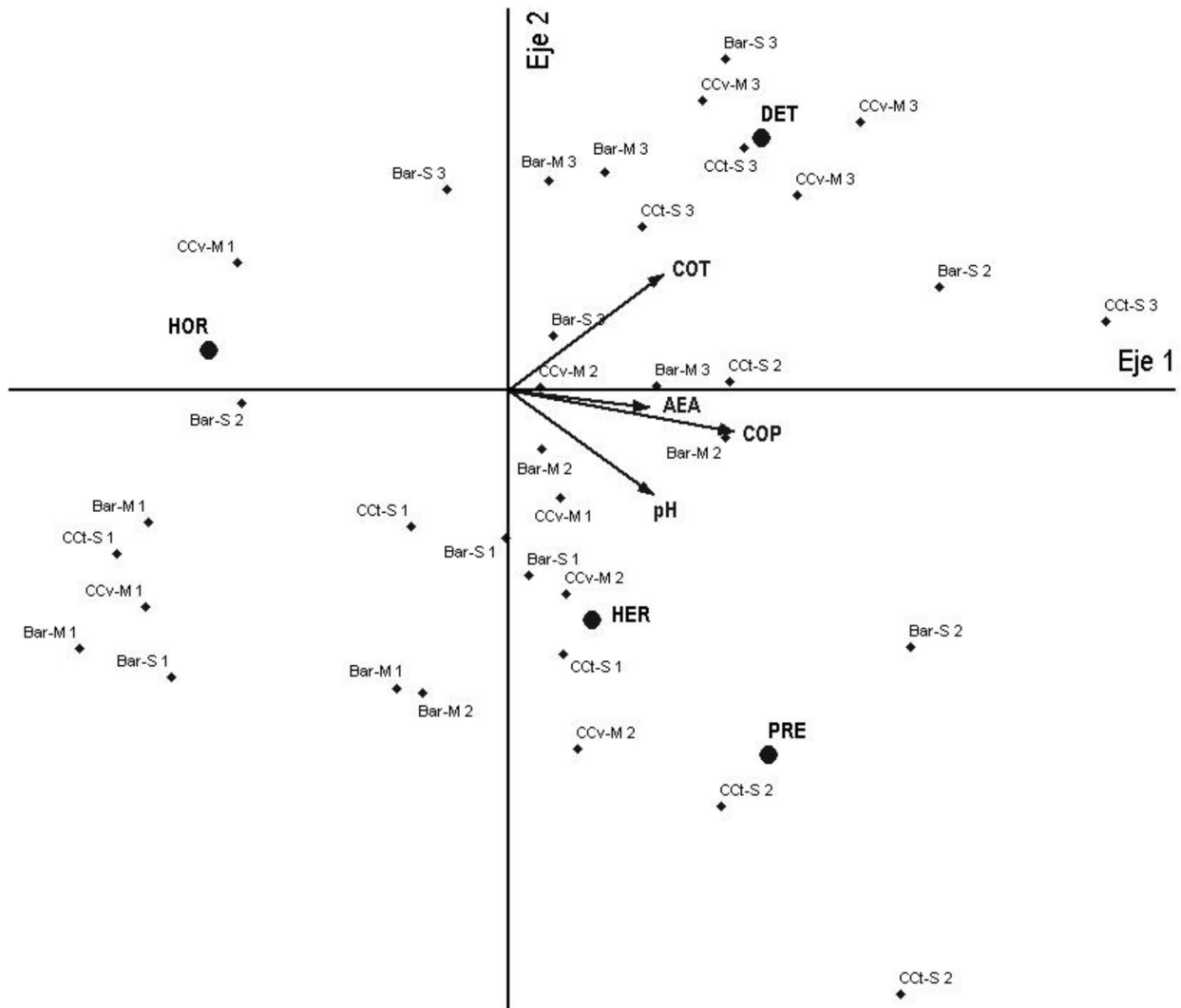


Figura 1. ACC entre grupos tróficos y variables de suelo. Las flechas representan las variables edáficas, los puntos indican los grupos tróficos y los rombos son las muestras. Los números indican los momentos de muestreo (1: inicial, 2: post CC y barbecho, 3: final).

observó una diferenciación entre grupos tróficos en cuanto a su asociación con las variables edáficas evaluadas. En particular, las HOR mostraron una respuesta opuesta a la de los restantes grupos, en tanto que los DET resultaron abundantes en muestras con elevado contenido de COT. Por su lado, los HER y PRE evidenciaron preferencia hacia muestras con mayor porcentaje de AEA, COP y pH.

DISCUSIÓN

Variables edáficas

El contenido de COT mostró cambios intra- anuales que, entre los muestreos inicial, post CC y barbecho, no ocurrieron por la inclusión de CC. En este sentido, se ha demostrado que la contribución de los CC al incremento en el contenido de COT depende, entre otros factores, del aporte de materiales orgánicos por parte de los mismos (Bolin- der *et al.* 2020) y el efecto acumulativo a lo largo

del tiempo (Duval *et al.* 2016). Por otro lado, las diferencias halladas entre Bar-M y CCv-M y los restantes tratamientos en el muestreo final, podrían indicar que los contenidos superiores de COT en las secuencias que incluyeron maíz estarían asociados al aporte de residuos derivados de la senescencia de partes aéreas y radicales, los cuales son de mejor calidad en maíz que en soja. No obstante, en el período de tiempo estudiado, probablemente esta respuesta sea de carácter temporal y no define una tendencia consistente en el COT, como fue explicado por Restovich *et al.* (2011). En otro punto, las tendencias detectadas en el COP son coincidentes con distintos aportes presentes en la bibliografía donde se destaca la mayor sensibilidad de esta variable para reflejar cambios a corto plazo (Duval *et al.* 2015, Ramesh *et al.* 2019). En particular, los mayores valores registrados en las secuencias que incluyeron CC en comparación con las de barbecho en el muestreo final son coincidentes con las tendencias descritas por Romaniuk *et al.* (2018) en el mismo período de tiempo considerado en este estudio y para CC de gramíneas y leguminosas. Asimismo, se han reportado cambios inducidos por los CC en la fracción gruesa del COP (105 - 2 000 μm) ya que se trata del compartimento más lábil y dinámico de la materia orgánica (Beltrán *et al.* 2018).

Para el pH, el aumento detectado en el muestreo post CC y barbecho con respecto al inicial podría asociarse a una reducción en la actividad biológica durante la etapa otoño-invernal. En este sentido, se ha reportado que los cambios estacionales en la temperatura y humedad del suelo impactan sobre la biomasa y actividad microbiana (Bogati y Walczak 2022). Por su parte, que los tratamientos que incluyeron CC mostraran valores de pH superiores a los registrados en los barbechos pudo vincularse al aporte diferencial de materiales orgánicos entre las distintas secuencias, lo cual podría generar modificaciones en las poblaciones microbianas (Nair y Ngouajio 2012, Venter *et al.* 2016) que redunden en cambios en el pH.

Con respecto al porcentaje de AEA, las tendencias entre tratamientos con y sin inclusión de CC

son parcialmente coincidentes con lo descrito por Castiglioni *et al.* (2016) en un Argiudol abráptico de la provincia de Buenos Aires (Argentina) en secuencias similares a las evaluadas en este trabajo y en el período de un año. Los resultados obtenidos reflejaron un incremento temporal en esta propiedad en el período de tiempo analizado, lo cual coincide con lo descrito por Restovich *et al.* (2011). Debido a que durante el período de crecimiento de los CC sus sistemas radicales, junto con asociaciones de hongos y bacterias, intervienen en la formación y ciclado de agregados del suelo (Goss y Kay 2005), en el corto plazo sería esperable que tales efectos sean transitorios. Por otro lado, el hecho de que el CC de triticale haya mostrado un mayor porcentaje de AEA que vicia en el muestreo post CC y barbecho posiblemente esté vinculado con el grado de desarrollo radical alcanzado por las distintas especies de CC, lo cual contribuye a la estabilización de los agregados mediante el efecto físico de entramado de las raíces (Blankinship *et al.* 2016).

Parámetros comunitarios de macrofauna hipogea

Los resultados obtenidos indicaron cambios favorables en la abundancia y riqueza de las comunidades de macrofauna inducidos por el CC de vicia luego de su ciclo de crecimiento. Investigaciones previas han demostrado que, según la calidad y cantidad de residuos producida (Hopper *et al.* 2000) y debido a la secreción de varios tipos de exudados radicales (Lavelle *et al.* 1995), se genera un incremento en la densidad de los grupos de macrofauna del suelo que se alimentan de los recursos vegetales suministrados, o bien, que se benefician de los microhábitats creados (Laossi *et al.* 2008). En este sentido, la inclusión de CC en las secuencias rotacionales redundaría en diferentes respuestas en las comunidades de macro artrópodos del suelo debido a los cambios espaciales y temporales que se suceden en escenarios con mayor diversidad vegetal (Zhang *et al.* 2022). Asimismo, la cobertura generada por los CC es un aspecto de relevancia ya que regula los cambios de temperatura del suelo y reduce las pérdidas de agua a nivel superficial, factores clave en la actividad de los organismos edáficos (Morel y Ortiz

Acosta 2022).

En lo que respecta al índice de Shannon-Weaver, los resultados mostraron que la inclusión de CC de triticale no generó una tendencia de cambio notable, mientras que esto sí se evidenció en relación al CC de vicia. La existencia de valores más elevados de dicho índice refleja mayor uniformidad en la abundancia de las especies que componen el ensamble (Vasconcelos *et al.* 2020) y, con ello, mayor integridad estructural de la comunidad y la presencia de especies raras (Lo-Sardo y Lima 2019). En este punto, se han planteado cambios en la abundancia y composición faunística de las comunidades de macrofauna del suelo asociados a la inclusión de CC (Bedano *et al.* 2016), lo cual responde al grado de complejidad creado por la vegetación (Amazonas *et al.* 2018, Vasconcelos *et al.* 2020). Por otro lado, dado que el muestreo post CC y barbecho se realizó en primavera y los muestreos inicial y final en otoño, las diferencias encontradas en riqueza y diversidad también pudieron asociarse con variaciones en el ensamble de especies presente en cada momento del año.

Abundancia de grupos tróficos y vinculación con variables edáficas

Para las HOR, los resultados no mostraron tendencias claras entre tratamientos ni momentos de muestreo, lo cual podría asociarse con que, dado su comportamiento gregario, se presentan grandes diferencias en la abundancia entre los distintos puntos de muestreo (Bedano y Domínguez 2017). Sin embargo, la correlación negativa detectada con las variables edáficas sugiere que estos organismos serían capaces de adaptarse a sitios con mayor nivel de degradación edáfico. Al respecto, se ha reportado que las HOR muestran mayor tolerancia frente a los cambios ambientales debido a sus hábitos generalistas de explotación de recursos (Wodika y Baer 2015). No obstante, una aproximación más detallada de la vinculación entre la abundancia de HOR y las variables edáficas podría lograrse evaluando la respuesta a nivel de las especies que constituyen el grupo trófico (Johnson 2000).

Los cambios en el contenido de carbono edá-

fico se vinculan con el aporte de materiales orgánicos, aspecto que resulta favorable para el desarrollo de organismos DET debido a la disponibilidad de recursos alimenticios y al efecto protector de la cobertura (Falco y Momo 2010, Cabrera 2012). Adicionalmente, es importante considerar que las tendencias observadas entre momentos de muestreo en la abundancia de DET (Tabla 3) también estarían explicados por variaciones estacionales en las comunidades que conforman este grupo, especialmente las lombrices, y que han sido reportadas previamente por otros autores (Masín *et al.* 2015). Estos cambios se vinculan, además de la disponibilidad de recursos alimenticios, con las condiciones de mayor humedad edáfica presentes en el período otoñal, lo cual ha sido definido como uno de los factores clave que influye sobre la presencia de estos organismos (Euteneur *et al.* 2020), en particular en los estratos superficiales del suelo.

A partir de la cobertura superficial y la mejora en la condición estructural del suelo se generan micro-espacios para la oviposición, alimentación y hábitat de distintos HER hipogeos, entre los que se incluyen larvas de coleópteros (Coleoptera: Scarabaeidae y Curculionidae) (Brévault *et al.* 2007). No obstante, sólo se detectaron diferencias significativas en la abundancia de HER entre los tratamientos Bar-S y CCt-S, en tanto que las variaciones detectadas entre secuencias en el muestreo final revelarían la preferencia de los HER hipogeos hacia materiales radicales de mejor calidad (Masters 2004). En otro sentido, la ocurrencia de PRE se vería beneficiada por la presencia de sitios de refugio creados por la disposición de la vegetación y los residuos superficiales (Bedano *et al.* 2016), ya que también estimulan la presencia de presas (Jiang *et al.* 2018). Por lo tanto, los CC actuarían de forma favorable sobre estas cuestiones, tanto durante su ciclo como luego de la supresión de su crecimiento. En este sentido, la mayor abundancia de PRE asociada al CC de vicia podría relacionarse con el porcentaje superior de cobertura alcanzado al momento de la supresión de su crecimiento ($99.33 \pm 1.76\%$) en comparación con el observado en triticale ($38.67 \pm 8.96\%$). También, el incremento significativo de PRE en el

muestreo post CC y barbecho estaría en relación con las condiciones microclimáticas, particularmente la temperatura, la cual influye sobre la presencia de arañas (Horváth *et al.* 2015). Las correlaciones entre la abundancia de PRE y HER y las variables edáficas revelaron mayor presencia en sitios con condiciones edáficas favorables para un adecuado crecimiento de la vegetación.

CONCLUSIONES

En un año, los CC evaluados generaron cambios de magnitud sobre las propiedades y la macrofauna del suelo, los cuales se asociaron con la

cobertura generada y el aporte de materiales orgánicos. Las secuencias rotacionales introdujeron cambios significativos en la abundancia de los grupos tróficos, lo cual reflejó la sensibilidad de indicadores de este tipo para evaluar efectos a corto plazo. Las variables edáficas estudiadas permitieron explicar la presencia de los distintos grupos tróficos en el contexto de los cambios generados por los CC y las rotaciones propuestas. Para mejorar la comprensión de los efectos de los CC en el corto plazo, sería necesario desarrollar investigaciones en otros sitios y que potencien la información derivada del estudio de la macrofauna del suelo.

LITERATURA CITADA

- Amazonas NT, Viani RAG, Rego MAG, Camargo FF, Fujihara RT, Valsechi OA (2018) Soil macrofauna density and diversity across a chronosequence of tropical forest restoration in southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 78: 449-456.
- Anderson JM, Ingram JSI (1993) Field procedures. Soil. In: Anderson JM, Ingram JSI (eds) *Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods*. CAB International. Wallingford, UK. pp: 41-46.
- Bedano JC, Domínguez A, Arolfo R, Wall LC (2016) Effect of good agricultural practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with and without soil types. *Soil and Tillage Research* 158: 100-109.
- Bedano JC, Domínguez A (2017) *Biología del suelo: meso y macrofauna*. En: Santos DJ, Wilson MG, Ostinelli MM (eds) *Metodología de muestreo de suelo y ensayos a campo. Protocolos básicos comunes*. Ediciones INTA. Entre Ríos, Argentina. pp: 122-138.
- Beltrán MJ, Sainz-Rozas H, Galantini JA, Romaniuk RI, Barbieri P (2018) Cover crops in the Southeastern region of Buenos Aires, Argentina: effects on organic matter physical fractions and nutrient availability. *Environmental Earth Sciences* 77: 428. DOI: 10.1007/s12665-018-7606-0.
- Beltrán MJ, Galantini JA, Tognetti PM, Barraco MR (2022) Interacción entre cultivos comerciales y de cobertura. Producción, dinámica del agua y nitratos del suelo. *Ciencia del Suelo* 40: 24-37.
- Blanco-Canqui H, Ruis SJ (2020) Cover crops impacts on soil physical properties: a review. *Soil Science Society of America Journal* 84: 1527-1576.
- Blankinship JC, Fonte SJ, Six J., Schimel JP (2016) Plant versus microbial controls on soil aggregate stability in a seasonally dry ecosystem. *Geoderma* 272: 39-50.
- Bodner G, Himmelbauer M, Loiskand W., Kaul HP (2010) Improved evaluation of cover crops species by growth and root factors. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 455-464.
- Bogati K, Walczak M (2022) The impact of drought stress on soil microbial community, enzyme activities and plants. *Agronomy* 12: 189. DOI: 10.3390/agronomy12010189.
- Bolinder MA, Crotty F, Elsen A, Frac M, Kismányoky T, Lipiec J, Tits M, Tóth Z, Kätterer T (2020) The effect of crop residues, cover crops, manures and nitrogen fertilization on soil organic carbon changes in agroecosystems: a synthesis of reviews. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 25: 929-952.

- Borror DJ, Triplehorn CA, Johnson NF (1992) An introduction to the study of insects. 6th Edition. Sunders College Publishing. Philadelphia, USA. 875p.
- Brévault T, Bikay S, Maldés JM, Naudin K (2007) Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil and Tillage Research* 97: 140-149.
- Brown GG, Niva CC, Zagatto MRG, Ferreira S, Nadolny HS, Cardoso GBX, Santos A, Martínez GA, Pasini A, Bartz MLC, Sautter KD, Thomazini MJ, Baretta D, da Silva E, Antonioli ZI, Decaëns T, Lavelle PM, Souza JP, Carvalho F (2015) Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. En: Parron LM, García J, Oliveira E, Brown GG, Prado RB (eds) *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Embrapa. Brasília, Brasil. pp: 121-154.
- Cabrera G (2012) La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. *Resultados obtenidos en Cuba. Pastos y Forrajes* 35: 349-364.
- Cabrera-Dávila G, Sánchez Rendón JA, Ponce de León Lima D (2022) Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana* 221: 1-21.
- Cáceres LM (1980) Caracterización climática de la provincia de Santa Fe. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Santa Fe, Argentina. 35p.
- Cambardella C, Elliot E (1992) Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal* 56: 777-783.
- Castiglioni M, Navarro-Padilla R, Eiza M, Romaniuk R, Beltrán M, Mousegne F (2016) Respuesta en el corto plazo de algunas propiedades físicas a la introducción de cultivos de cobertura. *Ciencia del Suelo* 34: 263-278.
- Chatterjee A, Lal R, Wielopolski L, Martin MZ, Ebinger MH (2009) Evaluation of different soil carbon determination methods. *Critical Reviews in Plant Science* 28: 164-178.
- Claps LE, Debandi G, Roig-Juñent S (2020) Biodiversidad de artrópodos argentinos. 1a Edición. Sociedad Entomológica Argentina. Mendoza, Argentina. 624p.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW (2020) InfoStat. Versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat. Córdoba, Argentina.
- Duval ME, Martínez JM, Iglesias J, Galantini JA, Wall L (2015) Secuencias de cultivos y su efecto sobre las fracciones orgánicas del suelo. En: de Sá Pereira E, Minoldo G, Galantini JA (eds) *El impacto de los sistemas actuales de cultivo sobre las propiedades químicas del suelo y sus efectos sobre los balances de carbono*. Ediciones INTA. Coronel Suárez, Buenos Aires, Argentina. pp: 51-55.
- Duval ME, Galantini JA, Capurro JE, Martínez JM (2016) Winter cover crops in soybean monoculture: effects on soil organic carbon and its fractions. *Soil and Tillage Research* 161: 95-105.
- Euteneur P, Wagentristl H, Steinkellner S, Fucks M, Zaller JG, Piepho HP, Butt KR (2020) Contrasting effects of cover crops on earthworms: Results from field monitoring and laboratory experiments on growth, reproduction and food choice. *European Journal of Soil Biology* 100: 103225. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2020.103225.
- Falco LB, Momo F (2010) Selección de hábitat: efecto de la cobertura y tipo de suelo en lombrices de tierra. *Acta Zoológica Mexicana* 2: 179-187.
- Fiorini A, Remelli S, Boselli R, Mantovi P, Ardenti F, Trevisan M, Menta C, Tabaglio V (2022) Driving crop yield, soil organic C pools and soil biodiversity with selected winter cover crops under no-till. *Soil and Tillage Research* 217: 105283. DOI: 10.1016/j.still.2021.105283.

- Garba II, Bell LW, Williams A (2022) Cover crop legacy impacts on soil water and nitrogen dynamics and on subsequent crop yields in drylands: a meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development* 42: 34. DOI: 10.1007/s13593-022-00760-0.
- Gedoz M, Freitas EM, da Silva VL, Johann L (2021) Edaphic invertebrates as indicators of soil integrity quality. *Floresta e Ambiente* 28(2): e20200069. DOI: 10.1590/2179-8087-FLORAM-2020-0069.
- Goss MJ, Kay BD (2005) Soil aggregation. In: Zobel RW, Wright SE (eds) *Roots and soil management: interactions between roots and soil*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Wisconsin, USA. pp: 163-180.
- Hénin S, Monnier G, Combeau A (1958) Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Annales Agronomiques* 9: 73-92.
- Hooper DU, Bignell DE, Brown VK, Brussaard L, Dangerfield JM, Wall DH, Wardle DA, Coleman DC, Giller KE, Lavelle P, Van der putten WH, De Ruiter PC, Rusek J, Silver WI, Tiedje JM, Wolters V (2000) Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms, and feedbacks. *Bioscience* 50: 1049-1061.
- Horváth R, Magura T, Szinetár C, Eichardt J, Kovács E, Tóthmérész B (2015) In stable, unmanaged grasslands local factors are more important than landscape-level factors in shaping spider assemblages. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 208: 106-113.
- INTA (1983) Carta de suelos de la República Argentina: Hoja 3360-20 y 21. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. 75p.
- Jiang Y, Ma N, Chen Z, Xie H (2018) Soil macrofauna assemblage composition and functional groups in no-tillage with corn stover mulch agroecosystems in a mollisol area of northeastern China. *Applied Soil Ecology* 128: 61-70.
- Johnson RA (2000) Habitat segregation based on soil texture and body size in the seed-harvester ants *Pogonomyrmex rugosus* and *P. barbatus*. *Ecological Entomology* 25: 403-412.
- Lal R (2015) Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability* 7: 5875-5895.
- Laossi KR, Barot S, Carvalho D, Dejardins T, Lavelle P, Martins M, Mitja D, Rendeiro AC, Rousseau G, Sarrazin M, Velasquez E, Grimaldi M (2008) Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. *Pedobiologia* 51: 397-407.
- Lavelle P, Lattaud C, Trigo D, Barois I (1995) Mutualism and biodiversity in soils. *Plant Soil* 170: 23-33.
- Lo-Sardo PM, Lima JS (2019) Edaphic macrofauna as a recovery indicator of abandoned areas of *Corymbia citriodora* in the southeastern Brazil. *Floresta e Ambiente* 26(4): e20190031. DOI: 10.1590/2179-8087.003119.
- Masín CE, Rodríguez AR, Maitre MI, Cerana J, Hernández JP, Anglada M, Elizalde JH, Lallana MC (2015) Riqueza de lombrices de tierra en un Argiudol bajo cultivo de soja (Colonia Ensayo, Entre Ríos). *Revista Científica Agropecuaria UNER* 19: 39-50.
- Masters GJ (2004) Belowground herbivores and ecosystem processes. In: Weisser WW, Siemann E (eds) *Insects and ecosystem function*. Springer. Berlin, Germany. pp: 93-109.
- McCune B, Mefford MJ (2011) PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 6.0. MjM Software. Oregon, USA.

- Menta C, Remelli S (2020) Soil health and arthropods: from complex system to worthwhile investigation. *Insects* 11: 54. DOI: 10.3390/insects11010054.
- Montico S, Di-Leo N, Bonel B, Denoia J (2019) Cambios del uso de la tierra en la cuenca del arroyo Ludueña, Santa Fe: impacto en la sostenibilidad y en los servicios ecosistémicos. *Cuadernos del CURIHAM* 25: 31-39.
- Montico S, Di-Leo N (2021) Riesgo de contaminación del acuífero freático con plaguicidas en la cuenca del arroyo Ludueña, Argentina. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8(2): e2688. DOI: 10.19136/era.a8n2.2688.
- Morel A, Ortiz Acosta O (2022) Calidad del suelo en diferentes usos y manejo por medio de la macrofauna como indicador biológico. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* 5: 996-1006.
- Morrone JJ, Coscarón S (1998) Biodiversidad de artrópodos argentinos. Una perspectiva biotaxonomía. 1^a Edición. Ediciones Sur. La Plata, Buenos Aires, Argentina. 599p.
- Nair A, Ngouajio M (2012) Soil microbial biomass, functional microbial diversity and nematode community structure as affected by cover crops and compost in an organic vegetable production system. *Applied Soil Ecology* 58: 45-55.
- Parisi V, Menta C, Gardi C, Jacomini C, Mozzanica E (2005) Microarthropods communities as a tool to assess soil quality and biodiversity. A new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105: 323-333.
- Pielou EC (1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* 13: 131-144.
- Ramesh T, Bolan NS, Kirkham MB, Wijesekara H, Kanchikerimath M, Rao CS, Sandeep S, Rinklebe J, Ok YS, Choudhury BU, Wang H, Tang C, Wang X, Song Z, Freeman II OW (2019) Soil organic carbon dynamics: impact of land use changes and management practices: A review. *Advances in Agronomy* 156: 1-107 DOI: 10.1016/bs.agron.2019.02.001.
- Restovich SB, Andriulo AE, Améndola C (2011) Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. *Ciencia del Suelo* 29: 61-73.
- Roig-Juñent S, Claps LE, Morrone JJ (2014a) Biodiversidad de artrópodos argentinos. 1^a Edición, Volumen 3. Sociedad Entomológica Argentina. Tucumán, Argentina. 546p.
- Roig-Juñent S, Claps LE, Morrone JJ (2014b) Biodiversidad de artrópodos argentinos. 1^a Edición, Volumen 4. Sociedad Entomológica Argentina. Tucumán, Argentina. 547p.
- Romaniuk R, Navarro-Padilla R, Beltrán M, Eiza M, Castiglioni M, Mousegne F (2018) Efecto a corto plazo de la inclusión de vicia y trigo como cultivos de cobertura sobre el C, N y P en distintas fracciones de la materia orgánica, y la disponibilidad de macro y micronutrientes. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 44: 48-60.
- Schmidt R, Gravuer K, Bossange AV, Mitchell J, Scow K (2018) Long-term use of cover crops and no till shift soil microbial community life strategies in agricultural soil. *PLoS ONE* 13(2): e0192953. DOI: 10.1371/journal.pone.0192953.
- Soil Survey Staff (1999) Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd Edition. Natural Resources Conservation Service. Washington, USA. 886p.
- Stehr FW (1991) Immature insects. 1st Edition. Kendall-Hunt Publishing Company. Iowa, USA. 992p.
- Stuntz S, Ziegler C, Simon U, Zotz G (2002) Diversity and structure of the arthropod fauna within three canopy epiphyte species in central Panama. *Journal of Tropical Ecology* 18: 161-176.

- Swift MJ, Bignell D, Moreira F, Huising EJ (2012) El inventario de la diversidad biológica del suelo: conceptos y guía general. En: Moreira F, Huising EJ, Bignell DE (eds) Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo. Instituto Nacional de Ecología de México. México. pp: 29-52.
- ter Braak CJE, Verdonschot PEM (1995) Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Science* 57: 1015-1621.
- Vasconcelos WLF, Macedo Rodrigues D, Carvalho Silva RO, Alfaia SS (2020) Diversity and abundance of soil macrofauna in three land use systems in eastern Amazonia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 44: e:01900136. DOI: 10.36783/18069657rbcs20190136.
- Venter ZS, Jacobs K, Hawkins HJ (2016) The impact of crop rotation on soil microbial diversity: a meta-analysis. *Pedobiologia* 59: 215-223.
- Vittar F (2008) Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de la Mesopotamia Argentina. *Miscelánea INSUGEO* 17: 447-466.
- Walkey A, Black IA (1934) An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-37.
- Wilson MG, Maggi AE, Castiglioni MG, Gabioud EA, Sasal MC (2020) Conservation of ecosystem services in Argiudolls of Argentina. *Agriculture* 10: 649. 10.3390/agricultura10120649.
- Wingeyer AB, Amado TJ, Pérez-Bidegain M, Studdert GA, Varela CH, García F, Karlen DI (2015) Soil quality impacts of current south American agricultural practices. *Sustainability* 7: 2213-2242.
- Wodika BR, Baer SG (2015) If we build it, will they colonize? A test of the field of dreams paradigm with soil macroinvertebrate communities. *Applied Soil Ecology* 91: 80-89.
- Zhang Y, Peng S, Chen X, Chen HYH (2022) Plant diversity increases the abundance and diversity of soil fauna: a meta-analysis. *Geoderma* 411: 115649. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.115694.