

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

ROMANIUK, R.¹; NAVARRO, R.²; BELTRÁN, M.¹; EIZA, M.¹; CASTIGLIONI, M.²; MOUSEGNE, F.³

RESUMEN

La mayor participación de la soja entre los cultivos de verano sumada a los largos períodos de barbecho otoño-invernales han dado como resultado una importante reducción en el aporte de residuos y consecuentemente del contenido de materia orgánica edáfica y nutrientes asociados. La intensificación de la secuencia de cultivos a través de la incorporación de cultivos de cobertura (CC) invernales surge como una estrategia sustentable para generar un mayor y más eficiente uso de los recursos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto a corto plazo de la inclusión de trigo y vicia como cultivos de cobertura antecesores a cultivos de maíz y soja, sobre la disponibilidad de macro y micronutrientes, y sobre las distintas fracciones de la materia orgánica y nutrientes asociados en un Argiudol típico. Se trabajó sobre un ensayo en bloques completamente aleatorizados en la localidad de San Antonio de Areco, provincia de Buenos Aires. Los tratamientos fueron: barbecho/soja, CC trigo/soja, CC vicia/soja, y barbecho/maíz, barbecho/maíz fertilizado, CC trigo/maíz, CC trigo/maíz fertilizado, CC vicia/maíz, CC vicia/maíz fertilizado. A la cosecha de los cultivos de grano se realizaron determinaciones de carbono, fósforo y nitrógeno orgánico particulado, macronutrientes (N, P, Ca, Mg y K) y micronutrientes (Zn, Mn, Fe, Cu) disponibles en los primeros 5 cm de suelo. La utilización de CC incrementó en el corto plazo (un ciclo de cultivo) el carbono, nitrógeno y fósforo de la materia orgánica particulada gruesa del suelo (105 a 2000 µm). Estos incrementos fueron en general mayores cuando se utilizó vicia como CC. Las concentraciones de micronutrientes (Zn, Mn, Cu y Fe) en suelo a la cosecha del cultivo de soja fueron mayores en los tratamientos con CC respecto al testigo. Bajo cultivo de maíz, ambos CC incrementaron las concentraciones de Mg y K en el suelo respecto al barbecho, mientras que el tratamiento con vicia presentó las mayores concentraciones Mn y Fe respecto del trigo ($p < 0.05$). Estos resultados muestran el efecto positivo en el corto plazo de la inclusión de CC, no solo sobre los incrementos en el carbono lábil y los nutrientes asociados (N y P), sino también sobre la disponibilidad de los micronutrientes en el suelo.

Palabras clave: macro y micronutrientes disponibles, carbono, nitrógeno y fósforo particulados, soja, maíz.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Suelos. Nicolás Repetto y de los Reseros s/n, CP 1686 Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.

²Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453. CABA, Buenos Aires, Argentina.

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Agencia de Extensión Rural (AER) San Antonio de Areco, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: romaniuk.romina@inta.gob.ar

ABSTRACT

The use of soybean as the main summer crop followed by the long fall-winter fallow periods, have resulted in a significant reduction of residues contribution and consequently, in the edaphic organic matter and associated nutrients. The intensification of the crop sequence by winter cover crops (CC) inclusion emerges as a sustainable strategy to generate a more efficient use of the resources. The aim of this research was to evaluate the short-term effect of the inclusion of wheat and vetch as cover crops predecessor to maize and soybean crops, on the availability of macro and micronutrients, and on the different organic matter fractions and associated nutrients in a Typic Argiudoll. The study was carried out in San Antonio de Areco, Buenos Aires province, and consist in a completely randomized block design. The treatments were: fallow / soybean, wheat CC / soybean, vetch CC/ soybean, and fallow / maize, fallow / fertilized maize, wheat CC/ maize, wheat CC / fertilized maize, vetch CC / maize, vetch CC/ maize fertilized. Measurements of available macro (Ca, Mg and K) and micronutrients (Zn, Mn, Fe, Cu) and carbon, phosphorus and nitrogen in different soil fraction were determined in the first 5 cm depth after harvest of the main crops. The inclusion of CC increased the organic carbon, nitrogen and phosphorus in the most labile soil fraction (coarse fraction) in the short term (one crop cycle). These increases were generally higher when vetch was used as CC. After soybean harvest, soil micronutrients concentration (Zn, Mn, Cu and Fe) were higher in the treatments with CC compared to the control. Under maize, both CC increased soil Mg, K in compared to fallow, while the Vetch treatment presented higher Mn and Fe concentrations than the wheat treatment ($p < 0.05$). These results show the positive effect in the short term of the inclusion of CC, not only on the increases in labile carbon and associated nutrients (N and P), but also on the availability of micronutrients in soil.

Keywords: available macro and micronutrients, particulate organic carbon, nitrogen and phosphorous, soybean, maize.

INTRODUCCIÓN

El proceso de agriculturización sufrido en la región pampeana sumado a la mayor participación de la soja entre los cultivos de verano (Restovich *et al.*, 2012) y a los largos períodos de barbecho otoño-invernales dio como resultado una importante reducción en el aporte de residuos y en consecuencia, en el contenido de materia orgánica edáfica, acentuando los procesos de degradación (Quiroga *et al.*, 2009). La ausencia de cultivos durante el invierno implica una pérdida potencial de recursos (agua y radiación solar), que no son aprovechados para producir granos y biomasa (Alvarez, 2014). En este sentido, la intensificación en la secuencia de cultivos genera un mayor y más eficiente uso de los recursos, a partir de la presencia de cobertura vegetal viva durante un intervalo superior (Caviglia *et al.*, 2011; Novelli, 2013). Una de las estrategias para la intensificación en la secuencia de los cultivos es la introducción de cultivos de cobertura (CC) (Bodner *et al.*, 2008).

La inclusión de CC favorece a los servicios ecosistémicos (Kaspar y Singer, 2011). Su utilización ayuda a prevenir la erosión del suelo (Kaspar *et al.*, 2001), incrementa la retención de nutrientes (Kaspar *et al.*, 2007), y colabora con el control de malezas (Liebman y Davis, 2000). Finalmente, a partir de la descomposición y posterior mineralización de los residuos, parte de estos nutrientes quedan disponibles en el suelo para ser absorbidos por los cultivos estivales. La dinámica de la mineralización neta del nitrógeno dependerá de la relación carbono/nitrógeno y de la concentración de lignina y celulosa (Ranells y Waggoner, 1996) del cultivo de

cobertura utilizado. La incorporación de leguminosas como CC es ampliamente difundida debido a su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico (Reicosky y Forcella, 1998), con el consecuente enriquecimiento de nitrógeno edáfico (N) y disponibilidad de N para los cultivos (Kuo y Jellum, 2000). Por su parte, la presencia de una gramínea invernal es útil para absorber nitratos residuales, aportar carbono (C), nitrógeno, azufre (S) y fósforo (P), e incrementar la cobertura de suelo durante el período invernal (Ruffo, 2003).

La habilidad en lograr una producción sustentable a partir de la inclusión de cultivos de cobertura resultará, entre otras cosas, en poder comprender cómo las diferentes fracciones de la materia orgánica del suelo son afectadas y cómo ello se relaciona con los cambios en la fertilidad química de los suelos. La inclusión de cultivos de cobertura puede incrementar el contenido de materia orgánica (Scianca *et al.*, 2006; Sainju *et al.*, 2007; Restovich *et al.*, 2011), favoreciendo el aumento en la concentración de nutrientes (Fernandez *et al.*, 2012), en especial a través del incremento en las fracciones más lábiles de la materia orgánica (Janzen *et al.*, 1992). Scianca *et al.* (2006); Álvarez *et al.* (2008); Basanta *et al.* (2010) y Cazorla *et al.* (2010) observaron un efecto positivo y de corto plazo de los cultivos de cobertura bajo siembra directa sobre la fracción lábil de la materia orgánica.

Aunque hay estudios que muestran incrementos en el contenido de carbono de los suelos y su distribución entre las diferentes fracciones ante la inclusión de cultivos de cobertura, es escasa la información acerca del aporte de

N y ciclado de macronutrientes, y en menor medida, en micronutrientes por parte de los CC. El cinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn) son los micronutrientes mayormente vinculados con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos (Ratto, 2006). Debido a que en la región pampeana no son frecuentes las fertilizaciones con micronutrientes, la principal fuente de micronutrientes para los cultivos es la materia orgánica (Galantini *et al.*, 2008). La concentración de micronutrientes en el suelo puede llegar a variar no solo debido al manejo y su efecto sobre el contenido de materia orgánica, sino también de acuerdo al cultivo utilizado.

Dada la cantidad de factores involucrados (clima, suelo y manejo) y la fuerte interacción que hay entre ellos durante el ciclo del cultivo de cobertura y el barbecho posterior, los efectos de incluir cultivos de cobertura en la rotación sobre la calidad de los suelos y los rendimientos resultan muy variables entre sitios (Unger y Vigil, 1998). Es por ello que es necesario expandir los ensayos de acuerdo a la región y sistema de manejo, a fin de poder generar información acerca del efecto del uso de diferentes CC sobre la calidad de los suelos. El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto a corto plazo de la inclusión de trigo y vicia como cultivos de cobertura antecesores a cultivos de maíz y soja, sobre la disponibilidad de macro y micronutrientes, y su efecto sobre las distintas fracciones de la materia orgánica y nutrientes asociados en un Argiudol típico del partido de San Antonio de Areco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de área de estudio

El estudio se desarrolló en el período junio de 2014-julio de 2015, en establecimiento La Fe, ubicado en el partido de San Antonio de Areco, prov. de Bs. As. La unidad cartográfica correspondiente al área de estudio presenta un 100% de la serie de suelos Capitán Sarmiento (mapas de suelo INTA). Dicha serie es por superficie y capacidad productiva, la más importante del partido de San Antonio de Areco, habiendo sido clasificada como un Argiudol, fino, illítico, muy profundo, de textura franco arcillo limosa, y 3.4% de materia orgánica en el horizonte superficial. La temperatura media es de 16.5 °C, produciéndose las temperaturas medias mensuales más bajas en junio y julio, mientras que las medias mensuales más altas ocurren de diciembre a marzo. Por su parte, la precipitación media anual regional es de 1084 mm, ocurriendo el 75% de estas en primavera-verano.

Diseño experimental

El sitio de estudio estuvo en los diez años previos bajo agricultura continua con siembra directa; la sucesión de cultivos desde la campaña 2007/2008 fue la siguiente: maíz-barbecho-soja- maíz-verdeo de invierno-verdeo de invierno-verdeo de invierno-soja. En 2014 se inició el ensayo de cultivos de cobertura, siendo las especies utilizadas: vicia (*Vicia sativa* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.), consi-

derando también una situación sin CC (testigo). El ensayo consta de tres bloques de 40 x 30 m. Dentro de cada bloque se delimitaron las parcelas de 8 x 30 m, donde se establecieron los tratamientos. Posteriormente, a la siembra de los cultivos de grano cada parcela se subdividió en dos subparcelas de 8 x 15 m, sembrándose soja (*Glycine max* L.) y maíz (*Zea mays* L.) en cada una de ellas. Al momento de la fertilización del maíz (estado V6), las parcelas que presentaban dicho cultivo se volvieron a dividir para determinar dos niveles de fertilización (0 y 150 kg ha⁻¹ de N). Por lo tanto, cada bloque incluyó tres tratamientos conformados por dos cultivos de cobertura de invierno, trigo y vicia y un barbecho, sobre cada uno de los cuales se implantaron dos cultivos de grano, soja y maíz, estando el maíz afectado a dos niveles de fertilización: sin fertilizar, y fertilizado.

Se trabajó bajo un diseño de parcelas divididas con dos factores (cultivos de cobertura y cultivos de grano). Para el caso del maíz se procedió de igual manera con los factores cultivos de cobertura y nivel de fertilización. En cada caso se analizó la existencia de interacción entre factores, a fin de realizar el análisis de forma conjunta o separada.

Las densidades de siembra para el trigo y la vicia fueron de 110 y 70 kg ha⁻¹, respectivamente. A la siembra, la vicia fue inoculada con *Rhizobium leguminosarum biovar viceae*. El ciclo de los CC se interrumpió 3 meses posteriores a la siembra con 4 L ha⁻¹ de glifosato (48% principio activo). El cultivo de soja se inoculó con *Bradyrhizobium* sp. Para la fertilización del maíz se aplicó urea al voleo en el entresurco.

Se tomaron muestras de suelo a la cosecha de los cultivos de grano a 0-5 cm de profundidad.

Determinaciones analíticas y análisis estadístico

A la cosecha de los cultivos de grano se realizó la determinación de macro (Ca, Mg, K) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn). Para la extracción de bases: calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), se utilizó el método del acetato de amonio (NH₄ C₂ H₃ O₂) 1 N a pH 7.0 (Peech *et al.*, 1947). Para la cuantificación de micronutrientes asimilables: cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), se realizó la extracción con DTPA (pH: 7.3). Las concentraciones de macro y micronutrientes en los extractos se midieron con equipo de espectrofotometría de absorción atómica (SpectraAA-140, Varian Pty Ltd. Belrose, Australia).

Para la determinación de carbono, nitrógeno orgánico y fósforo total en fracciones de diferente labilidad se realizó un fraccionamiento físico de muestras de suelo (Cambardella y Elliott, 1992), modificado por Galantini (2005). Para ello, se pesaron 50 g de suelo secado al aire y tamizado (2 mm), y se agregaron 100 ml de agua destilada. A continuación, las muestras se sometieron a dispersión mecánica a través de un agitador rotatorio durante 16 horas a 40 rpm para desintegrar los agregados. Las muestras de suelo dispersadas fueron pasadas por un juego de tamices de 105 µm y 53 µm de abertura. Se obtuvieron, entonces, tres fracciones de suelo: una fracción particulada gruesa

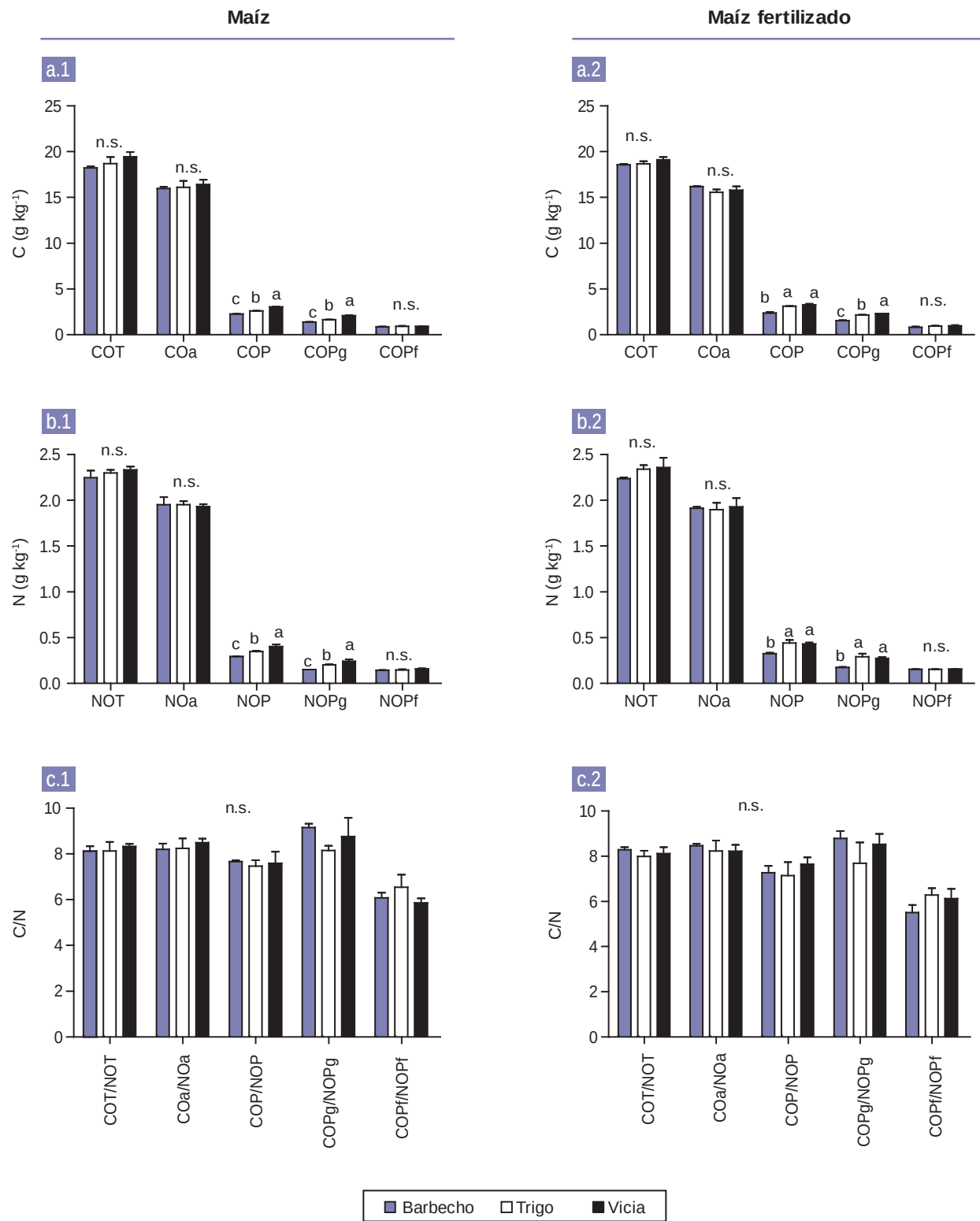


Figura 1. Valores medios y error estándar de a) carbono orgánico total (C) y b) nitrógeno total (N), c) relación C/N en las diferentes fracciones de suelo bajo cultivo de 1) maíz, 2) maíz fertilizado para los tratamientos con barbecho, trigo y vicia como cultivos de cobertura. COT: carbono orgánico total, COa: carbono orgánico asociado a las arcillas, COPg: carbono orgánico particulado grueso, COPf: carbono orgánico particulado fino, COP: carbono orgánico particulado, NOa: nitrógeno orgánico asociado a las arcillas, NOPg: nitrógeno orgánico particulado grueso, NOPf: nitrógeno orgánico particulado fino, NOP: nitrógeno orgánico particulado. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

Elaboradas para la presente edición.

(105-2000 μm); una fracción particulada fina (53-105 μm) y la fracción asociada a las arcillas ($< 53 \mu\text{m}$). El material retenido en cada tamiz se transfiere a bandejas de aluminio por medio de chorros de agua, y luego es secado en estufa a 80 °C hasta lograr la completa evaporación del agua. El contenido de C en las fracciones gruesa (COPg) y fina (COPf) se determinó según Walkey y Black (1934). El nitrógeno orgánico total de la fracción gruesa (NOPg) y de la fracción fina (NOPf), se determinó mediante el método de Kjeldahl (Bremner, 1996). La cuantificación del P total en la fracción gruesa (POPg) y en la fracción fina (POPf) se realizó por digestión húmeda con una mezcla de ácido nítrico y perclórico (relación 2:1). Las lecturas de Pt se hicieron por colorimetría con el método del molibdato de amonio, con un espectrofotómetro METROLAB 1700, a una longitud de onda de 820 nm (Murphy y Riley, 1962). El contenido de C, N y P en la fracción asociada a las arcillas (COa, NOa y POa, respectivamente) se determinaron por diferencia entre el contenido en la muestra de suelo sin fraccionar (COT, NOT y Pt) y la suma del contenido en la fracción fina + la fracción gruesa, que corresponde a las fracciones particuladas totales (COP, NOP y POP).

Previo a cualquier análisis de los datos se verificó que las variables tuviesen distribución normal, utilizando el procedimiento de Shapiro Wilks. Los datos fueron analizados mediante análisis de la varianza (ANOVA) y posteriormente para la comparación de medias se utilizó la prueba de diferencia de medias significativas de Fisher (DMS) con un nivel de significancia de 0.05. También se hicieron análisis de regresión lineal simple entre las relaciones de C/N y C/P de las diferentes fracciones con el C, N y P en las mismas fracciones. Se utilizó el Software InfoStat, versión 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono, Nitrógeno y relación C/N en las diferentes fracciones de suelo

Maíz

Bajo cultivo de maíz fertilizado y no fertilizado, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para el COT, COPf y COa, independientemente del CC utilizado (Figura 1a.1 y a.2). Sin embargo, el COP y COPg bajo cultivo maíz fueron significativamente mayores en el tratamiento con vicia como CC, seguido por el de trigo y finalmente el barbecho, con incrementos relativos respecto al barbecho de 34% y 51% para COP y COPg respectivamente cuando el CC fue vicia, y 20% y 15% con trigo como CC. Los valores de COPg se incrementaron significativamente ($p < 0.05$) para los tratamientos con CC cuando el maíz fue fertilizado. Estos incrementos fueron en promedio de 10.6% (2.09 a 2.31 g kg^{-1}) y 30% (1.65 a 2.15 g kg^{-1}) para vicia y trigo, respectivamente. Migliarina *et al.* (2000) observaron que la inclusión de CC combinada con prácticas de fertilización incrementa los efectos positivos sobre las fracciones orgánicas. Estos resultados concuerdan con los hallados por Fabrizzi *et al.* (2003), quienes manifestaron que las fracciones lábiles de C son las que mejor responden a las va-

riaciones causadas por las diferentes prácticas de manejo, especialmente la fracción gruesa (COPg). Según Janzen *et al.* (1998), la acumulación en el corto y mediano plazo del C correspondiente a la fracción gruesa en respuesta a los cambios en las prácticas de manejo puede ser atribuida principalmente a la acumulación de materiales orgánicos lábiles parcialmente descompuestos.

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para NOT, NOPf y NOa independientemente de la fertilización (figura 1b). Por su parte, el NOP y el NOPg fueron estadísticamente mayores en el tratamiento con vicia, seguido por el de trigo, con los valores menores para el barbecho (figura 1b.1). Cuando el cultivo de maíz fue fertilizado (figura 1 b.2), los valores de NOP y NOPg en las parcelas provenientes de trigo, igualaron estadísticamente a los correspondientes del CC vicia, siendo ambos mayores que en el barbecho ($p < 0.05$). Los incrementos del NOPg en el tratamiento con trigo como CC fueron de un 29% ($p < 0.10$) cuando el maíz fue fertilizado respecto al mismo tratamiento sin fertilizar, sin diferencias significativas para el tratamiento con vicia.

Según los datos observados en la figura 1c, no se advirtieron diferencias significativas en la relación C/N en las distintas fracciones de suelo estudiadas bajo cultivo de maíz, independientemente de la fertilización aplicada.

Soja

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para COT y Coa bajo cultivo de soja (figura 2a). Por su parte, las fracciones COPg, COPf y COP fueron estadísticamente mayores en el tratamiento con vicia, seguido por el de trigo, siendo los menores valores los encontrados en el barbecho. La cantidad de COPg acumulado en el suelo con vicia fue 4% mayor que con trigo y 7% más que bajo barbecho. Al igual que lo discutido para el maíz, estos resultados se deben a que el COPg es sensible a los efectos del manejo en el corto y mediano plazo (Galantini *et al.*, 2013), y por lo tanto el incremento de C en la fracción lábil, responde principalmente a la presencia de rastrojo en superficie que provoca un intenso reciclaje de este elemento en los primeros centímetros del suelo (Wander, 2004). Este comportamiento también obedece a la mayor rapidez en la descomposición de los rastrojos de las leguminosas en comparación con las gramíneas. En este sentido, el aporte de material orgánico de fácil descomposición aportado por la vicia pudo haber estimulado el incremento de C en la fracción gruesa, mientras que en el barbecho luego de un período sin aportes de C aumentaría la proporción de material más resistente. Investigaciones previas (Ding *et al.*, 2005; Alvarez *et al.*, 2006; Scianca *et al.*, 2006) determinaron que los CC pueden realizar un aporte significativo de C, incidiendo tanto en la cantidad como en la calidad de la materia orgánica.

En la figura 2b, puede observarse que el N siguió una tendencia similar a la encontrada en el carbono del suelo en las diferentes fracciones, al igual que para el caso del

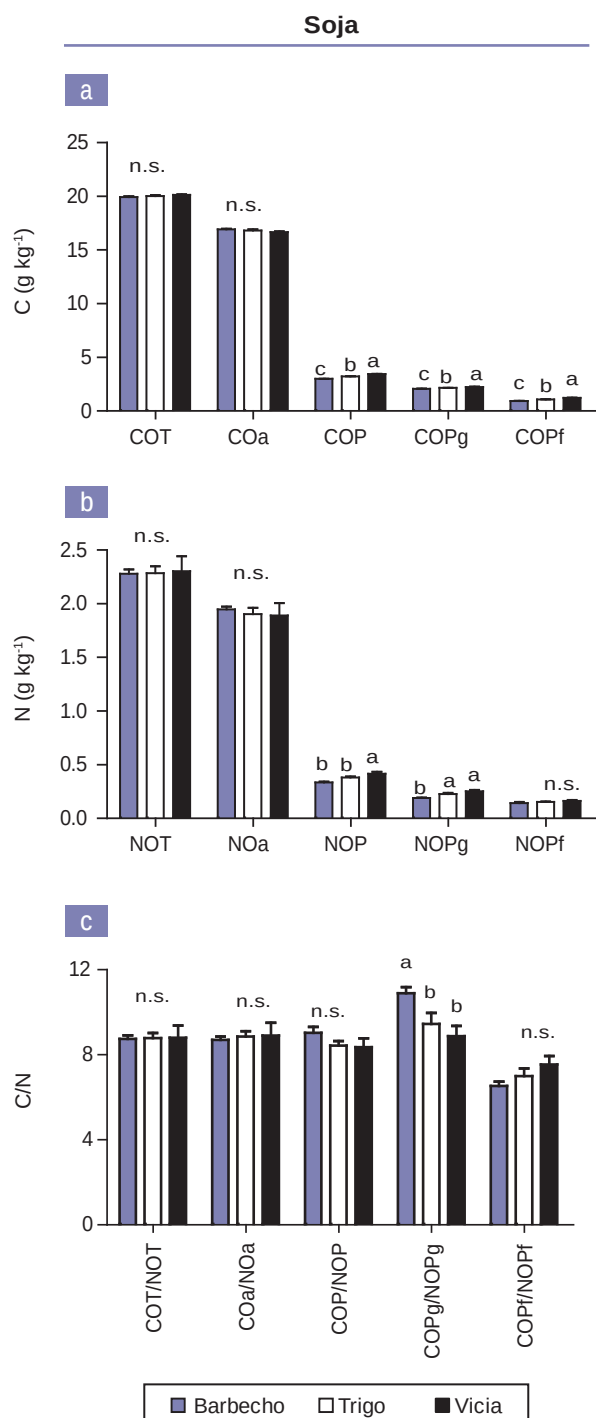


Figura 2. Valores medios y error estándar de a) carbono orgánico total (C) y b) nitrógeno total (N), c) relación C/N en las diferentes fracciones de suelo bajo cultivo de soja para los tratamientos con barbecho, trigo y vicia como cultivos de cobertura. COT: carbono orgánico total, CO a: carbono orgánico asociado con las arcillas, COPg: carbono orgánico particulado grueso, COPf: carbono orgánico particulado fino, COP: carbono orgánico particulado total, NOa: nitrógeno orgánico asociado con las arcillas, NOPg: nitrógeno orgánico particulado grueso, NOPf: nitrógeno orgánico particulado fino, NOP: nitrógeno orgánico particulado. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

Elaboradas para la presente edición.

maíz. Debido a que la mayoría del N del suelo es orgánico, existe siempre una estrecha asociación entre los contenidos de materia orgánica del suelo y de N total del suelo. El NOPg fue estadísticamente mayor cuando se incluyeron los CC respecto al barbecho, sin presentarse diferencias entre vicia y trigo (figura 2b). A su vez, el NOP incrementó estadísticamente sus valores solo con vicia como CC. Al evaluar la relación C/N en las diferentes fracciones (figura 2c), solo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para la relación COPg/NOPg. En este caso pudo observarse una disminución significativa en dicha relación cuando el CC fue la vicia, respecto a los otros dos tratamientos evaluados. Esto podría estar asociado con la mayor concentración de N presente en el rastrojo de las leguminosas, en comparación con la de trigo (Galantini *et al.*, 1992). Una mayor cantidad de N favorece el crecimiento de la comunidad microbiana, lo cual incrementa a su vez la pérdida de C como CO₂ en el proceso de respiración de los microorganismos (Colozzi-Filho *et al.*, 2001).

En la figura 3 puede observarse que la variación en la relación COPg/NOPg fue debido al incremento del NOP g, sin tener el COPg mayor influencia. Estos resultados coinciden con los reportados por Beltran *et al.* (2015), quienes evaluaron en un Argiudol típico la respuesta a la inclusión de trigo como CC en distintas secuencias de cultivos.

Álvarez y Álvarez (2000) concluyeron que la mineralización de C y N están más asociadas a las fracciones lábiles del C que al COT. De esta manera las fracciones lábiles de carbono podrían representar el tamaño del compartimiento fácilmente mineralizable de nutrientes, siendo de gran utilidad para el diagnóstico del potencial de mineralización de N del suelo (Fabrizzi *et al.*, 2003).

Fósforo total (P) y relación C/P en las diferentes fracciones de suelo

Maíz

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para Pt, POPf y POa bajo cultivo maíz, independientemente de la fertilización (figura 4a1 y 4a2). La incorporación de vicia como CC fue el único tratamiento que incrementó los valores de P ligado a la fracción gruesa y el P de la fracción particulada. Según Damon *et al.* (2014) los residuos de cultivos con baja concentración de P, como el rastrojo de los cereales, no realizaría una contribución significativa a la disponibilidad de P en el suelo a corto o largo plazo. Sin embargo, un abono verde productivo podría liberar suficiente P para cumplir con los requisitos de un cultivo de grano posterior.

La fertilización provocó un incremento promedio de 23% en el fósforo presente en la fracción particulada gruesa (POPg) en el tratamiento con trigo como CC ($p < 0.05$, datos no mostrados). El bajo incremento debido a la fertilización en el tratamiento con vicia como CC puede estar asociado a la mayor concentración de P que presenta la vicia respecto al trigo en sus tejidos vegetales (Malavolta,

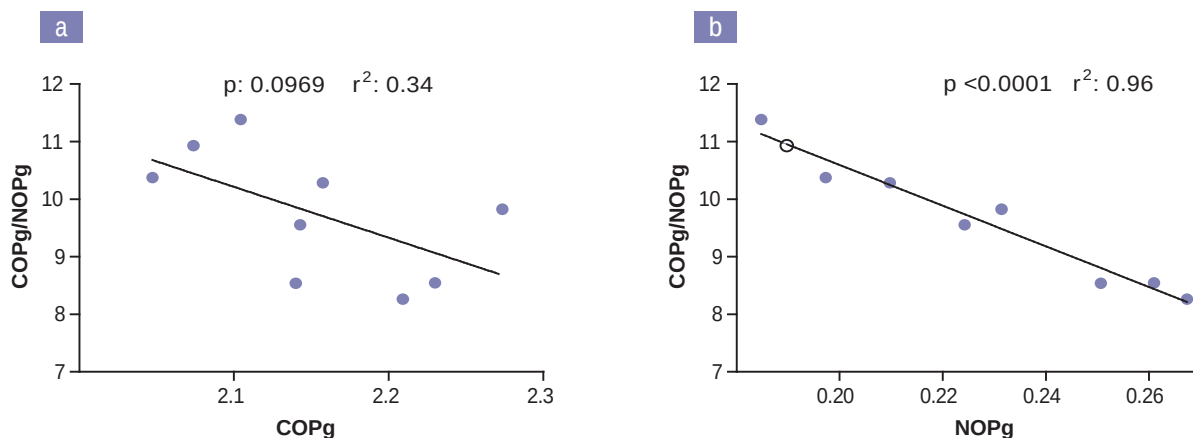


Figura 3. Regresión lineal entre los valores de a) relación COPg/NOPg y COPg; b) relación COPg/NOPg y NOPg. NOPg: nitrógeno particulado grueso, COPg: carbono orgánico particulado grueso.

Elaboradas para la presente edición.

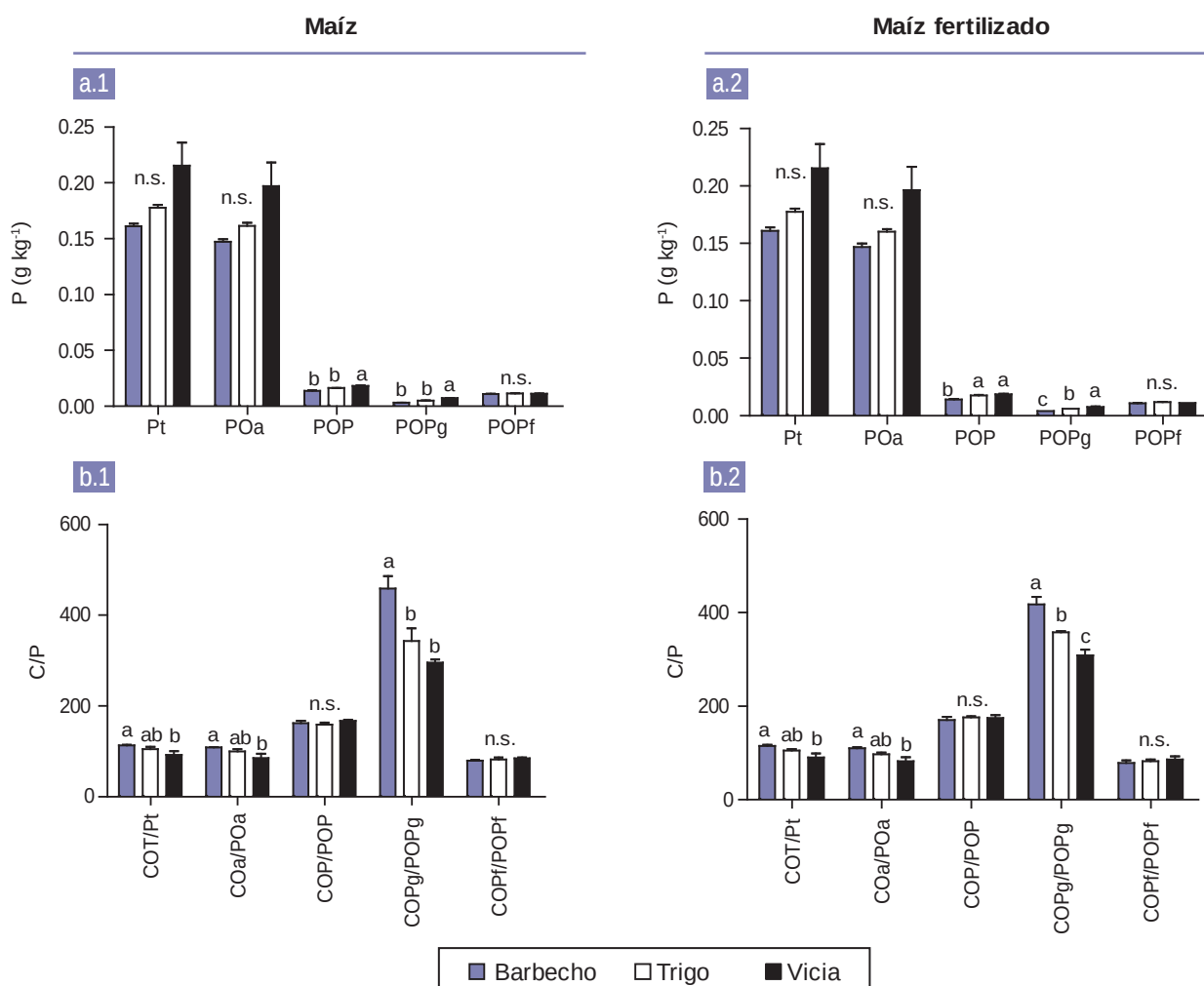


Figura 4. Valores medios y error estándar de a) fósforo total (P) y b) relación C/P en las diferentes fracciones de suelo bajo cultivo de 1) maíz y 2) maíz fertilizado para los tratamientos con barbecho, trigo y vicia como cultivos de cobertura. Pt: fósforo total, POa: fósforo asociado a las arcillas, POP: fósforo particulado total; POPg: fósforo particulado grueso, POPf: fósforo particulado fino, COT: carbono orgánico total, COa: carbono orgánico asociado con las arcillas, COPg: carbono orgánico particulado grueso, COPf: carbono orgánico particulado fino, COP: carbono orgánico particulado total. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

Elaboradas para la presente edición.

1987). Debido a que los residuos de trigo presentan menor concentración de P, el efecto de la fertilización pudo causar un incremento de la actividad biológica, acelerando la descomposición de los residuos, e incorporándose parte de estos en la fracción gruesa.

Se observaron variaciones en la relación C/P (figura 4b) en las fracciones total, asociada con las arcillas y mayormente en la particulada. La fracción de P particulado grueso es la que registró los mayores cambios, con una disminución significativa en la relación C/P al incorporar los CC, de 44,5% y 24,5%, para vicia y trigo respectivamente. En el maíz fertilizado, esta disminución fue significativamente mayor para el tratamiento con vicia. Considerando que la fracción gruesa está principalmente compuesta por restos del residuo del cultivo que aún no ha sido completamente incorporado a la MO, estos resultados pueden denotar la mayor concentración de P presente en los residuos del cultivo de vicia. La composición química de los residuos del cultivo es un factor importante que incide en la liberación de P al suelo. En un ensayo realizado por Lupwayi *et al.* (2007) encontraron que la liberación de P estuvo asociada con la mayor cantidad de P en los tejidos del trébol rojo en comparación con otros residuos de cultivos (arveja, canola y trigo).

Contrariamente a lo observado para la relación C/N (figura 1c) donde dicha relación no se vio afectada, en el caso de la relación C/P se observaron variaciones en las relaciones COT/Pt, COa/POa y COPg/POPg. Esta diferencia podría estar asociada con las mediciones que se realizan en ambos casos son de N y P total, siendo que en el caso del N aproximadamente un 95% se encuentra formando parte de compuestos orgánicos, mientras que en el P, la fracción orgánica representa entre 78% y 83% en suelos Molisoles (Picone *et al.*, 2001). Por este motivo al medir el P en las fracciones de menor tamaño, mayormente asociadas al componente mineral podemos estar cuantificando diferencias en las formas inorgánicas, lo que no sucedería

para el caso del N, donde solo un 5% o menos está en forma inorgánica.

En la figura 5 puede observarse que la variación en la relación COPg/POPg estuvo influenciada tanto por el COPg como por el POPg. Sin embargo la influencia del POPg fue mayor, por lo que la disminución en los valores de la relación COPg/POPg estarían mayormente asociados con incrementos en el POPg observados en los tratamientos con CC, en especial con vicia.

Soja

Al igual que en el cultivo de maíz, no se comprobaron diferencias significativas entre tratamientos para Pt, POPf y POa bajo cultivo de soja (figura 6a). En cambio el fósforo ligado a la fracción gruesa y el P particulado presentaron diferencias significativas. Al comparar los valores de POPg entre tratamientos pudo observarse que el tratamiento con CC vicia fue el que presentó los mayores valores, seguido por el tratamiento con trigo como CC, y finalmente el barbecho con los menores valores.

Las plantas absorben el P desde la fracción soluble del suelo, la que a su vez es abastecida por fracciones lábiles de naturaleza orgánica e inorgánica. Esta fracción de P lábil está en equilibrio con fracciones moderadamente lábiles y de muy baja labilidad (Ciampitti, 2009). El fósforo asociado con la fracción de la materia orgánica particulada es sensible a los cambios en la actividad microbiana (Chauhan *et al.*, 1979) y presenta un rápido cíclico (Tieszen *et al.*, 1983). Varios autores han reportado cambios rápidos durante la descomposición de los residuos (Phiri *et al.*, 2001; Salas *et al.*, 2003). A su vez, que dentro de los residuos de los CC (y, en consecuencia, de la materia orgánica particulada) podría haber una fracción de P inorgánico que se liberaría de un modo relativamente rápido (Damon

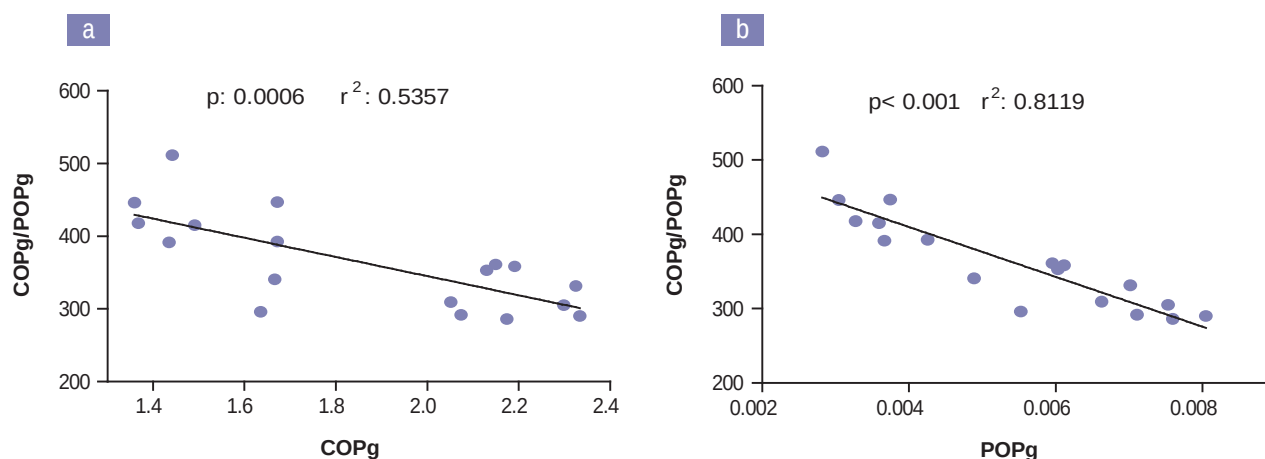


Figura 5. Regresión lineal entre los valores de a) relación COPg/POPg y COPg; b) relación COPg/POPg y POPg bajo cultivo de maíz, considerando todos los tratamientos. POPg: fósforo particulado grueso, COPg: carbono orgánico particulado grueso.

Elaboradas para la presente edición.

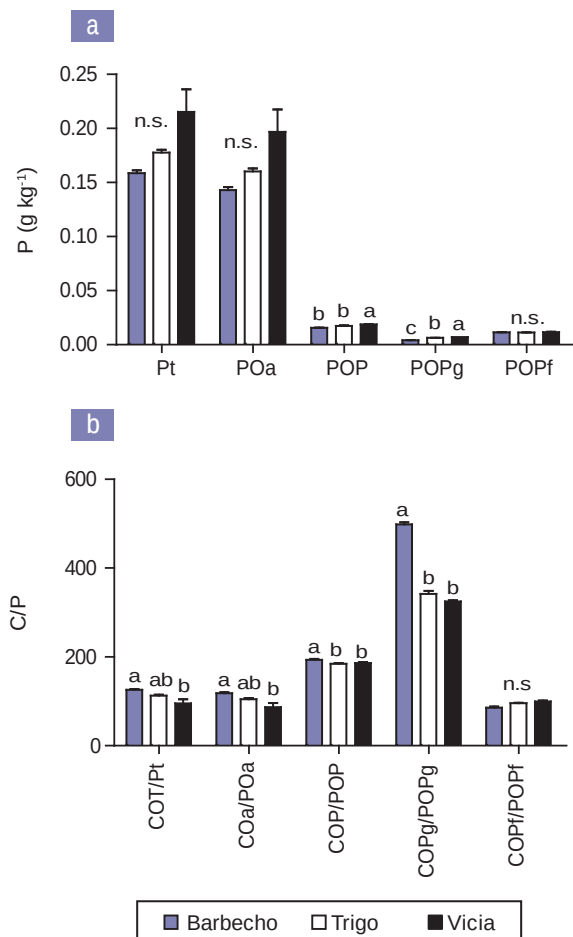


Figura 6: Valores medios y error estándar de a) fósforo total (Pt) y b) relación C/P en las diferentes fracciones de suelo bajo cultivo de Soja para los tratamientos con barbecho, trigo y vicia como cultivos de cobertura. Pt: fósforo total, POa: fósforo asociado con las arcillas, POP: fósforo particulado total; POPg: fósforo particulado grueso, POPf: fósforo particulado fino, COT: carbono orgánico total, COa: carbono orgánico asociado con las arcillas, COPg: carbono orgánico particulado grueso, COPf: carbono orgánico particulado fino, COP: carbono orgánico particulado total. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P<0.05$).

Elaboradas para la presente edición.

et al., 2014). Esta dinámica difiere de la observada para los nutrientes C y N dentro de la misma fracción. Varios trabajos muestran que los manejos que modifican la actividad microbiana, como las labranzas conservacionistas y la inclusión de CC, mejoran el ciclado del P (Zibilske *et al.*, 2003). Suñer *et al.* (2002) observaron que la fracción de P más afectada por el manejo agrícola es la asociada con los residuos semitransformados o materia orgánica particulada, principalmente la fracción más gruesa.

En la figura 7b puede observarse que las mayores variaciones en la relación C/P estarían ocurriendo en la fracción particulada gruesa, la cual está compuesta mayormente por restos de tejidos en proceso de descomposición. En este caso, al igual que lo observado bajo cultivo de maíz,

la inclusión de los CC disminuyó significativamente dicha relación en promedio un 49% ($p<0.05$). El aporte de los residuos de trigo y vicia enriquecería en C y P a la fracción particulada, aunque dicha relación estaría mayormente influenciada por los incrementos en el P (figura 7).

Macroelementos (Ca, Mg y K) y microelementos (Fe, Mn, Zn, Cu) disponibles en el suelo

Las concentraciones de Ca no presentaron variación significativa entre tratamientos, tanto bajo cultivo de maíz como de soja. Bajo cultivo de maíz los valores de Mg y K se incrementaron en promedio un 30% y 10% respectivamente al incorporar los CC, respecto al barbecho. El aumento de los contenidos de dichos elementos en el suelo posiblemente se debe al efecto de los CC en el reciclaje y movilización de formas estables, convirtiéndolos en forma asimilables para las plantas. La descomposición de los residuos de las plantas genera ácidos orgánicos fundamentales en el proceso de solubilización de los minerales del suelo (Senaratne y Hardarson, 1988). A su vez, los cultivos de cobertura presentan un efecto estratificador sobre las concentraciones de nutrientes, debido a que producen un incremento de estos en superficie (Calegari *et al.*, 2013). Los nutrientes son absorbidos por los CC en su etapa de crecimiento desde capas superficiales y subsuperficiales, y luego, al secarse e incorporarse como residuos en la superficie del suelo y durante la descomposición de los residuos se produce su liberación y acumulación en los primeros centímetros del suelo. Estos son acumulados por los cultivos durante la estación de crecimiento y cuando el CC es secado, estos nutrientes van quedando lentamente disponibles durante la descomposición.

A la cosecha del maíz las mayores concentraciones de Mn y Fe en suelo se observaron en el tratamiento con vicia como CC (con incrementos de 41% y 20% respecto al barbecho, respectivamente), mientras que las concentraciones de Zn y Cu no variaron entre los distintos tratamientos. Cuando el maíz fue fertilizado las concentraciones de Zn aumentaron un 22% y 3% para los tratamientos con CC de vicia y trigo respectivamente ($p<0.05$) en comparación con el maíz sin fertilizar (datos no mostrados). En el caso del Mn y Fe se registraron incrementos significativos cuando el CC fue trigo, con aumentos del 7% y 6% respectivamente, en comparación con el mismo tratamiento en el maíz sin fertilizar (datos no mostrados). La fertilización aplicada pudo haber acelerado la tasa de descomposición de los rastrojos de los CC con la consecuente liberación de estos elementos hacia las fracciones más lábiles del suelo.

A la cosecha de la soja, las mayores concentraciones de los micronutrientes se presentaron bajo el cultivo de vicia diferenciándose estadísticamente del barbecho. Esto, al igual que para el cultivo de maíz, puede explicarse por la mayor labilidad del rastrojo de vicia, lo que genera una liberación más rápida de los elementos presentes en sus tejidos. A su vez las concentraciones de Zn y Mn no variaron entre los distintos CC, pero sí con respecto al barbecho ($p<0.05$), con incrementos promedio del 37% y 19% respectivamente. Con

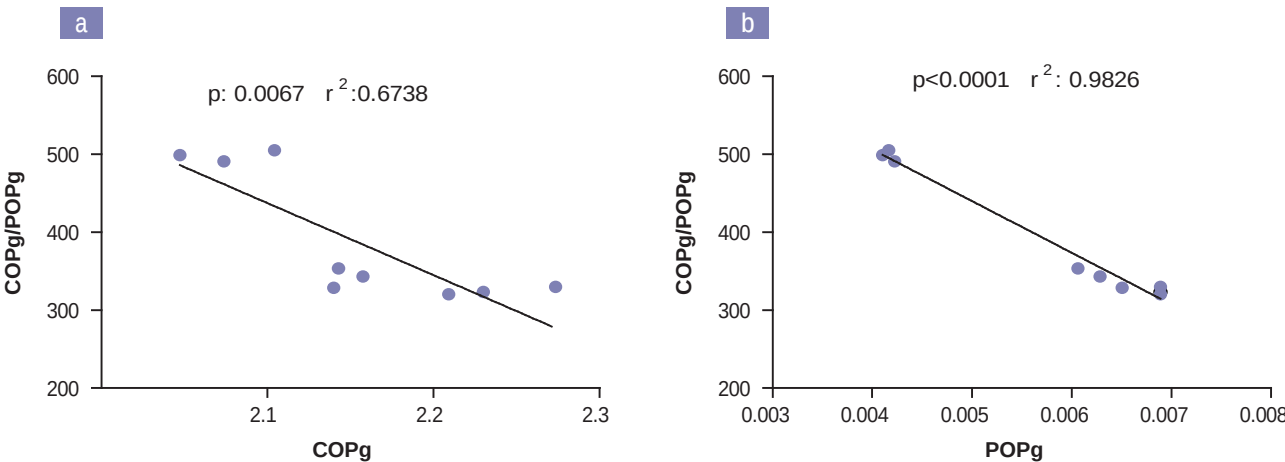


Figura 7. Regresión lineal entre los valores de a) relación COPg/Ppg y COPg; b) relación COPg/POPg y POPg bajo cultivo de soja, considerando todos los tratamientos. POPg: fósforo particulado grueso, COPg: carbono orgánico particulado grueso.

Elaboradas para la presente edición.

Barbecho				Trigo		Vicia	
Macronutrientes (g kg ⁻¹)							
Maíz	Ca	2.10	a	2.28	a	2.20	a
	Mg	0.23	b	0.31	a	0.29	a
	K	0.53	b	0.59	a	0.58	a
Maíz Fertilizado	Ca	2.10	a	2.31	a	2.31	a
	Mg	0.28	b	0.30	ab	0.30	a
	K	0.54	b	0.60	a	0.60	a
Soja	Ca	2.03	a	2.31	a	2.28	a
	Mg	0.22	a	0.31	a	0.29	a
	K	0.43	a	0.59	a	0.60	a
Micronutrientes (mg kg ⁻¹)							
Maíz	Zn	1.44	a	1.54	a	1.59	a
	Mn	37.09	b	43.73	b	52.31	a
	Cu	0.70	a	0.76	a	0.81	a
	Fe	56.62	b	59.52	b	68.45	a
Maíz Fertilizado	Zn	1.47	b	1.59	b	1.94	a
	Mn	37.76	c	46.84	b	52.88	a
	Cu	0.71	a	0.83	a	0.81	a
	Fe	51.23	c	62.92	b	69.75	a
Soja	Zn	1.24	b	1.67	a	1.72	a
	Mn	37.30	b	44.03	a	44.34	a
	Cu	0.57	c	0.71	b	0.75	a
	Fe	49.91	b	54.54	ab	68.31	a

Tabla 1. Valores medios y error estándar para Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn, Cu en el suelo de 0-5 cm de profundidad para los tratamientos con CC de trigo, vicia y barbecho, bajo el cultivo del maíz (fertilizado y no fertilizado) y soja. Letras distintas indican diferencias significativas entre CC (p<0.05) para cada tratamiento.

Elaboradas para la presente edición.

la incorporación de vicia como CC el Cu y Fe incrementaron sus concentraciones 28% y 37% respectivamente, en comparación con el barbecho, mientras que en el caso del trigo solo el Cu incrementó un 28% su concentración.

Shuman *et al.* (1988) reportaron que durante la descomposición de la MO se liberan protones que pueden disminuir el potencial redox del suelo y de esta manera transformar el Mn en formas reducidas de mayor solubilidad. Además, la MO reacciona con el Cu y Mn del suelo formando complejos o quelatos, lo que facilita la solubilidad y disponibilidad de estos. Según Barber (1978) la distribución de cobre en el perfil correlaciona con la materia orgánica en forma positiva. A pesar de que en el presente trabajo no se encontraron diferencias significativas en los contenidos de MO entre tratamientos, si hubo diferencia en la cantidad de carbono lábil. En este caso, en el tratamiento con vicia como CC, donde se encontraron las mayores concentraciones de carbono lábil (figura 1a), también se encontraron las mayores concentraciones de micronutrientes.

CONCLUSIONES

La utilización de vicia y trigo como CC incrementó en el corto plazo (un ciclo de cultivo) y en los primeros centímetros del suelo (0-5 cm) el carbono, nitrógeno y fósforo en la fracción particulada de la materia orgánica del suelo, y especialmente en su fracción más lábil (fracción particulada gruesa), tanto bajo cultivo de maíz como de soja. Estos incrementos fueron mayores con la incorporación de vicia como CC.

La inclusión de vicia como CC produjo una disminución en la relación C/N de la fracción particulada gruesa bajo cultivo de soja. Por el contrario, la relación C/P disminuyó significativamente bajo ambos cultivos de grano, maíz y soja, en especial en la fracción gruesa de la materia orgánica. En ambos casos las variaciones estuvieron más asociadas al incremento del N y P que a las variaciones en el C.

A la cosecha del maíz, la incorporación de ambos CC produjo incrementos en las concentraciones de Mg y K en el suelo respecto al barbecho, mientras que el Fe y Mn disponibles solo aumentaron su concentración mediante la inclusión de vicia. A la cosecha de la soja, las concentraciones de micronutrientes (Zn, Mn, Cu y Fe) disponibles en suelo fueron mayores en los tratamientos con CC respecto al testigo, sin diferencias entre tratamientos para las concentraciones de Ca, Mg y K.

AGRADECIMIENTOS

Los fondos para la realización de este proyecto fueron aportados a través del proyecto específico "Estado y dinámica de nutrientes en suelo" del Programa Nacional de Suelos del INTA (PN-SUELOS 1134024).

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, C.; URIENS, A.; BAGNATO, R.; LIENHARD, C.P.; DIAZ-ZORITA, M. 2014. Dinámica de agua en barbechos y cultivos

de cobertura en la Región Semiárida. xxiv Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias húmicas" Producción sustentable en ambientes frágiles Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014.

ÁLVAREZ, C.; SCIANCA, C.; BARRACO, M.; DÍAZ ZORITA, M. 2008. Impacto del manejo de cereales de cobertura invernal sobre propiedades edáficas y producción de soja. xxi Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. Argentina. p. 424.

ÁLVAREZ, C.R.; TABOADA, M.A.; BUSTINGORRI, C.; GUTIERREZ BOEM, F.H. 2006. Descompactación de suelo en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. Ciencia del Suelo 24: 1-10.

ALVAREZ, R.; ALVAREZ, C. 2000. Soil organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:184-189.

BARBER, S.A. 1978. Influence of the plant root on ion movement in soil. En: CARSON, E.W. (ed.). The plant root and its environment. University Press of Virginia, 1974. Charlottesville, Virginia. pp 525-564.

BASANTA, M.V.; GHIOTTI, M.L.; GIUBERGIA, J.P.; LOVERA, E. 2010. Fracciones de carbono orgánico en un Haplustol bajo sistemas de agricultura continúa en la región central de Córdoba. xxii Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina. p. 199.

BELTRÁN, M.; BRUTTI, L.; ROMANIUK, R.; BACIGALUPPO, S.; SALVAGIOTTI, F.; SAINZ-ROZAS, H.; GALANTINI, J.A. 2015. Calidad de la materia orgánica en el suelo y disponibilidad de macro y micronutrientes en respuesta a la inclusión del trigo en distintas secuencias. Ciencia del Suelo. 25 (1): 14-15.

BODNER, G.; LOISKANDL, W.; BUCHAN, G.; KAUL, H.P. 2008. Natural and management-induced dynamics of hydraulic conductivity along a cover-cropped field slope. Geoderma 146, 317-325.

BREMNER, J.M. 1996. Nitrogen- Total. En: SPARKS, D.L. (ed.). Methods of soil analysis. Part. 3. Chemical Methods. Capítulo 37. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America y Crop Science Society of America, Madison. Wisconsin, Estados Unidos. pp. 1085-1121.

CALEGARI, A.; TIECHER, T.; HARGROVE, W.L.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M.F.; SANTOS, D.R. 2013. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. Soil Till. Res. 133: 32-39.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, T. 1992. Particulate organic matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of America Journal 56: 777-783.

CAVIGLIA, O.P.; SADRAS, V.O.; ANDRADE, F.H. 2011. Yield and quality of wheat and soybean in sole- and double-cropping. Agronomy Journal 103, 1081-1089.

CAZORLA, C.; GALARZA, C.; MORENO, I.; CISNEROS, J. 2010. Impacto del aporte de carbono de residuos en el carbono total y particulado y la estabilidad de agregados del suelo. xxii Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentino. p. 216.

CHAUHAN, B.S.; STEWART, J.W.B.; PAUL, A. 1979. Effect of carbon additions on soil labile inorganic, organic and microbial held phosphate. Canadian Journal of Soil Science 59: 387-396.

CIAMPITTI, I.A. 2009. Tesis Magister Scientiae en Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Capital Federal, Buenos Aires. p. 196.

COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; BALOTA, E.L. 2001. Atividade microbiana em solos cultivados em sistema plantio direto. Informe Agropecuario 22: 84-91.

DAMON, P.M.; BOWDEN, B.; ROSE, T.; RENGEL, Z. 2014. Crop residue contributions to phosphorus pools in agricultural soils: A review. Soil Biol. Biochem. 74: 127-137.

- DING, G.; LIU, X.; HERBERT, S.; NOVAK, J.; DULA, A.; XING, B. 2005. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma* 130, pp. 229-239.
- FABRIZZI, K.P.; MORÓN, A.; GARCÍA, F.O. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67:1831-1841.
- FERNÁNDEZ, R.; NOELLEMEYER, E.; QUIROGA, A. 2012. Cultivos de cobertura, una alternativa viable para la región semiárida pampeana. xx Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, Jujuy.
- GALANTINI, J.A.; DUVAL, M.; IGLESIAS, J.; MARTINEZ, J.M. 2013. Efectos de largo plazo de la siembra directa en el SO Bonaerense. Dinámica y balance de carbono. Boletín electrónico Cerezos, (UNSCerezos). AAPRESID, Bahía Blanca. pp. 27-32.
- GALANTINI, J.A.; IGLESIAS, J.; LANDRISCINI, M.R.; SUÑER, L.; MINOLDO, G. 2008. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. En: GALANTINI, J.A. (ed.). Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. EdUNSA. Bahía Blanca, Argentina. pp. 71-95.
- GALANTINI, J.A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: MARBAN, L. et al. (eds.). Información y Tecnología en los Laboratorios de Suelos para el Desarrollo Agropecuario Sostenible. Asociación Argentina de Ciencia del Suelo.
- GALANTINI, J.A.; ROSELL, R.A.; ANDRIULO, A.; MIGLIERINA, A.; IGLESIAS, J. 1992. Humification and nitrogen mineralization of crop residues in semid-arid Argentina. *Sci. Total Environ.* 117: 263-270.
- GARCÍA, F.; PICONE, L.; BERARDO, A. 2006. Fósforo. En: ECHEVERRÍA, H.E.; GARCÍA, F.O. (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 99-121.
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P.; TOWNLEY-SMITH, L. 1992. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1799-1806.
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; IZAURRALDE, R.C.; ELLERT, B.H.; JUMA, N.; MCGILL, B.W.W.; ZENTNER, R.P. 1998. Management effects on soil C storage on the Canadian Prairies. *Soil Tillage Res.* 47:181-95.
- KASPAR, T.C.; SINGER, J.W. 2011. En: Hatfield J.L., y T.J. Sauer, Ed. The Use of Cover Crops to Manage Soil. Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Guilford Road, Madison, EUA. 321-337.
- KASPAR, T.C.; JAYNES, D.B.; PARKIN, T.B.; MOORMAN, T.N. 2007. Rye cover crop and gamagrass strip effects on NO₃ concentration and load in tile drainage. *J. Environ. Qual.* 36:1503-1511.
- KASPAR, T.C.; RADKE, J.K.; LAFLEN, J.M. 2001. Small grain cover crops and wheel traffic effects on infiltration, runoff, and erosion. *J. Soil Water Conserv.* 56:160-164.
- LIEBMAN, M.; DAVIS, A.S. 2000. Integration of soil, crop, and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research* 40:27-47.
- LUPWAYI, N.Z.; CLAYTON, G.W.; O'DONOVAN, J.T.; HARKER, K.N.; TURKINGTON, T.K.; SOON, Y.K. 2007. Phosphorus release during decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Soil Till. Res.* 95: 231-239.
- KUO, S.; JELLUM, E.J. 2000. Long-term winter cover cropping effects on corn (*Zea mays* L.) production and soil nitrogen availability. *Biol. Fertil. Soils* 31:470-477.
- QUIROGA, A.; FERNÁNDEZ, R.; FRASIER, I.; SCIANCA, C. 2009. Cultivos de cobertura. Análisis de su inclusión en distintos sistemas de producción. Jornadas Cultivos de Cobertura. UNSCerezos, CRIBABB, p.16.
- MALAVOLTA, E. 1987. Manual de Calagem e Adubacao das Principais Culturas. Editorial Agronomica Ceres LTDA, Sao Paulo. p. 496.
- MIGLIERINA, A.M.; IGLESIAS, J.O.; LANDRISCINI, M.R.; GALANTINI, J.A.; ROSELL, R.A. 2000. The effects of crop rotations and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. 1. Soil physical and chemical properties. *Soil Tillage Research* 53: 129-135.
- MURPHY, J.; RILEY, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27: 31-36.
- NOVELLI, L.E.; CAVIGLIA, O.P.; WILSON, M.G.; SASAL, M.C. 2013. Land use intensity and cropping sequence effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol. *Geoderma* 195-196:260-267.
- PEECH, M.; ALEXANDER, L.T.; DEAN, L.A.; REED, J.F. 1947. Methods of soil analysis for soil-fertility investigations. USDA circ. 757, Washington, D.C. p. 25.
- PHIRI, S.; BARRIOS, E.; RAO, I.M.; SINGH, B.R. 2001. Changes in soil organic matter and phosphorus fractions under planted fallows and a crop rotation on a Colombian volcanic soil. *Plant and Soil* 231: 211-223.
- PICONE, L.I.; ZAMUNER, E.; BERARDO, A.; MARINO, M.A. 2001. Phosphorus transformations as affected by sampling date and fertilizer rate, and phosphorus uptake in soil under pasture. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 67, 225-232.
- RANELLS, N.; WAGGER, M. 1996. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agron. J.* 88, 777-782.
- RATTO, S.E. 2006. Los microelementos en el sistema productivo del area pampeana. En: VAZQUEZ, M. (ed.). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. pp. 79-112.
- REICOSKY, D.C.; FORCELLA, F. 1998. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. *J. Soil Water Conserv.* 53:224-229.
- RESTOVICH, S.B.; ANDRIULO, A.E.; PORTELA, S.I. 2012. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research*, 128:62-70.
- RESTOVICH, S.; ANDRIULO, A.; AMÉNDOLA, C. 2011. Introducción de los cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades de suelo. *Rev. Ciencia del Suelo*. Vol 29(1): 61-73.
- RUFFO, M.L.; BOLLERO, G.A. 2003. Residue decomposition and prediction of carbon and nitrogen release rates based on biochemical fractions using principal-component regression. *Agron. J.* 95:1034-1040.
- SAINJU, U.M.; BINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F.; WANG, F. 2007. Accumulation and Crop Uptake of Soil Mineral Nitrogen as Influenced by Tillage, Cover Crops, and Nitrogen Fertilization. *Agron. J.* 99: 682-691.
- SALAS, A.M.; ELLIOT, E.; WESTFALL, D.; COLE, C.; SIX, J. 2003. The Role of Particulate Organic Matter in P Cycling. *Soil Science Society of America Journal* 67: 181189.
- SCIANCA, C.; ÁLVAREZ, C.; BARRACO, C.; PÉREZ, A.M.; QUIROGA, A. 2006. Cultivos de cobertura en sistemas orgánicos. Aporte de carbono y dinámica de malezas. Actas del xx Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).
- SENARATNE, R.; HARDARSON, J. 1988. Estimation of the residual N effect of faba bean and pea on two succeeding cereals using 5N methodology. *Plant and Soil* 110, 81-89.
- SHUMAN, L.M.; ANDERSON, O.E. 1978. Relationship of extractable soil manganese to soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:666-667.

SUÑER, L.G.; GALANTINI, J.A.; ROSELL, R.A.; CHAMADOIRA, M.D. 2002. Cambios en el contenido de las formas de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana cultivados con trigo. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 104 (2): 105-111.

TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; MOIR, J.O. 1983. Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle fractions during 60-70 years of cultivation. *Journal of Soil Science* 34: 815-823.

UNGER, P.W.; VIGIL, M.F. 1998. Cover crops effects on soil water relationships. *J Soil Water Cons* 53 (3): 200-207.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. 1934. An examination of De-gtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37, 29-37.

WANDER, M. 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. En: MAGDOFF, K.; WEIL, R.R. (eds.) *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida, EE. UU. pp. 67-102.

ZIBILSKE, L.M.; BRADFORD, J.M. 2003. Tillage effects on phosphorus mineralization a microbial activity. *Soil Science* 168(10): 677-685.