



CONTRIBUCIÓN DE LAS RAÍCES DE CULTIVOS DE COBERTURA A LAS RESERVAS DE CARBONO DEL SUELO

Frasier, I^{1,2*}; S. B. Restovich³

¹ Instituto de Suelos, CIRN-CNIA,

² CONICET,

³ Grupo Gestión Ambiental EEA INTA Pergamino.

*De los Reseros y Nicolás Repetto s/n, B1686 Hurlingham, Provincia de Buenos Aires.

frasier.ileana@inta.gob.ar

RESUMEN

Las raíces de los cultivos de cobertura (CC) podrían contribuir sustancialmente a la formación de carbono orgánico del suelo (COS). Los objetivos del trabajo fueron: i) cuantificar la biomasa de raíces de diferentes CC y el efecto acumulado de la fertilización del cultivo estival en la rotación; y ii) evaluar la relación entre la biomasa de raíces, las reservas de COS, la estabilidad estructural (EE) y la abundancia de proteínas "tipo glomalina". El estudio se realizó en las parcelas experimentales de CC en INTA Pergamino. Se tomaron muestras de material vegetal aéreo y subterráneo de diferentes CC (cebada forrajera, raigrás, avena, cebadilla, vicia, colza, nabo forrajero y avena+vicia) y de suelo para determinar COS, su fracción lábil (COP), EE y glomalina fácilmente extraíble a 0-5, 5-10 y 10-20 cm de profundidad. Los CC combinados con fertilización nitrogenada al maíz generaron una mayor biomasa aérea (3247 kg ha⁻¹) con respecto a los tratamientos no fertilizados (2733 kg ha⁻¹). En 0-5 cm, la biomasa radical fue mayor en avena+vicia, cebadilla, raigrás y colza mientras que en 0-20 cm, no se encontraron diferencias en la biomasa de raíces (1616 kg ha⁻¹), presentando una mayor R:S las parcelas sin fertilización con respecto a las parcelas fertilizadas. La biomasa de raíces se relacionó de forma lineal y positiva con el COP, COS y EE. A su vez la variación en la EE también fue explicada por las glomalinas y el COS en los primeros 0-5 cm de suelo. Los resultados preliminares de este trabajo aportan conocimiento acerca de las diferentes vías a través de las cuales las raíces y la microbiota del suelo pueden influenciar la dinámica del carbono y la agregación en el suelo en sistemas agrícolas que incluyen CC.

Palabras clave: estabilidad estructural, glomalinas, sistemas agrícolas

INTRODUCCIÓN

Las raíces de las plantas contribuyen sustancialmente a la formación de carbono orgánico del suelo (COS) a través de tres vías principales: i) el aporte de biomasa de raíces (material muerto estructural) que contribuye con la acumulación de carbono orgánico particulado (COP), ii) la liberación de compuestos orgánicos por rizodeposición y, iii) la estimulación de la microbiota edáfica por los exudados radicales, que contribuyen con el aporte de compuestos orgánicos simples, los cuales pueden estabilizarse en la fase mineral del suelo (Jastrow et al., 2007; Pausch & Kuzyakov, 2018; Sokol et al., 2019). La última vía además involucra la acumulación de necromasa microbiana que puede constituir más de la mitad del carbono orgánico adsorbido en la fracción mineral del suelo (Liang et al., 2019). Sin embargo, los mecanismos involucrados en la estabilización del COS están siendo cuestionados, presentándose la necesidad de unificar visiones y aportar mayor conocimiento a campo acerca del rol de las raíces y la microbiota del suelo en este proceso (Poirier et al., 2018).

La inclusión de cultivos de cobertura (CC) en los sistemas de producción, combinados con siembra directa y



fertilización al cultivo de cosecha, constituye una estrategia que mantiene y/o mejora las reservas de C en el suelo (Frasier et al., 2016; Restovich et al., 2019). El aporte de raíces vivas durante todo el año contribuiría con una mayor eficiencia en el almacenamiento del COP y el asociado a la fracción mineral (Sanaullah et al., 2011; Sokol & Bradford, 2018). Adicionalmente, permitiría una mayor estabilidad de las poblaciones de hongos micorrícicos cuyo rol no ha sido clarificado aún, pero sus secreciones y necromasa microbiana también podrían contribuir a la formación del COS y mejorar la estabilidad estructural edáfica (EE) (Frey, 2019; Rillig, 2004).

Los objetivos del trabajo fueron: i) cuantificar la biomasa de raíces de diferentes CC y el efecto acumulado de la fertilización del cultivo estival en la rotación; y ii) evaluar la relación entre la biomasa de raíces, las reservas de COS, la EE y la abundancia de proteínas "tipo glomalina".

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un ensayo de larga duración que inició en el año 2005, ubicado en INTA Pergamino (33° 52' S; 60° 33' W). El suelo es un Argiudol típico (Taxonomía de suelo del USDA) de la serie Pergamino, con un horizonte A franco limoso sin fase erosionada (<0,3% de pendiente) y un fuerte horizonte B argílico. El clima en el área de estudio es templado húmedo sin una estación seca. La temperatura media anual es de 16.5 ° C y precipitaciones promedio de 984 mm. El ensayo tiene una secuencia soja-maíz con inclusión de diferentes CC: cebada forrajera, raigrás, avena, cebadilla, vicia, colza, nabo forrajero y avena+via. El diseño experimental es en bloques con parcelas divididas con tres repeticiones. Las parcelas principales (30 m × 10 m) corresponden al CC y las subparcelas a dosis de fertilizante nitrogenado (0 y 32 kg N ha⁻¹) aplicado al maíz en V4-6. En abril de 2015, se extrajeron muestras de suelo disturbadas para determinar la EE (Douglas y Goss, 1982), COS (Bremner & Jenkinson, 1960), COP > a 53 µm (Cambardella & Elliott, 1993) y glomalina fácilmente extraíble (Wright & Upadhyaya, 1996) a 0-5, 5-10, 10-20 cm de profundidad. Por otro lado, al momento del secado de los CC, durante agosto, se realizó el muestreo de biomasa aérea y raíces por cada subparcela a partir de una muestra de 0,25 m² y utilizando monolitos de 0.035 m² (por profundidad), respectivamente. A partir de estos datos se calculó el cociente entre la biomasa de raíces y biomasa aérea (R:S). Los análisis de varianza se llevaron a cabo utilizando modelos lineales mixtos y la comparación de medias con LSD Fisher y nivel de significancia p<0,05 utilizando InfoStat (Di Rienzo et al., 2020). Se aplicaron modelos de regresión lineal y no lineal para establecer relaciones entre las variables bajo estudio. Para la relación entre raíces y COS se utilizó un modelo no lineal de saturación de C (Frasier et al., 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de biomasa aérea y subterránea de los CC no presentó interacción significativa entre especie y fertilización (Figura 1). Los CC combinados con fertilización nitrogenada al maíz generaron una mayor biomasa aérea (3247 kg ha⁻¹) con respecto a los tratamientos no fertilizados (2733 kg ha⁻¹) en 0-20 cm. No se encontraron diferencias en la biomasa de raíces (1616 kg ha⁻¹), presentado mayor R:S en las parcelas sin fertilización con respecto a las parcelas fertilizadas. Por otro lado, la biomasa aérea en avena-vicia y vicia (4260 kg ha⁻¹) fue superior al resto de los tratamientos. La consociación de avena con vicia representó un incremento en biomasa aérea del 28% respecto de avena sin consociar, sin cambios en la relación R:S (0.4). La presencia de vicia en la mezcla ingresa N al sistema, a partir de la fijación biológica, y se transfiere a otras especies no leguminosas (Giacomini et al. 2003), probablemente mejorando la producción de biomasa total. Por el contrario, los valores más bajos de biomasa aérea se registraron en raigrás, cebadilla, colza y nabo, sin diferencias entre sí (2310 kg ha⁻¹) con una alta relación R:S. En relación a la cantidad de raíces por profundidad, observamos que la biomasa radical fue mayor en avena-vicia, cebadilla, raigrás y colza en los primeros 0-5 cm, mientras que en los estratos inferiores las diferencias no fueron tan evidentes (datos no mostrados).



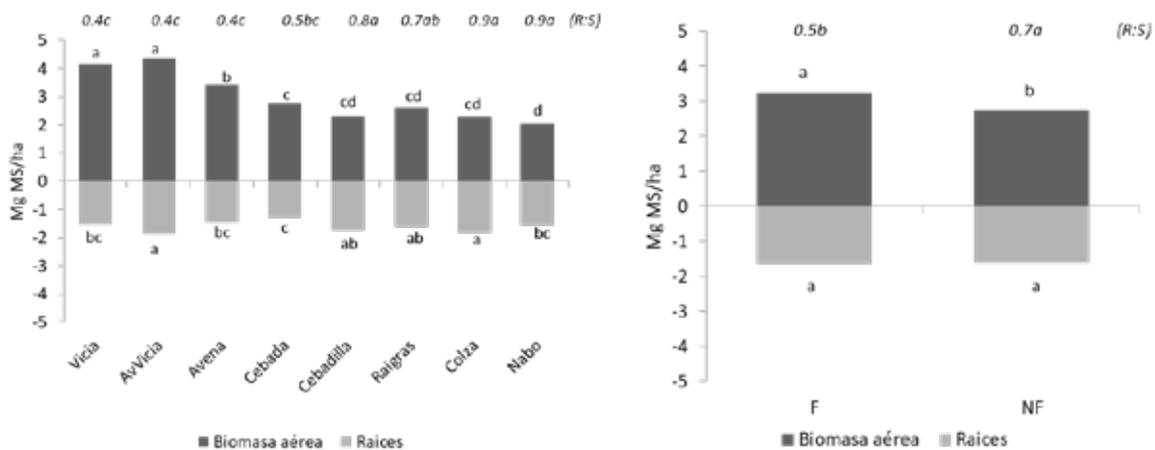


Figura 1. Biomasa aérea, radical (0-20 cm) y la partición raíz: parte aérea (R:S) de diferentes cultivos de cobertura luego de 10 años de fertilización con N en el cultivo estival. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). (F: fertilizado; NF: no fertilizado)

Los resultados muestran una relación lineal y positiva entre la biomasa de raíces y el COP (Figura 3). Esta fracción de la materia orgánica es susceptible a los cambios en el manejo del suelo, y por ende, dependiente de las entradas de C al suelo (Quiroga et al., 1996). Las raíces explicaron variaciones en el COS ajustándose a un modelo de incrementos decrecientes hasta alcanzar un nivel de saturación de 15.6 Mg ha^{-1} para 0-5 cm de profundidad. Este modelo conceptual propone que la capacidad de un suelo para estabilizar C puede estar limitada en relación a los aportes de C al suelo (Stewart et al., 2008). Adicionalmente, la producción de biomasa aérea de los CC también se relacionó con el COS en los primeros 0-5 cm ($y = 0.0005x + 11.283$; $R^2 = 0.34$; $p = 0.017$).

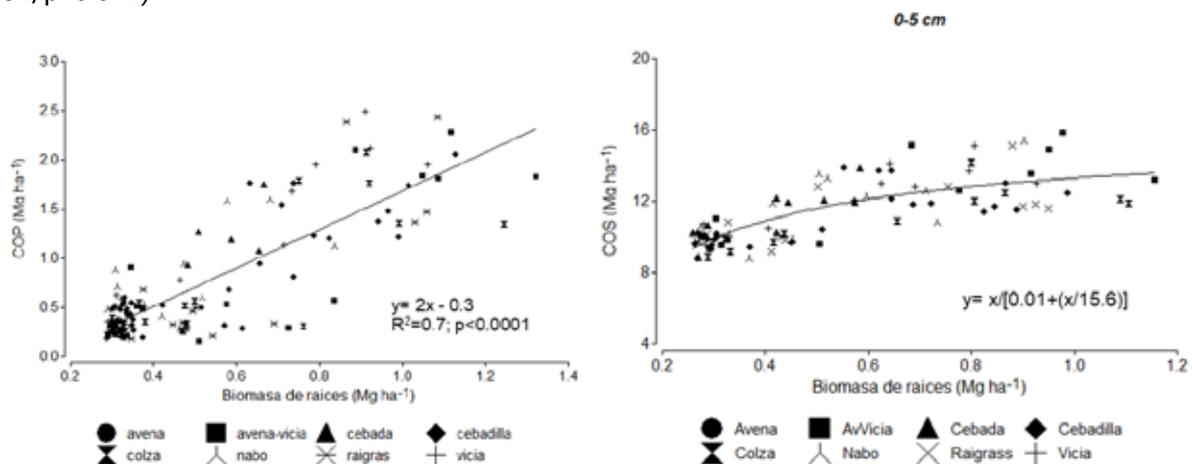


Figura 3. Relación entre la biomasa de raíces, el carbono orgánico particulado (COP) y el carbono orgánico del suelo (COS) en la secuencia soja-maíz con diferentes CC luego de 10 años de rotación bajo siembra directa.

Las raíces pueden liberar una gran variedad de compuestos orgánicos como parte del proceso de rizodeposición, que puede ser equivalente al 50% del contenido de C de la biomasa de raíces (Jones et al., 2009). Estos compuestos actúan como agentes aglutinantes en la agregación de partículas minerales del suelo favoreciendo la formación y estabilización de los agregados (Shahzad et al., 2015). En ese sentido, los resultados mostraron que el aporte de raíces vivas todo el año por la inclusión de CC explicó el 50% de las variaciones encontradas en el porcentaje de EE del suelo, independientemente de la fertilización nitrogenada (Figura 4).

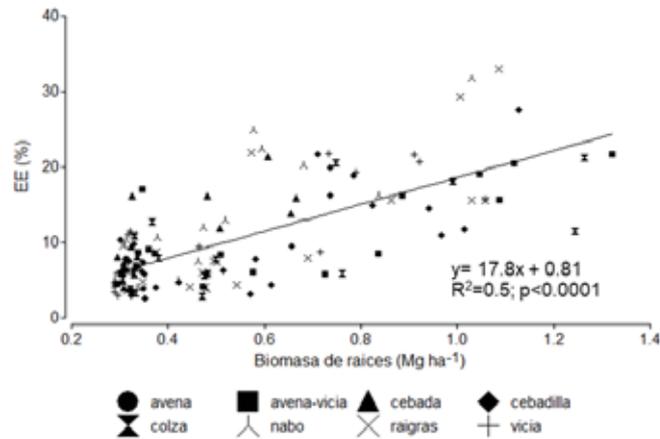


Figura 4. Relación entre la biomasa de raíces y la estabilidad estructural del suelo en la secuencia soja-maíz con diferentes CC luego de 10 años de rotación bajo siembra directa.

Los exudados radicales también intervienen en el “diálogo” entre la raíz y la microbiota edáfica estimulando su actividad, y por ende, la liberación de productos orgánicos precursores del COS (Six and Paustian, 2014). Los hongos micorrícicos arbusculares, en particular, liberan unas proteínas “tipo glomalinas” que promueven la formación de agregados estables al agua al actuar como agente aglutinante, y poseen un prolongado tiempo de residencia en el suelo (Fokom et al., 2012). Los resultados del presente trabajo muestran una relación lineal y positiva entre las glomalinas, la EE y el COS en los primeros 0-5 cm de suelo (Figura 5). No obstante, la importancia relativa de los diferentes agentes cementantes que promueven la EE en el suelo puede variar a lo largo del tiempo. En Restovich et al., (2019) también se destacó la relación entre la EE del suelo y el efecto cementante de la glomalina luego de 6 años de inclusión de CC en la secuencia soja-maíz pero en ausencia de la fertilización con N.

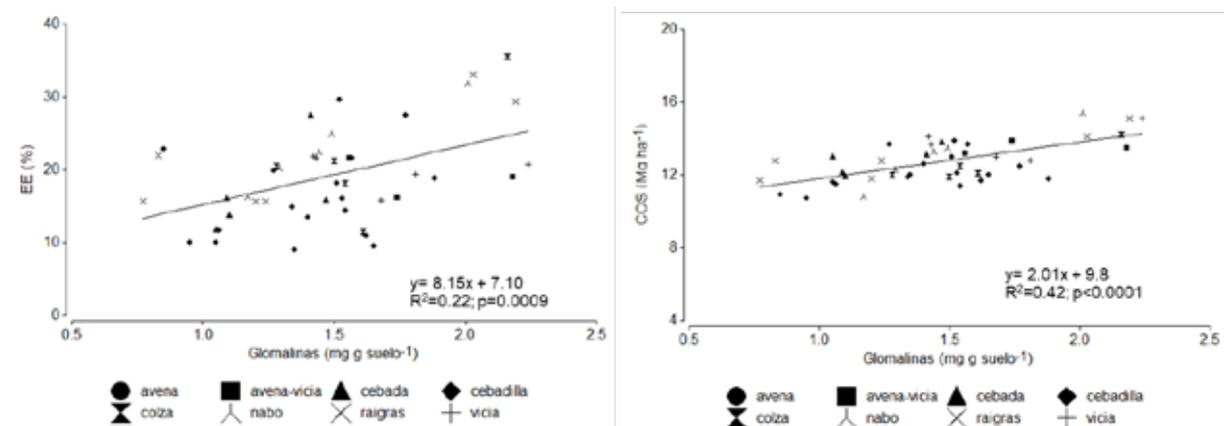


Figura 5. Relación entre glomalinas, estabilidad estructural y carbono orgánico del suelo en la secuencia soja-maíz con diferentes CC luego de 10 años de rotación bajo siembra directa.

CONCLUSIONES

Los resultados preliminares de este trabajo aportan conocimiento acerca de las diferentes vías a través de las cuales las raíces y la microbiota del suelo pueden influenciar la dinámica del carbono y la estabilidad de agregados en el suelo en sistemas agrícolas que incluyen CC.



AGRADECIMIENTOS

El financiamiento de esta investigación fue otorgado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, Argentina) a través de los proyectos 2019-PD-E2-I037-002, 2019-PE-E1-I011-001 y 2019-PD-E3-I062-001 y por el proyecto extra-INTA POIRE 2019 JÓVENES-UNLPam. Las autoras agradecen a Leticia García, Jimena Dalpiaz y Leandro Hanuch por la asistencia de laboratorio y a Diego Colombini y Fabio Villalba por la asistencia de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bremner, J.M., Jenkinson, D.S., 1960. Determination of organic carbon in soil: I. Oxidation dichromate of organic matter in soil and plant materials. *J. Soil Sci.* 11, 394–402.
- Cambardella, C.A., Elliott, E.T., 1993. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma* 56, 449–457.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W., 2020. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Douglas, J.T., Goss, M.J., 1982. Stability and organic matter content of surface soil aggregates under different methods of cultivation and in grassland. *Soil Tillage Res.* 2, 155–175.
- Fokom, R., Adamou, S., Teugwa, M.C., Begoude Boyogueno, A.D., Nana, W.L., Ngonkeu, M.E.L., Tchameni, N.S., Nwaga, D., Tsala Ndzomo, G., Amvam Zollo, P.H., 2012. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. *Soil Tillage Res.* 120, 69–75.
- Frasier, I., Quiroga, A., Fernández, R., Álvarez, C., Gómez, F., Scherger, E., Gili, A., Noellemeyer, E., 2019. Soil type, land-use and -management as drivers of root-C inputs and soil C storage in the semiarid pampa region, Argentina. *Soil Tillage Res.* 192, 134–143.
- Frasier, I., Quiroga, A., Noellemeyer, E., 2016. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Sci. Total Environ.* 562, 628–639.
- Frey, S.D., 2019. Mycorrhizal Fungi as Mediators of Soil Organic Matter Dynamics. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 50, 237–259.
- Jastrow, J.D., Amonette, J.E., Bailey, V.L., 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Clim. Change* 80, 5–23.
- Jones, D.L., Nguyen, C., Finlay, R.D., 2009. Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil–root interface. *Plant Soil* 321, 5–33.
- Liang, C., Amelung, W., Lehmann, J., Kästner, M., 2019. Quantitative assessment of microbial necromass contribution to soil organic matter. *Glob. Chang. Biol.* 25, 3578–3590.
- Pausch, J., Kuzyakov, Y., 2018. Carbon input by roots into the soil: Quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale. *Glob. Chang. Biol.* 24, 1–12.
- Poirier, V., Roumet, C., Munson, A.D., 2018. The root of the matter : Linking root traits and soil organic matter stabilization processes. *Soil Biol. Biochem.* 120, 246–259.
- Quiroga, A.R., Buschiazzo, D., Peinemann, N., 1996. Soil organic matter particle size fractions in soils of the semiarid Argentinian pampas. *Soil Sci.* 161, 104–108.
- Restovich, S.B., Andriulo, A.E., Armas-Herrera, C.M., Beribe, M.J., Portela, S.I., 2019. Combining cover crops and low nitrogen fertilization improves soil supporting functions. *Plant Soil*.
- Rillig, M.C., 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Can. J. Soil Sci.* 84, 355–363.
- Sanaullah, M., Chabbi, A., Leifeld, J., Bardoux, G., Billou, D., Rumpel, C., 2011. Decomposition and stabilization of root litter in top- and subsoil horizons: what is the difference? *Plant Soil* 338, 127–141.
- Shahzad, T., Chenu, C., Genet, P., Barot, S., Perveen, N., Mougin, C., Fontaine, S., 2015. Contribution of exudates, arbuscular mycorrhizal fungi and litter depositions to the rhizosphere priming effect induced by grassland species. *Soil Biol. Biochem.* 80, 146–155.
- Six, J., Paustian, K., 2014. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. *Soil Biol. Biochem.* 68, A4–A9.
- Sokol, N.W., Bradford, M.A., 2018. Efficient From Belowground Than Aboveground Input. *Nat. Geosci.*
- Sokol, N.W., Sanderman, J., Bradford, M.A., 2019. Pathways of mineral-associated soil organic matter formation: Integrating the role of



plant carbon source, chemistry, and point of entry. *Glob. Chang. Biol.* 25, 12–24. doi:10.1111/gcb.14482

Stewart, C.E., Plante, A.F., Paustian, K., Conant, R.T., Six, J., 2008. Soil Carbon Saturation: Linking Concept and Measurable Carbon Pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 379.

Wright, S.F., Upadhyaya, A., 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci.* 161, 575–586.





ESTUDIO DEL Si EN LA INTERACCION CON METALES PESADOS DEL CULTIVO DE *TRITICUM AESTIVUM* Y SUELOS DEL SUDESTE BONAERENSE.

Frayssinet, C.^{1,2*}, L. Hernandez-Apaolaza³, M. Osterrieth², V. Echevarría³, N. Borrelli^{1,2}, M. Fernández Honaine^{1,2}, J.E. Marcovecchio⁴.

¹Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, FCEyN, CONICET R. Peña 4046. Mar del Plata, 7600, Buenos Aires, Argentina

²Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, CIC. Funes 3350, Mar del Plata, Argentina

³Departamento de Química Agrícola y Bromatología. UAM. Av. Francisco Tomas y Valiente 7, 28049, Madrid, España.

⁴Instituto Argentino de Oceanografía, UNS-CONICET, Camino La Carrindanga km 7.5, 8000, Bahía Blanca, Argentina *Funes 3350, Mar del Plata, Argentina. cfrayssinet@agro.uba.ar

RESUMEN

El silicio (Si) en suelos deriva esencialmente de los silicatos y las biomineralizaciones de sílice amorfo hidratadas, de origen vegetal denominadas silicofitolitos (SiF). Las gramíneas constituyen el principal grupo productor de dichas biomineralizaciones; considerando al Si como elemento benéfico y esencial, aportando a la sustentabilidad agrícola y preservación ambiental. En el sudeste bonaerense predominan suelos Phaeozem de elevada aptitud agrícola, utilizados intensamente, con aplicación de agroquímicos, que contienen metales traza (MT), potenciando la degradación de los suelos y pérdida de calidad de los cultivos que sustentan. El objetivo del trabajo fue cuantificar los contenidos de Si y MT en los distintos estadios fenológicos de *Triticum aestivum* y en el epipedón mólico asociado. Se realizó un ensayo a campo, se sembró el cultivo de trigo pan (Baguette 501, Nidera) con 6 tratamientos presiembra aplicados de forma líquida directamente al suelo. Los tratamientos fueron: blanco, Si(0.7mM), Cu(300µM), Cd(90µM), Si+Cu, Si+Cd. Se determinaron los contenidos de Si y (MT) de las plantas en los estadios vegetativo, reproductivo y madurativo. Se analizó la solución del suelo mediante rizómetros colocados a distintas profundidades dentro del suelo; y del extracto de pasta saturada en los mismos niveles, postcosecha del ciclo de cultivo. Mediante metodología estándar se analizó: silicio, cobre, cadmio, hierro y zinc en plantas, en suelos y soluciones del suelo, mediante absorción atómica y espectrometría UV-VIS. Los primeros resultados obtenidos, en esta temática en Argentina, mostraron en plantas, que el contenido de Si aumenta en relación directa con el desarrollo del cultivo (entre 0.05 y 0,15 gramo SiF/ gramo de planta). El Cu, presentó máximos contenidos en raíz del estadio madurativo para todos los tratamientos (20 a 35 µg/gr). El contenido de hierro y zinc aumentan a lo largo del tiempo, aunque bajo tratamiento de silicio, sus máximos se dan en el estadio reproductivo (500 y 250 µg/g, respectivamente) El Cd presentó en todo momento valores debajo del límite de detección (1,25 µg/g). Es relevante que ninguno de ellos supera los límites definidos por FAO y UE para el órgano que contiene el grano en el estadio madurativo. La solución del suelo obtenida con rizómetros y pasta saturada, presentó valores de Si similares y promedios en todos los tratamientos, incrementándose con el tiempo transcurrido: 500 µmol/L en estadio vegetativo, 800 µmol/L en el reproductivo y finalmente 1600 µmol/L en el madurativo. Además, hubo máximos valores en superficie (2500 µmol/L), descendiendo hacia la base en todos los tratamientos (750 µmol/L); a excepción del blanco donde los valores no superan los 180 µmol/L. Estos primeros resultados que analizan la relación entre el contenido SiF y MT en los distintos órganos de un cultivo mundialmente demandado como alimento, evidencian la importancia de continuar evaluando el rol de los SiF en los procesos de fitorremediación, alojando y aislando a los MT dentro de su estructura. Esto contribuiría con la calidad química del cultivo, preservando la salud de los consumidores, del suelo y los sistemas ácuos asociados, para el desarrollo de una agricultura sustentable, saludable y rentable a la vez.

Palabras clave: Sílice amorfa, Llanura pampeana, Mitigación y remediación química ambiental

