



CULTIVOS DE COBERTURA Y EMISIONES DE N₂O EN LA REGIÓN HUMEDA Y SEMIÁRIDA PAMPEANA

Posse, G.^{1*}, I. Frasier²⁴, S. Restovich³, S. Vangeli, S¹⁴⁵. S. Vargas Gil⁴⁶

¹ Instituto de Clima y Agua INTA;

² Instituto de Suelos INTA-CONICET,

³ EEA Pergamino INTA; ⁴ CONICET;

⁵ FAUBA

⁶ Instituto de Patología Vegetal (IPAVE)-Unidad de Fitopatología y Modelización Agrícola (UFYMA-CONICET), CIAP- INTA.

* Nicolas Repetto y de los Reseros S/N, (1686) Hurlingham, Prov. de Buenos Aires, posse.gabriela@inta.gob.ar

RESUMEN

La utilización de cultivos de cobertura (CC) como práctica para aumentar las reservas de carbono en el suelo puede incrementar las emisiones de N₂O como consecuencia no deseada. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el impacto de incluir gramíneas, solas o en mezcla con crucíferas, como CC en un monocultivo de soja sobre las emisiones de N₂O, en dos sitios con suelos y climas diferentes: Pergamino y Anguil. Se evaluaron dos manejos diferentes: i) monocultura de soja (S-S); ii) monocultura de soja con CC (S-CC) y iii) pasturas como referencia de emisiones basales (P). Durante dos campañas, se estimaron las tasas de emisión de N₂O utilizando cámaras estáticas en dos periodos en los que se esperan las máximas emisiones de N₂O (alrededor de la siembra y de la cosecha de soja). Además, se determinó el porcentaje de poros llenos de agua (%WFPS) y la concentración de nitratos, variables relacionadas con las emisiones. El efecto de incluir o no CC sobre las emisiones de N₂O no fue el mismo entre los periodos ni en los sitios estudiados. Durante el primer año, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de S-CC y S-S en ninguno de los dos sitios. En el segundo año, en cambio, la secuencia S-S tuvo mayores emisiones que S-CC en Pergamino en el período de siembra de soja, mientras que en Anguil no se observó este efecto. Por el contrario, en el periodo de cosecha de soja, en Pergamino, no se encontraron diferencias entre tratamientos mientras que en Anguil, S-CC tuvo mayores emisiones que S-S. Nuestros resultados sugieren que la utilización de gramíneas puras o mezclas de gramíneas sin leguminosas no aumentan inequívocamente las emisiones de N₂O. Las características propias de cada sitio, afectaron de manera diferencial las variables moduladoras de las emisiones de N₂O.

Palabras clave: sustentabilidad, sistemas agrícolas, cambio climático

INTRODUCCIÓN

El óxido nitroso (N₂O) es un potente gas con efecto invernadero asociado, junto con otros gases como el CO₂, al aumento de la temperatura media del planeta y al cambio climático. Las emisiones de N₂O desde el suelo dependen principalmente de la cantidad de nitratos disponibles en el suelo, del porcentaje de poros con agua y de la temperatura (Davidson et al. 2000). No obstante, otros factores (composición de las comunidades microbianas, relación C/N de los residuos y las raíces, el pH del suelo, el contenido de P, etc.) han sido señalados como moduladores de las emisiones de N₂O y su impacto puede variar entre sitios. Por lo tanto, establecer relaciones simples entre las emisiones de N₂O y dichos factores en diferentes suelos y climas sigue siendo un desafío. Los suelos representan un importante reservorio de carbono, y especialmente los agrícolas tienen la capacidad de aumentar su stock (Recous et al., 2019) lo que permitiría contrarrestar el aumento de la concentración de gases con efecto invernadero en la atmósfera. Algunas de las prácticas de ma-



nejo disponibles para recarbonizar los suelos con mejores pronósticos de éxito son la rotación de cultivos, la inclusión de gramíneas en las rotaciones agrícolas, la utilización de cultivos de cobertura (CC) y la siembra directa o labranza reducida (Frasier et al., 2016; Restovich et al., 2019; Poeplau & Don, 2015). Sin embargo, el aumento de las reservas de carbono en el suelo puede incrementar las emisiones de N_2O , debido a la mejora en las condiciones biológicas del suelo y al aumento del nitrógeno disponible, particularmente cuando se incorporan leguminosas como CC (Basche et al., 2014, Guenet et al., 2021). Por otro lado, la utilización de gramíneas como CC, ya sea puras o en mezclas con CC no leguminosas, representa una alternativa válida que no parece afectar el rendimiento del cultivo de cosecha, particularmente soja y no favorece las pérdidas de nitrógeno como N_2O . El objetivo de este trabajo fue cuantificar el impacto de incluir gramíneas, solas o en mezcla con crucíferas, como CC en un monocultivo de soja sobre las emisiones de N_2O , comparando dos tipos de suelo y régimen climático: Pergamino y Anguil.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a adelante durante dos años (2019-2021) en el campo experimental de la EEA Pergamino, Buenos Aires (33° 52' S; 60° 33' W) y en un campo privado en Anguil, La Pampa (36° 36' S; 63° 58' W). Se compararon dos prácticas de manejo: i) monocultura de soja (*Glycine max* L.) (S-S); ii) monocultura de soja con CC (S-CC), utilizando centeno (*Secale cereale* L.) como CC en el sitio de Anguil y una mezcla de avena y nabo forrajero (*Avena sativa* L. + *Raphanus sativus* L.) en Pergamino, y iii) pasturas como referencia de emisiones basales (P). En Anguil, se trabajó con una pastura de 4 años de festuca y alfalfa en rotación con agricultura, mientras que en Pergamino se trabajó sobre una pastura de 9 años de festuca y alfalfa que se mantuvo con corte y exportación.

En ambos sitios los tratamientos S-CC y S-S corresponden a un ensayo de larga duración. En Anguil, el ensayo se estableció en 2009 con un diseño en franjas (50 x 10 m) con 4 réplicas (bloques) bajo siembra directa. El centeno como CC se siembra a una densidad de 80 semillas m^{-2} durante el mes de mayo y se interrumpe su crecimiento con la aplicación de glifosato (3 L ha^{-1}) en el mes de octubre. La soja se siembra en diciembre con una densidad de 24 plantas m^{-2} y con un espacio entre hileras de 0,52 m. En Pergamino, el ensayo se estableció en el año 2011 con un diseño experimental en parcelas divididas con 3 réplicas (bloques), donde la parcela mayor (15 x 30 m) corresponde a la rotación y la subparcela al CC (5 x 30 m). La densidad de siembra para la consociación es de 80 y 20 $kg\ ha^{-1}$ para avena y nabo forrajero, respectivamente. El cultivo de soja se siembra con un espacio entre hileras de 0,52 m, durante el mes de noviembre.

El muestreo de N_2O se realizó durante los períodos donde se esperan las máximas emisiones de N_2O (Della Chiesa et al., 2019, Vangeli et al., 2022): entre el secado de los CC hasta unos días después de la siembra de la soja (Período 1-I y 1-II, para el primer y segundo año, respectivamente) y durante la senescencia del cultivo comercial (Período 2-I y 2-II para el primer y segundo año, respectivamente). Las tasas de emisión se estimaron utilizando el método de cámaras estáticas con ventilación (Livingston & Hutchinson, 1995). Se utilizaron seis cámaras por tratamiento (2 repeticiones por bloque, 3 bloques), efectuando las mediciones entre las 9 y las 12 am. Se recogieron tres muestras de aire de 10 ml a intervalos de 15 minutos (0, 15 y 30 minutos). En Anguil cada período estuvo compuesto por el siguiente número de mediciones: 5 y 4 mediciones en la siembra y senescencia de soja para el primer año mientras que 3 y 4 mediciones en siembra y senescencia de soja para el segundo año, respectivamente. En Pergamino, se realizaron 5 y 4 mediciones en siembra y en senescencia de soja para el primer año y para el segundo año se realizaron 4 y 3 en siembra y senescencia, respectivamente.

La concentración de N_2O en cada muestra se cuantificó por cromatografía de gases y las emisiones se calcularon a partir de la tasa de cambio de gas en función del tiempo (Parkin & Venterea, 2010). En cada fecha de medición de N_2O se determinó también humedad del suelo (método gravimétrico) datos que se utilizaron para calcular el porcentaje de poros llenos de agua (WFPS, por sus siglas en inglés) (Robertson & Groffman, 2007), la temperatura del suelo y aire y la concentración de N-nitratos (método del ácido fenoldisulfónico) a 0-10 cm de profundidad.

Para cada uno de los periodos muestreados en cada sitio, calculamos las emisiones acumuladas promedio por día y hectárea, de modo de que sus valores fueran comparables. Las variables edáficas determinadas en



las muestras de suelo también se promediaron para caracterizar las condiciones de cada período. Para el análisis estadístico de los datos, se realizaron modelos lineales mixtos, en donde los tratamientos, los períodos de muestreo y su interacción se incluyeron como efectos fijos. Las medias se compararon mediante la prueba de Fisher ($\alpha=0,05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2017). Además, se realizaron regresiones lineales para estudiar las relaciones entre las variables edáficas y las emisiones de N_2O .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La máxima tasa de emisión fue de 74.38 g N_2O /ha día en el tratamiento S-CC durante el Período 2-I en Pergamino mientras que el más bajo, en el mismo sitio, fue de -0.66 g N_2O /ha día en la pastura durante el Período 2-II. En Anguil el valor más alto se registró en la pastura durante el Período 2-I y fue de 6.88 g N_2O /ha y el más bajo fue de 0.87 g N_2O /ha durante el Período 1-II en S-CC. Comparando sitios y tratamientos dentro de cada período, las emisiones de N_2O acumuladas por día fueron mayores en los lotes cultivados (S-S y S-CC) de Pergamino mientras que el resto no tuvo diferencias significativas entre sí. En el Período 1-II no se detectaron diferencias significativas entre S-S y S-CC en ninguno de los dos sitios bajo estudio. Por otro lado, la pastura de Anguil tuvo mayor emisión que la de Pergamino sin diferencias significativas con respecto a los tratamientos cultivados de Pergamino. En el Período 1-II el tratamiento S-S de Pergamino tuvo el valor de emisión de N_2O más alto y el tratamiento S-CC de Anguil el más bajo, sin diferencias significativas con el S-S en ese sitio, mientras que en el Período 2-II los tratamientos S-CC de ambos sitios tuvieron los valores más altos. En relación a esto último, si bien no se detectaron diferencias significativas entre los dos sitios para S-CC, Anguil duplicó el valor de Pergamino en ese tratamiento (Fig. 1).

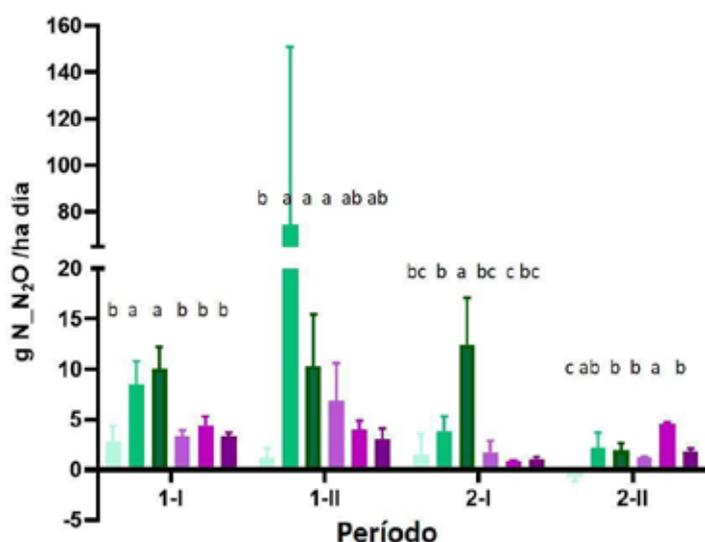


Figura 1. Emisiones acumuladas promedio de N_2O (g N_2O /ha día) para cada período estudiado en Pergamino y Anguil. Letras diferentes indican diferencias significativas dentro de cada período. Sitio Pergamino: pastura; S-CC; S-S. Sitio Anguil: pastura; S-CC; S-S

Las características propias de cada sitio, afectaron de manera diferencial las variables moduladoras de las emisiones de N_2O . A su vez, el efecto de la inclusión o no de los CC no fue el mismo en los distintos períodos analizados. Así, en Pergamino, la inclusión de CC disminuyó los nitratos en el suelo sólo en los períodos después del secado de los mismos y la siembra de la soja, mientras que en Anguil la disminución fue registrada en los cuatro períodos muestreados. El sitio de Pergamino presentó mayores valores en el %WFPS (entre 32 y 58%), mientras que en Anguil los valores oscilaron entre 21 y 34%. En Anguil el uso del suelo no modificó el % WFPS en ninguno de los períodos. En Pergamino, la inclusión de los CC aumentó este porcentaje (Tabla 1).



		P 1-i	P 1-ii	P 2-i	P 2-ii
NITRATOS	A_P	15.08 (2.38) B	9.63 (0.63) A	22.51 (1.21) A	37.41 (1.81) A
	A_S-CC	13.52 (2.38) B	7.9 (1.98) A	14.49 (1.21) B	19.97 (1.81) C
	A_S_S	18.95 (2.38) B	7.87 (0.97) A	23.27 (1.21) A	28.07 (1.81) B
	P_P	5.91 (1.5) C	2.44 (0.45) B	2.97 (1.21) D	2.39 (0.58) E
	P_S-CC	17.16 (1.5) B	10.29 (1.4) A	7.3 (1.21) C	5.23 (0.58) D
	P_S-S	27.22 (1.68) A	9.14 (0.68) A	14.8 (1.21) B	3.09 (0.58) E
	%WFPS	A_P	22.7 (2.18) C	32.13 (1.5) B	20.92 (1.58) C
A_S-CC	30.04 (2.18) B	34.2 (1.5) B	23.44 (1.58) C	24.94 (1.35) C	
A_S_S	28.67 (2.18) BC	32.76 (1.5) B	22.16 (1.58) C	23.83 (1.35) C	
P_P	43.26 (2.18) A	53.94 (1.5) A	45.75 (1.37) A	56.32 (1.56) A	
P_S-CC	39.91 (2.18) A	46.85 (1.5) A	47.14 (1.37) A	50.41 (1.56) B	
P_S-S	33.23 (2.18) B	49.38 (1.5) A	36.16 (1.37) B	50.43 (1.56) B	

Tabla 1: Valores promedios y error entre paréntesis para la concentración de nitratos en ppm y el porcentaje de poros llenos de agua (% WFPS) para los cuatro períodos estudiados y los dos sitios. A_P: pastura Anguil, A S-CC Soja CC Anguil; A S-S: soja-soja Anguil; P_P: pastura Pergamino; P_S-CC soja-CC Pergamino y P_S-S: soja-soja Pergamino. Comparaciones múltiples dentro de cada período para cada variable. Letras diferentes indican diferencias significativas al 0.05

El mayor valor de la tasa de emisión de N_2O (durante el Período 2-I en el S-CC de Pergamino) puede considerarse como outlier, ya que no se registraron valores similares en ningún otro período. La existencia de "hot spot" en las emisiones de N_2O no es frecuente, pero ha sido documentada en otros estudios (Lewczuk et al. 2017) y suele complicar el ajuste de modelos matemáticos y sus estimaciones asociadas. Quitando ese valor, encontramos una relación significativa positiva entre la emisión de N_2O y el contenido de nitratos en el suelo en Pergamino (Figura 2a). Por el contrario, esta relación fue no significativa en Anguil. Probablemente otro factor está modulando las emisiones en este sitio. La influencia de las variables moduladoras de las emisiones de N_2O no son aditivas (Araujo et al. 2020) sino jerárquicas. Sin embargo, esas jerarquías dependen de cada sitio y de las condiciones ambientales y no es por el momento posible contar con reglas generales o globales que permitan contar con un modelo empírico único para estimar las emisiones. Es por esta razón que, en el caso de utilizar modelos de simulación, en cada sitio es necesario realizar una parametrización en particular. El valor máximo de emisión registrado para cada sitio (S-CC en el Período 1-II para Pergamino y S-CC en los Períodos 1-I y 2-II para Anguil) no parece estar relacionado con el %WFPS una de las variables más estudiadas como moduladora de las emisiones de N_2O .

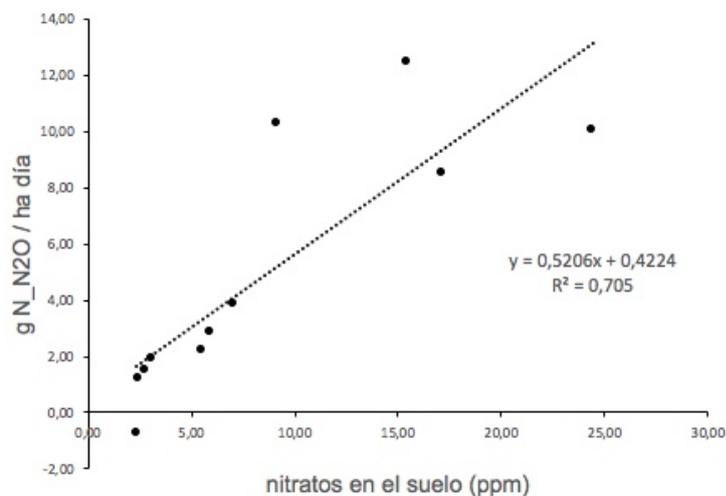


Figura 2. Relación entre las emisiones de N_2O /ha día promedio para cada período y tratamiento estudiado y la concentración de nitratos en el suelo en Pergamino.



CONCLUSIONES

La utilización de gramíneas puras o mezclas de gramíneas sin leguminosas no aumentan las emisiones de N₂O. El efecto de incluir o no CC sobre las emisiones de N₂O fue variable en los periodos y sitios estudiados. Las emisiones registradas en las pasturas fueron menores o no tuvieron diferencias con alguno de los tratamientos cultivados. Estos resultados y otros antecedentes sugieren la necesidad de realizar meta análisis con variables relacionadas, para profundizar en la descripción de las variables responsables de las emisiones de N₂O.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las fuentes de financiamiento Foncyt PICT 2017 N°4236; INTA PD 037 y 058, CONICET PIP 11220200102747CO y beca INTA-CONICET otorgada a S. Vangeli.

BIBLIOGRAFIA

- Basche, AD; FE Miguez; TC Kaspar & MJ Castellano. 2014. Do Cover Crops Increase or Decrease Nitrous Oxide Emissions? A Meta-Analysis. *J Soil Water Conserv.* 69:471–82. doi: 10.2489/jswc.69.6.471Blake & Hartge, 1986
- Davidson, EA; M Keller; HE Erickson; LV Verchot & E Veldkamp. 2000. Testing a Conceptual Model of Soil Emissions of Nitrous and Nitric Oxides. *BioScience* 50, (8): 667–680. <https://doi.org/10.1641/0006>
- Della Chiesa, T; G Piñeiro & L Yahdjian. 2019. Gross, background, and net anthropogenic soil nitrous oxide emissions from soybean, corn, and wheat croplands. *J Environ Qual* 48(1):16-23. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.07.0262>.
- Di Rienzo JA, F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, UNC, Argentina.
- Frasier, I; A Quiroga & E Noellemeyer. 2016. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Sci. Total Environ.* 562, 628-639. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.04.058
- Guenet, B; B Gabrielle; C Chenu; D Arrouays; J Balesdent; M Bernoux. 2021. Can N₂O Emissions Offset the Benefits From Soil Organic Carbon Storage? *Glob. Chang. Biol* 27:237–56. doi: 10.1111/GCB.15342
- Lewczuk, NA; G Posse; K Richter & A Achkar. 2017. CO₂ and N₂O flux balance on soybean fields during growth and fallow periods in the Argentine Pampas—A study case. *Soil Till Res* 169: 65–70.
- Livingston GP & GL Hutchinson. 1995. Enclosure-Based Measurement of Trace Gas Exchange: Applications and Sources of Error. In: PA Matson and RC Harris, *Measuring Emissions From Soil and Water*. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd. p. 14–51.
- Poeplau C & A Don. 2015. Carbon Sequestration in Agricultural Soils via Cultivation of Cover Crops - A Meta-Analysis. *Agric Ecosyst. Environ* 200:33–41. doi: 10.1016/j.agee.2014.10.024
- Recous, S; G Lashermes; I Bertrand; M Duru & S Pellerin. 2019. Chapter 3 - C–N–P Decoupling Processes Linked to Arable Cropping Management Systems in Relation With Intensification of Production. *Agroecosystem Diversity Academic Press* 35-53.
- Restovich, SB; A Andriulo; CM Armas-Herrera; MJ Beribe & SI Portela 2019. Combining Cover Crops and Low Nitrogen Fertilization Improves Soil Supporting Functions. *Plant Soil* 442:401–17. doi: 10.1007/s11104-019-04205-8
- Robertson, GP & PM Groffman. 2007. Nitrogen transformation. Pages 341-364 In: E.A. Paul, ed. *Soil Microbiology, Biochemistry and Ecology*. Springer, New York, New York, USA.
- Vangeli, S; S Restovich & G Posse. 2022. Cover Crop Species Affect N2O Emissions at Hotspot Moments of Summer Crops. *Front. Soil Sci.* 2:903387. doi: 10.3389/fsoil.2022.903387
- Parkin TB & Venterea RT. 2010. Chamber-based trace gas flux measurements. *USDA-ARS GRACEnet Project Protocols* 2010:1–39.





ESTIMACIÓN DEL APORTE DE CARBONO HUMIFICADO AL SUELO EN LA AGRICULTURA EXTENSIVA BONAERENSE

Presutti, M.E.¹⁻³, L.A. Gusmerotti¹, E.A. Abbona²⁻³

¹ Manejo y Conservación de Suelos. FCAYF. UNLP;

² Agroecología. FCAYF. UNLP;

³ LIRA (Laboratorio de Investigación y Reflexión en Agroecología. 60 y 119, La Plata, Bs.As, Argentina, presutti@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN

La materia orgánica del suelo (MOS) es un indicador de la sustentabilidad de los agroecosistemas; donde las entradas de carbono (C) están dadas por los rastrojos, raíces y exudados radiculares, fotosíntesis mediante, mientras que las salidas son las pérdidas por mineralización y erosión. El objetivo de este trabajo fue estimar el aporte anual de C humificado al suelo aplicando un modelo de partición de C en la planta tanto a nivel provincial como municipal en la provincia de Buenos Aires. Para evaluar la evolución en el tiempo se analizaron dos períodos de tres campañas cada uno, separados por dos décadas. Para cada cultivo se estimó la cantidad de rastrojos y raíces, a partir de los rendimientos (kg/ha) promedios trienales de cada partido, para cada cultivo individualmente y de los índices de cosecha (IC). Considerando un contenido del 45% de C en todas las partes de la planta y mediante coeficientes de humificación se obtuvo el C humificado que aporta cada cultivo. Finalmente ponderando los valores por las superficies ocupadas por cada uno se obtuvo un valor para cada partido en ambos periodos. Estos datos fueron mapeados utilizando el software libre QGIS.

Palabras clave: sustentabilidad, rastrojos, materia orgánica.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) es un indicador de la sustentabilidad de los agroecosistemas. Las entradas de carbono (C) al suelo están dadas por los rastrojos, raíces y exudados radiculares, fotosíntesis mediante; mientras que las salidas se producen por pérdidas por mineralización, respiración microbiana y erosión. El ingreso de C al suelo depende de la calidad y cantidad de residuos de cosechas y biomasa de raíces, que varía según la especie cultivada y el rendimiento de las mismas. El proceso de descomposición de los residuos orgánicos depende del ambiente químico generado por el propio residuo y de su interacción con los microorganismos del suelo (Richmond y Rillo, 2009). Así, los cereales dejan una importante cantidad de restos sobre el suelo, mientras que en otros son muy escasos, como los de las oleaginosas. Por su parte, la calidad de los residuos se refiere esencialmente a su relación carbono/nitrógeno (C/N). En rotaciones con mayor proporción de gramíneas el balance de C es positivo, mientras que en una rotación con mayor frecuencia de soja los balances son negativos (Studdert et al., 2000; Martínez et al., 2019).

Las labranzas también influyen en el contenido de MOS; generalmente, cuando un suelo es cultivado con laboreo convencional su nivel disminuye. La adopción de la siembra directa es de aproximadamente el 90% como promedio nacional para los cultivos de trigo, maíz y soja (Bolsa de Cereales, 2022).

En la Región Pampeana se produjo una importante disminución de los niveles de MO, contrastando valores en suelos prístinos y luego de décadas de uso agrícola (Sainz Rozas et al., 2019); paralelamente en la agricultura extensiva, existe un predominio del cultivo de soja respecto de las gramíneas estivales.

