



RESPIRACIÓN ECOSISTÉMICA DEL SUELO EN PASTIZALES SEMIÁRIDOS PATAGÓNICOS BAJO CONDICIONES AMBIENTALES CONTRASTANTES

Enriquez, A.S.^{1*}, B.M. García Falabella¹

¹ Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias Bariloche-IFAB (INTA-CONICET);

*Modesta Victoria 4450, (CP: 8400), Bariloche, Prov. de Río Negro, andreaenri@gmail.com

RESUMEN

Patagonia Norte abarca las provincias de Río Negro y Neuquén, con pastizales áridos y semiáridos que son el principal sustento de la actividad ganadera. Las emisiones de CO₂ asociadas a estos ambientes son un punto de interés para evaluar la contribución al cambio climático. Utilizando un IRGA a campo, se evaluó la dinámica natural de la respiración ecosistémica del suelo (RE-suelo), su relación con variables edáfico-ambientales y la emisión de CO₂ anual entre ambientes contrastantes: mallín húmedo (MH), mallín mésico (MM), zona de transición (T) y estepa (E). Para T, E y MM se diferenció entre parche (P) e interparche (IP) de vegetación. Se encontró una fuerte variación estacional en RE-suelo en los cuatro ambientes, siendo el pico de emisión en marzo (verano tardío: de 8 (IP) a 40 (P) mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹) para estepas y en enero (verano temprano: de 202 (MM-IP) a 474 (MH) mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹) para mallines. Los resultados se asocian con humedad y temperatura del suelo no limitantes para la actividad biológica, aunque no se verificaron compensaciones por ganancia mediante fotosíntesis, que podrían modificar las curvas. Las emisiones anuales acumuladas (kg C-CO₂ ha⁻¹ año⁻¹), en orden decreciente, fueron: 12711 MH > 11556 MM-P > 8431 MM-IP > 1033 E-P > 868 T-IP > 759 T-P > 719 E-IP. Esto coincide con la relación de la RE-suelo y las variables edáfico-ambientales en cuanto a la humedad (R²=54%), la temperatura (R²=53%) y el contenido de materia orgánica (R²=22%) del suelo, siendo los pastizales más productivos (o los parches vegetados) los que tienden a emitir mayor cantidad de CO₂ a la atmósfera por la respiración de microorganismos y raíces. Los resultados de este trabajo aportan información relevante para estimar el balance de gases de efecto invernadero de los ecosistemas naturales estudiados y de la actividad ganadera extensiva asociada.

Palabras clave: emisión CO₂, estepa-mallines, variables edáfico-ambientales.

INTRODUCCIÓN

La región de Patagonia Norte abarca las provincias de Río Negro y Neuquén, con una gran superficie ocupada por pastizales áridos y semiáridos. La matriz dominante es de estepas, donde los mallines (húmedales áridos) pueden desarrollarse en fondos de valle (Enriquez et al., 2015). Sobre dichos ambientes la principal actividad económica que se desarrolla es la ganadería extensiva. En este sentido, la región posee 2.875.193 de existencias ganaderas, de las cuales el 39% corresponde a ovinos y 30% a bovinos (SENASA, 2021). En un contexto de cambio climático y degradación por sobrepastoreo crece el interés por conocer las reservas y los flujos de carbono en los pastizales y monitorear la salud del suelo. Los balances de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) requieren contar con el dato de emisión de CO₂ del ecosistema, mientras que las ganancias netas pueden estimarse mediante índices indirectos como el NDVI (e.g., Irisarri et al., 2012; Chu et al., 2015). La respiración ecosistémica del suelo (RE-suelo) es producida principalmente por raíces y organismos del suelo (hongos micorrízicos y microbianos) y, en menor medida, la oxidación química de los compuestos de carbono. Diversos estudios indican que el ambiente y el tipo de vegetación son determinantes importantes de la tasa de respiración del suelo y, por lo tanto, que los cambios en estos factores tienen el potencial



de modificar las respuestas de los suelos (e.g., Raich y Tufekcioglu, 2000; Peri et al 2015). El objetivo de este trabajo fue describir la dinámica natural de la emisión de CO₂ ecosistémico y sus relaciones con variables edáfico-ambientales, y determinar la emisión de CO₂ anual entre cuatro ambientes contrastantes-contiguos de un pastizal de Patagonia Norte: mallín húmedo (MH), mallín méxico (MM), zona de transición (T) y estepa (E). Tanto en T como en E y MM se diferenció entre parche (P) e interparche (IP) de vegetación. Esperamos que las emisiones: a) sean mayores entre diciembre y febrero, momento con mayor contenido de humedad y temperatura del suelo que permiten la actividad microbiana, b) en orden decreciente, sean MH > MM > T > E, siguiendo un gradiente de humedad y de materia orgánica del suelo (MOS), y c) sean P > IP (idem b).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el campo Anexo de INTA en Pilcaniyeu (70° 31' 26" W and 41° 02' 15" S), en la región ecológica de Sierras y Mesetas Occidentales (PMA: 260 mm; TMA: 8°C). A lo largo de un gradiente topográfico, se seleccionaron 4 ambientes (Fig. 1): 1) MH, 2) MM (P e IP), 3) T (P e IP) y 4) E graminoso-arbustiva (P e IP). Las mediciones se realizaron a lo largo de un año, entre septiembre 2021 y junio 2022 para estepa (8 mediciones) y entre noviembre y abril 2011-2012 para mallines (4 mediciones). La dinámica natural de las tasas de RE-suelo se evaluó con el uso de un analizador de gases en infrarrojo (del inglés, IRGA). En cada muestreo se registraron datos de temperatura edáfica y ambiente con termómetro de termocupla y humedad edáfica con sensor portátil Hydrosense®. Se realizó una caracterización del suelo de cada sitio, a 0-10 cm de profundidad: pH y conductividad eléctrica (CE) relación suelo-agua 1:2,5 y MOS (Walkley y Black). Todas las metodologías siguieron los protocolos de análisis descritos en Sparks et al. (1996). Para MH la productividad primaria neta aérea anual (PPNA) se evaluó mediante corte de superficie conocida al final de la temporada de crecimiento y secado del material en estufa de 60 °C, hasta peso constante; para estepa mediante aproximación visual.

Para cada ambiente, los datos de RE-suelo se analizaron usando ANOVA con medidas repetidas en el tiempo. Se realizaron pruebas de Tukey cuando los valores F eran significativos (P<0,05). Se realizaron regresiones lineales simples para relacionar variables edáfico-ambientales y la RE-suelo. Software utilizado: Info Stat.

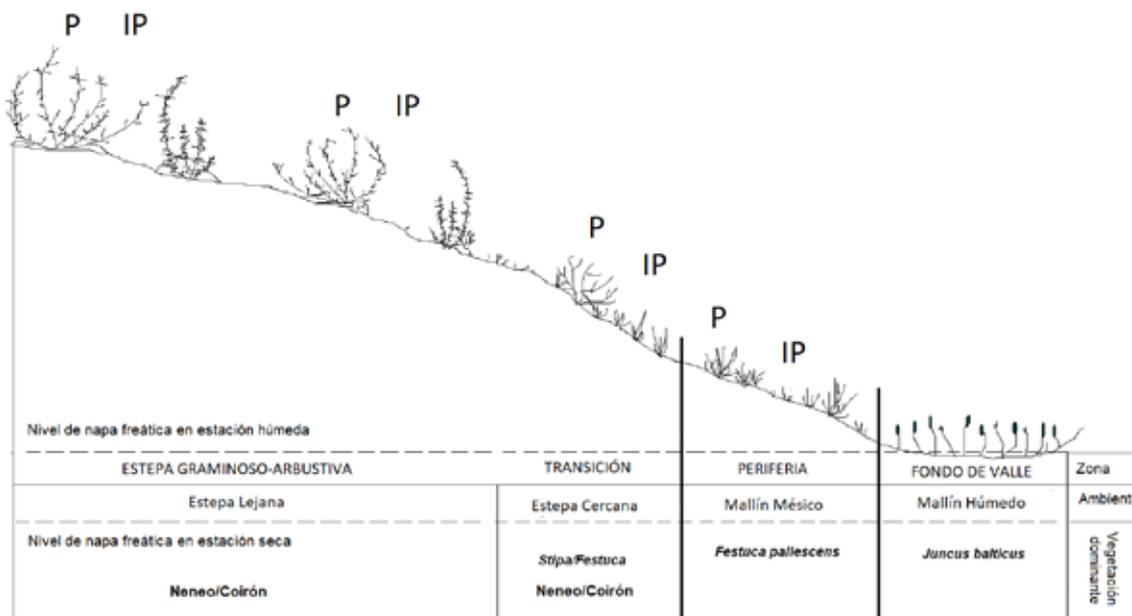


Figura 1. Esquema de corte transversal del pastizal bajo estudio. Se observan los ambientes estudiados, diferenciados a partir de un gradiente topográfico y variables edáfico-ambientales asociadas, como humedad, temperatura y materia orgánica. En fondos de valle, el principal aporte de agua se da desde la napa freática, mientras que en zonas altas lo hace el agua de lluvia. P: parches vegetados; IP: interparches no vegetados o con menor productividad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El gradiente de ambientes evaluados varió en cuanto a condiciones edáfico-ambientales (Tabla 1; Fig. 2).

Tabla 1. Caracterización de los ambientes estudiados. Materia orgánica del suelo-MOS (%), pH, conductividad eléctrica-CE ($dS m^{-1}$) y densidad aparente-DA ($g cm^{-3}$) y producción primaria neta aérea-PPNA ($g m^2 año^{-1}$). Media \pm (error estándar).

VARIABLES\AMBIENTES	MH ¹	MM-P ¹	T-P	T-IP	E-P	E-IP
MOS	28(0,2)	10(0,1)	1,0(0,1)	0,9(0,1)	1,7(0,1)	1,1(0,1)
pH	7,6(0,4)	8,4(0,2)	7,5(0,1)	7,0(0,2)	6,6(2,7)	7,5(0,4)
CE	0,6(0,1)	0,5(0,0)	0,08(0,01)	0,05(0,01)	0,11(0,03)	0,10(0,09)
DA	0,6(0,2)	1,0(0,2)	1,1(0,0)	1,2(0,0)	1,2(0,1)	1,3(0,2)
PPNA	674(20)	295 (7)	70	10	30	5

¹ Enriquez et al., 2015.

Se encontró: a) una fuerte variación estacional en la RE-suelo en todos los ambientes estudiados, siendo el pico de emisión en marzo (verano tardío: de 8 (IP) a 40 (P) $mg C-CO_2 m^{-2} h^{-1}$) para estepas (Fig. 2 D y E) y en enero (verano temprano: de 202 (MM-IP) 474 (MH) $mg C-CO_2 m^{-2} h^{-1}$) para mallines (Fig. 2 F). En general, esto coincide con una humedad y temperatura del suelo no limitantes para la actividad biológica, que disminuye en verano debido al estrés hídrico y en invierno debido a las bajas temperaturas. Se tiene en cuenta que no se evaluó la ganancia de CO_2 mediante proceso de fotosíntesis que podría compensar las emisiones encontradas y modificar la dinámica de las curvas esperadas (Enriquez, 2015). b) Las emisiones anuales acumuladas ($kg C-CO_2 ha^{-1} año^{-1}$) calculadas mediante integración de las mediciones puntuales $\times 24$ hs $\times 365$ días, fueron: 12711 MH > 11556 MM-P > 8431 MM-IP > 1033 E-P > 868 T-IP > 759 T-P > 719 E-IP. Las emisiones anuales fueron mayores en zonas con mayor contenido de MO ($R^2=22\%$), humedad ($R^2=54\%$) y temperatura ($R^2=53\%$) edáfica (Tabla 1 y 2), entendiendo que pastizales más productivos tienden a emitir más CO_2 a la atmósfera, asociado no solo a la respiración de microorganismos sino también de raíces. c) El mismo criterio que b se aplica a la emisión de P vegetados e IP no vegetados (Fig. 2 D vs. E; Tabla 2).



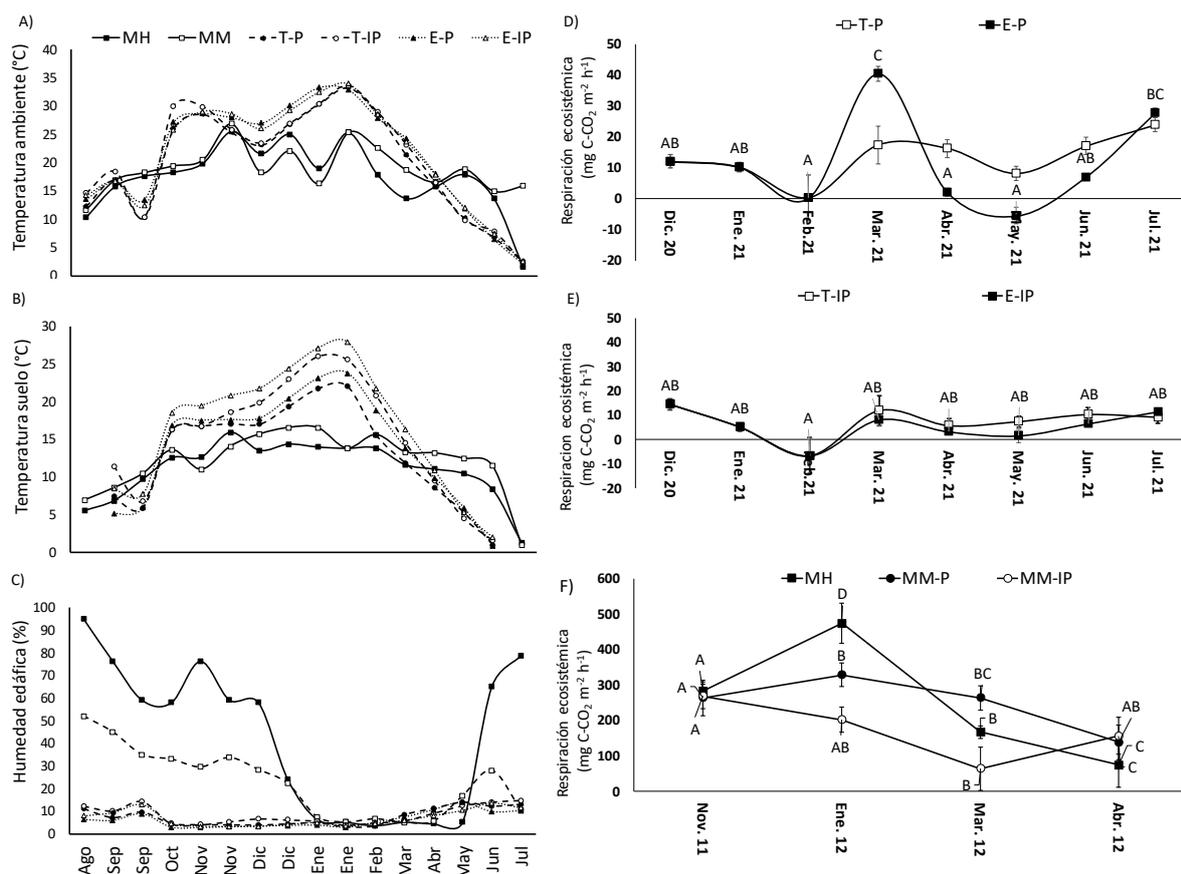


Figura 2. **Bloque izquierdo:** Dinámica temporal de A) temperatura ambiente, B) temperatura del suelo y C) humedad edáfica de los ambientes evaluados: mallín húmedo (MH), mallín mésico (MM), Transición parche (T-P), Transición interparche (T-IP), Estepa parche (E-P) y Estepa interparche (E-IP). **Bloque derecho:** Variación estacional de la respiración ecosistémica del suelo para los ambientes evaluados: D) T-P y E-P, E) T-IP y E-IP y F) MH y MM-P e MM-IP. Para cada ambiente, letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre fechas de muestreo. Media \pm (error estándar).

En su conjunto, los ambientes representan un gradiente edáfico-ambiental, cuyas relaciones con la RE-suelo se muestran en la Tabla 2. Analizando el amplio rango de factores edáfico-ambientales, las tasas de RE-suelo correlacionaron positivamente con la temperatura, la humedad y la MO del suelo, independientemente de la temperatura ambiente. Peri et al. (2015) no encontraron dicha correlación para la humedad edáfica probablemente dado a que no contemplaron los humedales semiáridos en el análisis.

Tabla 2. Regresiones lineales simples entre la RE-suelo y las principales variables edáfico-ambientales para los diferentes ambientes estudiados en la estepa de Patagonia Norte: Estepa (E), transición (T), mallín mésico (MM) y mallín húmedo (MH), parche (P) e interparche (IP) vegetado.

Ambientes	E-P e E-IP + T-P e T-IP (estepa, n=34)	MH + MM-P y MM-IP (humedal, n=12)	Combinación (n=46)
Temperatura Ambiente	$y = -0,3442x + 16,546$ $R^2 = 0,09$ $p = 0,1034$	$y = 13,454x - 69,432$ $R^2 = 0,15$ $p = 0,2070$	$y = 0,7924x + 39,791$ $R^2 = 0,02$ $p = 0,3444$
Temperatura Suelo	$y = -0,3486x + 14,189$ $R^2 = 0,07$ $p = 0,1365$	$y = 0,6524x + 168,98$ $R^2 = 0,14$ $p = 0,2324$	$y = 1,5975x + 8,9002$ $R^2 = 0,53$ $p < 0,0001$
Humedad Suelo	$y = 0,4054x + 6,6954$ $R^2 = 0,03$ $p = 0,3683$	$y = 2,4662x + 150,33$ $R^2 = 0,25$ $p = 0,0944$	$y = 5,2394x - 3,3469$ $R^2 = 0,54$ $p < 0,0001$



M a t e r i a orgánica	$y = 3,8563x + 4,0221$ $R^2 = 0,03$ $p = 0,3704$	$y = -7,5282x + 295,11$ $R^2 = 0,19$ $p = 0,1568$	$y = 7,3989x + 27,594$ $R^2 = 0,22$ $p = 0,0021$
---------------------------	--------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------

Las tasas de emisión puntual y anual encontradas para estepas de Patagonia Norte son 10 veces menores que las halladas por Peri et al. (2015) para pastizales de Patagonia Sur, utilizando el método de las trampas de NaOH a campo. Además de los factores ambientales elementales que puedan generar dichas diferencias en las emisiones, en ensayos de laboratorio contrastando el método de las trampas de NaOH con el IRGA hemos encontrado que el primero subestima en 10 veces las emisiones potenciales en suelos de estepa incubados en condiciones óptimas (Díaz Levante et al., contribución CACS-2022).

CONCLUSIONES

El estudio informa sobre las emisiones de CO₂ desde una variedad de pastizales naturales que pueden hallarse en Patagonia Norte. Caracterizar la magnitud de las emisiones de CO₂ desde ecosistemas naturales bajo manejo ganadero es importante para generar valores de referencia y comprender los factores que las regulan, contribuyendo con el balance de GEI equivalente del país. Los resultados indican que, si bien la temperatura ambiente juega un rol en la dinámica de la vegetación y los ecosistemas, los procesos de RE-suelo de los ambientes estudiados estarían más asociados a la temperatura y humedad edáfica, ambos a su vez relacionados. Por lo tanto, las reducciones en la precipitación proyectadas para la región afectarían a los ciclos biogeoquímicos del C en estos ambientes naturalmente frágiles.

Los valores hallados para estepa fueron significativamente menores que los hallados para mallines y los de parches vegetados menores a los de interparches desnudos, relacionando esto a los niveles de MOS. Como los humedales constituyen el 1% de Patagonia (Navarro et al., 2022) y de Patagonia Norte (Enriquez et al., 2020) por lo tanto, las bajas emisiones anuales ponderadas por superficie para estepas, cobra relevancia. Considerando el bajo número de animales por unidad de superficie, los valores de emisiones basales o naturales podrían tener implicancias sobre la huella neta de C para sistemas ganaderos extensivos. Como los factores ambientales (humedad y temperatura) y edáficos (MOS) tienen efecto sobre estos ciclos biogeoquímicos, el cambio climático o el deterioro por sobreuso de la tierra podrían afectar a estos patrones de manera significativa.

AGRADECIMIENTOS

A los proyectos PD I058 y PD I062 de INTA y FONTAGRO (ATN/RF-16680-RG), por financiar conjuntamente diferentes aspectos de la investigación. Al laboratorio de Suelos y Aguas de INTA EEA Bariloche, donde se realizaron los análisis de suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Chu, H., Venevsky, S., Wu, C., Wang, M. 2019. NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. *Science of the Total Environment*, 650, 2051-2062.
- Enriquez, A.S., F. Umaña, J.J. Gaitán. 2020. Estimación y cartografía de las reservas de carbono edáfico en mallines de Patagonia Norte. En: *Actas XXVII Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo*. Corrientes, Argentina. 13 -16 de octubre,
- Enriquez A.S., R. Chimner, P. Diehl, M.V. Cremona, G.L. Bonvissuto. 2015. Grazing intensity levels influence C reservoirs of wet and mesic meadows along a precipitation gradient in Northern Patagonia. *Wetland Ecology and Management*. 23:439-451. DOI:10.1007/s11273-014-9393-z
- Enriquez, A.S. 2015. Dinámica de Carbono y Nitrógeno en suelo y agua de mallines de Patagonia Norte y su relación por la degradación por pastoreo histórico intenso. Universidad Nacional del Comahue. Centro Regional Universitario Bariloche. 309pp
- Irisarri, J. G. N., Oesterheld, M., Paruelo, J. M., Texeira, M. A. 2012. Patterns and controls of above-ground net primary production in meadows of Patagonia. A remote sensing approach. *Journal of Vegetation Science*, 23(1), 114-126.
- Navarro, MF., Navarro, CS., Barrios, R., Calamari, N., Dieta, V., García Martínez, G., Iturralde Elortegui, MR., Kurtz, DB., Michard, NJ., Paredes, P., Saucedo, G., Alday, S., Cianfagna, F., Curcio, M., Enriquez, A., Lopez, A., Miranda, F., Pezzola, A., Umaña, F., Vidal, C.,



Winschel, C., Albarracín Franco, S., Alvarenga, F., Behr, S., Cremona, M.F., Gavier Pizarro, G., Mosciaro, M.J., Perucca, R., Sepulcri, M.G., Utrilla, V., Zamora Gomez, J.P., Livragui, E., Sica, Y. 2022. Mapa de distribución potencial de humedales en Argentina. Informe técnico. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Peri, P. L., Bahamonde, H., Christiansen, R. 2015. Soil respiration in Patagonian semiarid grasslands under contrasting environmental and use conditions. *Journal of Arid Environments*, 119, 1-8.

Raich, J.W., Tufekcioglu, A. 2000. Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochemistry* 48, 71e90 SENASA, 2021. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anuario_estadistico_crpn_2021_web.pdf

