Ecología Austral 36:396-417 Diciembre 2026 *Trabajo Original*
Asociación Argentina de Ecología
https://doi.org/10.25260/EA.26.36.3.0.2682

Respiración de suelos cultivados y naturales de la Pampa Arenosa, Argentina

Marisol Suárez Cruz[1,2,✉]; Ivana L. Ozán[1,3]; Alejandro Dottore[2] & Alfonsina Tripaldi[1,2]

[1] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) - Universidad de Buenos Aires (UBA), Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. [2] UBA, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias Geológicas. Buenos Aires, Argentina. [3] UBA, Facultad de Filosofia y Letras. Departamento de Antropología. Buenos Aires, Argentina.

Resumen

1. A través de un estudio comparativo y sincrónico en tres localidades de la Pampa Arenosa (Argentina) se discute el rol del tipo de sitio (natural, agrícola, ganadero) y el manejo de vegetación en la salud edáfica, en el contexto de las alteraciones que ha experimentado este paisaje con la expansión agrícola.

2. Se considera a la respiración edáfica (SRp), obtenida mediante absorción de CO_2 en trampa alcalina, en laboratorio, como indicador sensible y eficaz de la salud del suelo. En el análisis y la discusión de datos se incluyen aspectos geomorfológicos y propiedades básicas del suelo (pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico y contenido de carbonato).

3. Los resultados muestran valores bajos de SRp, coherentes con suelos arenosos, pobres en carbono orgánico y de climas secos. La erosión eólica en la zona de estudio se considera como un factor relevante para explicar bajos valores de SRp en algunos sitios. La SRp fue significativamente mayor en sitios naturales respecto de los agrícolas, excepto en la localidad de Alfalfares, que no presenta diferencias significativas entre ambos tipos, posiblemente por la implementación de agricultura de precisión y la mayor presencia de fracciones fangosas en material parental. La vegetación natural, los cultivos de servicio y la alfalfa mostraron mayores valores de SRp, mientras que los cultivos en rotación y las pasturas forrajeras presentaron los valores más bajos. Se detectan correlaciones positivas entre SRp y las propiedades fisicoquímicas, lo que indica que su variabilidad está asociada al contenido de nutrientes (CO y CE), siendo esta relación aun más pronunciada con el pH.

4. Implicancias. La SRp constituye una herramienta útil para identificar factores que condicionan actividad microbiana. De los resultados se deriva la importancia de preservar parches de vegetación natural, reducir el uso de fitosanitarios y emplear cultivos de servicio.

[Palabras clave: bioactividad, uso de suelo, manejo de vegetación, textura, materia orgánica, geomorfología]

Abstract. Soil respiration in cultivated and natural soils from the Sandy Pampa, Argentina

1. Based on a comparative and synchronic study conducted at three locations within the Sandy Pampas Region (Argentina), the role of the land use (natural, agricultural, and livestock) and vegetation management on soil health is examined in the context of significant landscape transformations associated with the agricultural expansion.

2. Soil respiration (SRp) was determined in the laboratory by measuring CO_2 absorbed in an alkaline trap. The method is considered a sensitive and effective indicator of soil health. In addition, several key soil properties (i.e., pH, electrical conductivity, organic carbon content, and carbonate content) as well as geomorphological characteristics are included in the data analysis and discussion.

3. The results show low SRp values, consistent with sandy soils characterized by low organic matter and dry climates. Wind erosion in the study area is considered a relevant factor in explaining the low SRp values in certain sites. SRp was significantly higher in natural sites than in agricultural ones, except for the Alfalfares locality, which showed no significant differences. This is potentially due to the implementation of precision agriculture and a higher proportion of silt fractions in the parent material. Natural vegetation, cover crops and alfalfa exhibited the highest SRp, whereas rotation crops and forage pastures showed the lowest values. Positive correlations were detected between SRp and physicochemical properties, indicating that its variability is associated with nutrient status (OC and EC), a relationship that was even more pronounced with pH.

4. Implications. SRp constitutes a useful tool for identifying factors that constrain microbial activity. These results highlight the importance of preserving natural vegetation patches, reducing the use of phytosanitary products, and employing cover crops.

[Keywords: bioactivity, land use, vegetation management, texture, organic matter, geomorphology].

Editora asociada: Laura Yahdjian
✉ suarezcruzmarisol@gmail.com

Recibido: 3 de Enero de 2026
Aceptado: 6 de Septiembre de 2026

Introducción

El suelo es uno de los sistemas naturales más complejos de la naturaleza y constituye la base de la sostenibilidad de la biósfera de las áreas continentales (FAO and ITPS 2015). Sin embargo, los cambios en el uso del suelo, motivados por la creciente presión antrópica, incrementan la vulnerabilidad de la pedósfera, impactando en sus mecanismos naturales de regulación. Esto conlleva a la degradación y el agotamiento tanto de suelos naturales como agrícolas. Tal como se observa a nivel global, donde extensas superficies edafizadas están llegando al límite de la resiliencia, en nuestro país, los suelos fértiles, profundos y productivos de la Región Pampeana se encuentran bajo la gran presión de la agricultura intensiva; sobre todo, desde fines del siglo XX. En las últimas décadas, su frontera se está desplazando hacia el oeste, y este hecho promovió políticas e investigaciones tendientes a generar un manejo sustentable y sostenible de las prácticas agropecuarias (e.g., Rossi and Díaz-Zorita 2004; Ferreras et al. 2007; Sainz Rozas et al. 2011; Ferreras et al. 2015; Wilson 2017).

Los suelos de la Región Pampeana Occidental (Pampa Arenosa o Seca) se caracterizan por una relativamente baja diferenciación de horizontes y una susceptibilidad elevada a la erosión hídrica y eólica, en comparación con los suelos dela Pampa Húmeda. Esta 'fragilidad' de los suelos de la Pampa Occidental se debe, en parte, a la variabilidad climática local, en escalas inter- e intra-anual; en particular, en relación con las precipitaciones (INTA 1992, 2017; Buschiazzo et al. 2004; Buschiazzo 2006; Viglizzo and Frank 2006; Colazo et al. 2008; de Dios Herrero et al. 2017), acentuada por los eventos climáticos extremos propios del cambio climático registrado desde la década del '70 (Demaría 2008; IPCC 2022). Además, se suma un material parental arenoso derivado de un paisaje eólico heredado del Cuaternario tardío, en gran medida estabilizado por vegetación y cultivos, aunque con sectores de dunas y mantos de arena activos pertenecientes a la unidad de Campos de Dunas de la Pampa Occidental (Zárate and Tripaldi 2012) (WPD en la Figura 1a). El avance de la frontera agrícola por cambios climáticos y tecnológicos sobre los suelos poco desarrollados de la Pampa Arenosos conlleva un creciente reemplazo de vastas zonas de pastizales nativos y bosques xerófilos por campos de cultivo. Esto agrava la presión antrópica sobre el ambiente (Viglizzo and Frank 2006; Demaría 2008; Tripaldi et al. 2010; Cisneros et al. 2015; Jobbágy et al. 2020; Bozzer 2021; Ríos et al. 2022).

Si bien se realizaron trabajos de análisis de calidad de suelos en el sector semiárido a subhúmedo de la Región Pampeana mediante el estudio de indicadores físicos y químicos, hay pocos estudios de evaluación de indicadores biológicos para valorar los cambios en la calidad de los suelos en relación con sus usos. Trabajos como los desarrollados por Abril (2003) en suelos del Bosque Chaqueño y agroecosistemas de Espinal, Fernández et al. (2018) en el noreste de la provincia de La Pampa, Meriles et al. (2009), Ferreras et al. (2015) y Serri et al. (2018) en la provincia de Córdoba, principalmente, y en la de San Luis son algunos ejemplos de estudios tendientes a discutir la calidad biológica del suelo en la franja semiárida pampeana en función del análisis de diversos indicadores biológicos, entre los que aplican el indicador de la respiración del suelo.

La respiración del suelo (SR) —también conocida como respiración microbiana— representa la actividad metabólica que resulta de la captura de oxígeno (O_2) y la liberación de dióxido de carbono (CO_2) producida por organismos metabólicamente activos del suelo (Anderson 1982). Su determinación es considerada uno de los principales indicadores biológicos de la salud del mismo, ya que refleja la actividad de los organismos vivos del suelo, el ciclo del carbono y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (e.g., Doran and Parkin 1994; Soil Quality Institute-USDA-NRSC 1998; Bautista Cruz et al. 2004; FAO-ITPS 2020; USDA-NRCS 2014; Soil Health Institute 2018; Adhikari et al. 2023). Las mediciones de SR pueden realizarse tanto en campo (in situ) como en laboratorio (respiración edáfica potencial, SRp) aplicando diversos protocolos (e.g., Anderson 1982; Zibilske 1994; Lorenz 2005; Rochette and Hutchinson 2005; Pell et al. 2006; Hopkins 2008; FAO 2023). La actividad de los microorganismos del suelo se correlaciona de manera positiva con numerosas funciones esenciales y beneficiosas del suelo y ecosistema (e.g., fertilidad, descomposición, desintoxicación), respondiendo a prácticas de manejo del suelo y a condiciones ambientales (e.g., Doran 2002; Abril 2003; Di Ciocco 2014; Videla and Picone 2017). Al igual que otros parámetros biológicos, la SR reacciona más rápido que otras propiedades a estas variaciones contribuyendo a un diagnóstico temprano de la calidad edáfica (Nannipieri 1994). Por lo que su determinación, junto con

otros indicadores de calidad de suelo, aporta información relevante para el conocimiento del grado de alteración funcional del suelo, de su capacidad productiva y del impacto de la actividad humana sobre el mismo, sobre todo en un contexto de creciente agriculturización de los diferentes ambientes (e.g., Videla and Picone 2017; Serri et al. 2018).

Considerando las características ambientales, edafológicas y antrópicas de la región, en el presente trabajo se plantea evaluar la bioactividad de suelos arenosos mediante un estudio comparativo de la SRp en tres localidades de la llanura pampeana occidental. Se plantea como hipótesis de trabajo que la SRp es mayor en suelos naturales respecto a los agrícolas, y que su variabilidad está estrechamente ligada a las propiedades fisicoquímicas, a la cobertura vegetal y a las prácticas de manejo. Los objetivos específicos son analizar la respuesta de la actividad microbiana al uso del suelo en Pampa Arenosa —utilizando la respiración edáfica como indicador— y establecer su vínculo con los parámetros fisicoquímicos, texturales y el contexto geomorfológico regional. Además, se busca aportar información relevante acerca de la sustentabilidad de los sistemas productivos en esta región de elevada fragilidad ambiental.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Las localidades estudiadas se ubican en el sector norte de la Región Pampeana occidental de Argentina, caracterizada por condiciones climáticas subhúmedas a semiáridas y suelos predominantemente arenosos (por lo que también se la conoce como Pampa Arenosa o Pampa Seca [Figura 1a,b]). Dentro de este contexto regional, los tres casos de estudio corresponden a tres establecimientos agrícola-ganaderos con diferencias locales en sus condiciones climatológicas, edáficas, geomorfológicas y fitogeográficas. De oeste a este, se analizaron y muestrearon suelos en la localidad Yatagán (provincia de San Luis, 34°44’47’’ S - 65°28’17’’ O); en la localidad Tari, en el margen norte de la Reserva Forestal Natural Ralicó (34°52’12’’ S - 64°55’52’’ O), y al este, en la localidad Alfalfares (34°48’39’’ S - 64°43’07’’ O), las dos últimas en la provincia de Córdoba (Figura 1). En la primera, el paisaje está caracterizado por dunas de tipo blowout dune, parcial o totalmente vegetadas, que conforman un relieve irregular (Tripaldi and Forman 2025) (Figuras 1b y 2a). La localidad Tari se encuentra en el margen sudeste de este campo de dunas (Figura 1b), en una zona donde alternan relieves suaves de mantos arenosos y escasas dunas blowout, con variado grado de estabilización por vegetación natural (Figura 2b). En la localidad Alfalfares predominan relieves suaves principalmente de uso agrícola, con la excepción de algunos bajos de deflación y escasas dunas lineales (Tripaldi and Forman 2025) (Figuras 1b y 2c).

Clima, suelo y fitogeografía. El área de estudio presenta un régimen térmico templado y un régimen hídrico subhúmedo a semiárido, con una temperatura media anual de 12 °C a 18 °C y una amplitud térmica media anual de entre 16 °C y 20 °C (INTA 1992, 2017; Servicio Meteorológico Nacional 2024). Los vientos son moderados, con predominio de cuadrantes NE y S, con mayor frecuencia en primavera-verano (>40 km/h) y una mínima durante otoño-invierno (INTA 2017; Servicio Meteorológico Nacional 2024). Las lluvias anuales disminuyen de este a oeste a lo largo de la transecta estudiada, registrándose unos 800 mm anuales a la latitud de Alfalfares y poco más de 500 mm en la localidad de Yatagán durante el período 1991-2020 (Servicio Meteorológico Nacional 2024). Las precipitaciones son más abundantes durante el semestre estival debido al régimen de tipo monzónico, asociado a los mayores valores de evapotranspiración (Garreaud et al. 2009).

Los suelos de la región están desarrollados a partir de sedimentos arenosos y areno-limosos eólicos del Pleistoceno tardío-Holoceno. Se ubican dentro del régimen de temperatura térmico y de humedad ústico y posibilitan el desarrollo de determinados cultivos bajo condiciones de secano (INTA 1992, 2017). En la región predominan los suelos de los subgrupos Haplustoles énticos y Ustipsamentes típicos, seguidos por los Ustortentes típicos y Torripsamentes ústicos (INTA 1992, 2017). Por sus texturas dominantemente arenosas, los suelos de la localidad Yatagán presentan un drenaje excesivo y baja capacidad de retención de humedad. Este hecho, sumado a las relativamente bajas precipitaciones, genera una baja diferenciación de horizontes de suelo: A-AC-C o A-C (INTA 1992, 2017). En las localidades Tari y Alfalfares, los suelos tienen su génesis sobre materiales franco arenosos a francos, por lo que los horizontes se encuentran algo más desarrollados, incluso

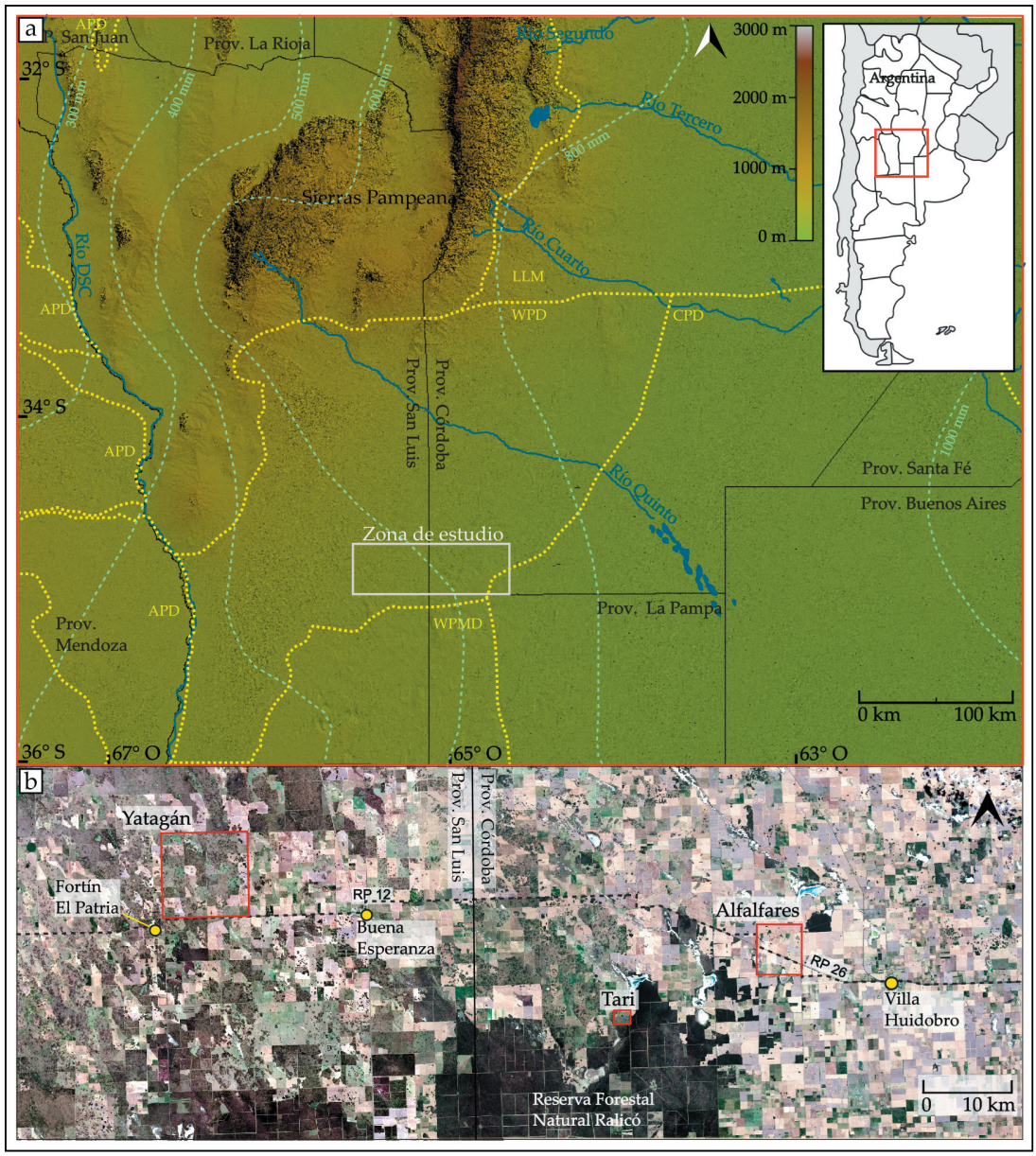


Figura 1. a) Modelo de elevación digital con las principales características geográficas de la región de estudio. Las isoyetas corresponden al período 1991-2020 (líneas punteadas celestes) (Servicio Meteorológico Nacional 2024). En líneas punteadas amarillas se señalan las unidades eólicas de Argentina central (Zárate and Tripaldi 2012): LLM=mantos de loess y loéssicos; CPD=campos de dunas de la Pampa Central; WPD=campos de dunas de Pampa Occidental; WPMD=mantos de arena y campos de dunas de Pampa Occidental; APD=campos de dunas del piedemonte andino. b) Ubicación de las localidades analizadas en imagen color real donde se muestran distintos tipos y densidades de vegetación, grado de cobertura de los suelos y rasgos geomorfológicos regionales. Imágenes base: datos digitales de elevación de MDE-Ar v 2.1 (desde IGN 2021) (a) e imagen color real (b, Sentinel 2_2A 10/2023).

Figure 1. a) Digital elevated model and main geographical features of the study area. Isohyets correspond to the 1991-2020 period (light blue dashed lines (Servicio Meteorológico Nacional 2024). Yellow dashed lines delineate the aeolian units of central Argentina (Zárate and Tripaldi 2012): LLM=loess and loess-like mantles; CPD=Central Pampean dunefields; WPD=Western Pampean dunefields; WPMD=Western Pampas sand mantles and dunefields; APD=Andean piedemont dunefields. b) Location of the sites analyzed in real color image with different vegetation types and densities, degree of soil vegetation cover and regional geomorphological features. Base images: MDE-Ar digital elevation data (from IGN 2021) (a) and real color image (b, Sentinel 2_2A 10/2023).



Figura 2. Imagen satelital (Sentinel 2_2A 10/2023) con delimitación de los establecimientos agropecuarios de estudio (líneas punteadas amarillas) y vistas de los campos. a) Localidad Yatagán (izquierda) y vista de lote agrícola con parche natural. Nótese la presencia de rastrojos de maíz cubriendo el suelo (derecha). b) Localidad Tari (izquierda) y vista de lote con abundante vegetación natural bajo la forma de pastizales y bosques xerófilos (derecha). Dunas activas. c) Localidad Alfalfares (izquierda) y vista de lote agrícola junto a parche de vegetación natural de bosque xerófilo (derecha).

Figure 2. Satellite image (Sentinel 2_2A 10/2023) with study farms delimitations (yellow dashed lines), and field views. a) Yatagán locality (left) and view of an agricultural site with corn stubble, near a natural patch (right). b) Tari locality (left), and view of extensive natural vegetation of grasslands and xerophytic forest (right). Active dunes. c) Alfalfares locality (left) and view of an agricultural plot near a natural patch of xerophytic forest (right).

alcanzando un desarrollo de horizonte B en algunos sectores (INTA 1992, 2017).

Las evidencias de erosión eólica y de sepultamiento de suelos por sedimentos eólicos son numerosas en toda el área estudiada (e.g., Collado et al. 2002; Demaría et al. 2008; Colazo and Buschiazzo 2010; Colazo 2012; Bozzer 2021). Estos rasgos reportados en la literatura también se registraron en los relevamientos de campo, donde los pastizales, parches de bosques xerófilos y lotes con cultivos, se asocian a mantos eólicos, dunas activas y dunas parcialmente estabilizadas con pendientes abruptas, cercanas a los 30°, evidenciando actividad eólica reciente (Material Suplementario-Figura S1).

Las localidades Yatagán y Alfalfares, SE de la provincia de San Luis y SO de Córdoba (respectivamente), se inscriben en la provincia fitogeográfica Pampeana (Oyarzabal et al. 2018). Aquí, la unidad de vegetación dominante es la de Estepa psamofítica de *Sorghastrum pellitum* y *Elionurus muticus*, y resultan comunes especies como *Poa ligularis*, *Nasella trichotoma*, *Bothriochloa springfieldii* y *Piptochaetium napostense*. En las hondonadas aparecen *Nasella tenuissima*, *Jarava ichu* y *Pappophorum pappiferum*; en sitios muy pastoreados aparecen *Aristida adscensionis*, *Nasella tenuis* y *Salsola kali* (Oyarzabal et al. 2018). La localidad Tari —al SO de la provincia de Córdoba— se ubica hacia el límite norte de la provincia fitogeográfica del Espinal, con unidad de vegetación de Bosque de xerófilo con *Prosopis caldenia* (Oyarzabal et al. 2018) y tres comunidades de vegetación preponderantes. La comunidad clímax es la de bosque xerofítico dominado por *Prosopis caldenia*, acompañada por *Prosopis flexuosa*, *Geoffroea decorticans* y *Jodina rhombifolia*. Las otras comunidades de relevancia corresponden a la de pastizal con especies mesotérmicas de *Nasella* spp., *Jarava* spp. y *Piptochaetium* spp. en áreas de planicie, y a la de pastizal psamofítico de *Elionurus muticus* con *Hyalis argentea* en áreas medanosas y onduladas (Oyarzabal et al. 2018).

Uso del suelo. Las tres localidades estudiadas desarrollan actividades agropecuarias. Los cultivos se realizan mediante siembra directa (labranza cero), rotación de especies (cultivos en rotación), barbecho de invierno y cultivos de servicio o de cobertura (sobre todo, avena y centeno), tratados con métodos químicos para su secado in situ a fin de acelerar el abonado del suelo y la protección contra procesos erosivos. Bajo el marco legislativo de protección y conservación de suelos de esta región (Ley N°IX-0315-2004 para la provincia de San Luis y Ley N°8936-2001 para la provincia de Córdoba), dichas áreas conservan parches de diferente extensión con vegetación natural entre los campos agrícolas, en su mayoría árboles de chañar (*Geoffroea decorticans*), caldén (*Prosopis caldenia*) y pastizales (Figura 2).

En los últimos 40 años, la localidad de Yatagán ha desarrollado la ganadería extensiva y la agricultura, implementando un pastoreo rotativo del ganado en los lotes para favorecer el descanso y crecimiento de la vegetación (Calandria comunicación personal). Los cultivos principales son alfalfa, sorgo, maíz, centeno, soja, girasol y pasturas forrajeras de *Digitaria* y *Eragrostis curvula*, concentrados en las zonas interdunales de la localidad. En diferentes lotes se observó conservación de vegetación natural (e.g., pastizal, chañarales-caldenales) que conforman desde pequeños parches hasta incluso cubrir la totalidad de lotes (Figura 2a). En total, el establecimiento Yatagán preserva hasta 5000 ha de vegetación natural.

En la localidad Tari conviven extensas áreas con vegetación natural, conformada sobre todo por montes de chañar y pastizales naturalizados de matas de gran desarrollo (*Eragrostis curvula*) y numerosas hierbas con flor (e.g. *Argemone hunnemannii*) con presencia activa de polinizadores. Los campos agrícolas de maíz y trigo se encuentran reducidos y con actividad discontinua (Efrair comunicación personal). También se observan parcelas con pasturas implantadas de calidad forrajera (*Eragrostis curvula*) para el ganado y pastoreo ocasional. En esta localidad es frecuente la presencia de suelos descubiertos con signos de actividad eólica (Figura 2b).

En la localidad Alfalfares se realiza rotación de maíz, maní, soja y cultivos de servicio como avena y centeno (Lubrina comunicación personal) que alternan con parches de bosque xerófilo (Figura 2c). Allí se cultiva alfalfa sin rotación en los lotes ubicados al sur de la estancia, para alimento del ganado. La actividad agrícola de Alfalfares es de precisión, con monitoreo digital de los diferentes procesos productivos del ciclo de los cultivos con el fin de generar una mayor eficiencia, productividad y sostenibilidad en los sistemas agrícolas (McFadden et al. 2023;

Ríos Hernández 2021). Esta metodología implica el cálculo de dosis óptimas de agroinsumos para cada sitio/lote a partir de una determinación inicial de las características geoquímicas de cada microambiente, que incluyen datos nutricionales diacrónicos. Esta evaluación permite reducir el uso innecesario de productos fitosanitarios (i.e., fertilizantes, herbicidas, insecticidas) (e.g., Lachman and López 2018).

Relevamiento y muestreo de campo

En cada localidad se registraron los distintos tipos/extensión de vegetación natural, tipo/intensidad del uso/manejo de suelo y características geomorfológicas. Los mismos productores brindaron información sobre las prácticas realizadas en cada caso. Estas observaciones de campo, reportes y análisis de imágenes satelitales sirvieron para elegir los sitios de muestreo, que se visitaron durante el período de presiembra en el mes de noviembre del año 2023 (finales de la primavera en Hemisferio Sur). Se relevaron suelos bajo uso agrícola, naturales, híbridos (i.e., lotes agrícolas en desuso desde hace por lo menos una década), algunos con signos de degradación y presencia de procesos eólicos activos (Figura 2, Material Suplementario-Figura S1). En sitios bajo uso agrícola se muestrearon suelos con rastrojo (e.g., maíz, soja, alfalfa y maní), cultivos de servicio (e.g., avena y centeno) y con pasturas implantadas (*Digitaria* o *Eragrostis curvula*). En sitios naturales se priorizó la toma de muestras de suelos colonizados por pastizales del género *Nasella* spp. por tratarse de una de las especies comunes y de gran relevancia en las provincias fitogeográficas Pampeana y del Espinal, de suelos colonizados por pastizales naturalizados (e.g., *Eragrostis curvula*) y con vegetación arbórea (chañarales o caldenales).

Los productores de las localidades informaron el empleo de herbicidas tipo Glifosato y 2,4-D en diferentes dosis según lote, aunque no hubo aplicación de fertilizantes ni insecticidas en días previos al muestreo. En ninguna localidad ocurrieron precipitaciones durante la semana previa a la toma de las muestras. Se relevó un total de 24 sitios distribuidos en Yatagán (n=12), Alfalfares (n=7) y Tari (n=5). En cada sitio se excavó una calicata para la descripción cualitativa del perfil. De manera complementaria se empleó un diseño de muestreo en cruz utilizando la calicata como punto central de sitio; se recolectaron 4 (cuatro) muestras subsuperficiales por sitio (a 5-10 cm de profundidad) en los cuatro puntos cardinales a una distancia de 40 m del centro (muestras identificadas como -n, -s, -e y -o), conformando un total de 94 muestras. En laboratorio se determinó la textura al tacto (Schoeneberger et al. 2002), la SRp por método de trampa alcalina (g $C\text{-}CO_2$.kg suelo seco^{-1}.mes^{-1}), el pH en extracto (relación 1:2.5 Arcano PHS-3E Instrument) y la conductividad eléctrica (CE, µS/cm, Hanna Instrument). Además, se cuantificó el contenido de materia orgánica (%MO) y de carbonato de calcio (%$CaCO_3$) mediante el método de pérdida por Loss-On-Ignition (LOI) (modificado de Heiri et al. 2001) (Tabla 1), con la obtención del contenido de carbono orgánico de las muestras (%CO) mediante el factor de Pribyl (2010). El conjunto de muestras se conservó en frío (4 °C) hasta el momento de los ensayos en laboratorio.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del suelo por muestra. Outliers extremos indicados con color púrpura. Alfa=Alfalfares; Yata=Yatagán; CE=conductividad eléctrica; CO=carbono orgánico.

Table 1. Physicochemical soil properties per sample. Extrem outliers indicated in purple. Alfa=Alfalfares; Yata=Yatagán; EC=electrical conductivity; OC=organic carbon.

Localidad_Sitio-muestra	Textura al tacto	pH	CE (µS/cm)	CO (%)	$CaCO_3$ (%)	Localidad_Sitio-muestra	Textura al tacto	pH	CE (µS/cm)	CO (%)	$CaCO_3$ (%)
Alfa_1-n	Franco limosa	6.5	68.9	1.08	1.71	Yata_1-n	Arenoso franca	6.0	100.8	1.36	1.21
Alfa_1-s		5.6	33.9	1.03	2.35	Yata_1-s		8.0	102.7	1.13	1.32
Alfa_1-e		6.2	134.9	1.77	2.30	Yata_1-e		6.4	270.0	1.45	1.10
Alfa_1-o		5.9	230.0	1.46	2.02	Yata_1-o		8.1	65.3	1.23	1.03
Alfa_7-n	Arenosa fina	5.6	400.0	7.09	1.61	Yata_2-n	Arenoso franca	6.1	30.8	1.11	0.60
Alfa_7-s		5.9	360.0	1.45	1.75	Yata_2-s		6.5	30.6	1.15	1.27
Alfa_7-e		5.4	220.0	1.64	1.29	Yata_2-e		6.6	44.0	0.83	1.03
Alfa_7-o		6.7	128.1	1.16	1.05	Yata_2-o		7.3	40.0	0.85	1.16

Tabla 1. Continuación.
Table 1. Continuation.

Alfa_14-n	Arenosa muy fina	6.3	87.5	0.88	1.44	Yata_3-n	Arenoso franca	6.3	46.8	1.06	0.86
Alfa_14-s		6.5	460.0	2.55	1.91	Yata_3-s		6.0	156.0	1.01	1.22
Alfa_14-e		6.7	46.5	1.08	1.31	Yata_3-e		6.2	108.1	1.52	1.18
Alfa_14-o		6.4	72.5	0.88	1.72	Yata_3-o		6.0	115.0	1.11	0.92
Alfa_16-s	Franca	5.6	360.0	2.98	1.24	Yata_4-n	Arenoso franca	6.8	24.7	0.82	0.66
Alfa_16-e		5.6	320.0	3.88	2.85	Yata_4-s		6.1	54.3	1.27	0.90
Alfa_16-o		5.7	870.0	9.59	2.30	Yata_4-e		6.6	30.5	1.05	0.73
Alfa_18-n	Franco arenosa	5.9	127.0	0.71	1.24	Yata_4-o		7.4	55.9	1.02	1.21
Alfa_18-s		5.9	340.0	1.10	1.08	Yata_5-n	Arenoso franca	5.4	188.0	3.85	1.45
Alfa_18-e		6.5	41.1	0.51	1.33	Yata_5-s		6.4	58.1	2.05	1.59
Alfa_18-o		6.1	151.7	1.05	1.30	Yata_5-e		5.8	480.0	8.12	2.49
Alfa_19-n	Franco limosa	6.1	86.6	1.27	1.13	Yata_5-o		6.1	379.0	5.21	0.75
Alfa_19-s		6.5	84.3	1.70	2.00	Yata_6-n	Arenoso franca	6.3	100.9	1.22	1.05
Alfa_19-e		6.1	91.2	1.68	1.69	Yata_6-s		6.3	210.0	1.51	1.07
Alfa_19-o		6.7	80.0	1.46	1.72	Yata_6-e		6.3	40.9	0.95	1.26
Alfa_20-n	Franca	8.0	110.8	0.49	1.15	Yata_6-o		6.5	43.5	0.91	1.23
Alfa_20-s		6.0	200.0	2.92	1.66	Yata_7-n	Arenoso franca	6.0	37.3	1.16	0.62
Alfa_20-e		6.4	159.7	3.22	1.51	Yata_7-s		6.1	33.4	0.94	1.08
Alfa_20-o		7.8	330.0	1.77	2.08	Yata_7-e		6.3	54.6	1.22	1.23
						Yata_7-o		6.0	69.8	1.31	0.85
						Yata_8-n	Franca a franco arenosa	6.2	190.4	2.93	1.22
Tari_1-n	Franco arenosa	5.9	323.0	7.01	0.99	Yata_8-s		6.0	53.8	1.30	0.96
Tari_1-s		5.5	350.0	2.93	1.92	Yata_8-e		6.1	210.0	6.42	1.17
Tari_1-e		4.9	440.0	8.48	2.09	Yata_8-o		5.7	112.8	3.28	0.98
Tari_1-o		5.3	270.0	5.48	0.99	Yata_9-n	Arenoso franca	6.3	108.3	1.08	0.63
Tari_3-n	Franco arenosa	6.2	101.0	1.38	0.90	Yata_9-s		6.3	111.7	1.30	0.88
Tari_3-s		6.4	75.1	1.26	0.81	Yata_9-e		6.4	164.6	1.34	1.08
Tari_3-e		6.1	124.9	1.33	1.47	Yata_9-o		6.2	44.0	0.76	0.79
Tari_3-o		6.0	60.2	1.36	1.26	Yata_10-n	Arenoso franca	6.4	24.5	0.66	0.92
Tari_4-n	Arenosa fina	6.5	15.4	0.49	0.80	Yata_10-s		5.7	91.9	0.95	1.42
Tari_4-s		6.7	21.3	0.32	1.07	Yata_10-e		6.6	30.7	0.69	0.79
Tari_4-e		7.2	12.0	0.53	0.54	Yata_10-o		6.3	22.7	1.24	1.29
Tari_4-o		7.1	16.9	0.57	0.86	Yata_11-n	Arenoso franca	7.2	32.0	1.04	0.72
Tari_5-n	Arenosa muy fina	6.7	61.3	1.20	0.60	Yata_11-s		6.3	51.4	0.80	0.60
Tari_5-s		6.4	66.0	1.21	1.26	Yata_11-e		6.3	29.3	1.03	0.93
Tari_5-e		6.3	53.0	0.80	1.39	Yata_11-o		6.9	33.0	0.73	1.08
Tari_5-o		6.7	42.7	1.36	1.04	Yata_12-n	Arenoso franca	8.0	1950.0	4.59	0.46
Tari_6-n	Franco arenosa	6.2	97.0	1.21	0.98	Yata_12-s		8.6	5380.0	6.14	2.77
Tari_6-s		5.9	99.0	0.83	1.35	Yata_12-e		7.1	210.0	1.35	0.87
Tari_6-o		5.9	69.0	1.12	0.80	Yata_12-o		7.1	240.0	3.28	0.94

Estimación de la respiración de suelo potencial

La determinación de la SRp se realizó en el Laboratorio de Química de Rocas del Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Se siguió el método de absorción de CO_2 en trampa alcalina (Zibilske 1994; Hopkins 2008) considerando, además, la modificación más reciente de la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO 2023). En primer lugar, las muestras fueron tamizadas por malla de 2 mm en su estado de humedad original para eliminar gravas y fragmentos

vegetales. Después del tamizado se procedió a pre-incubar el suelo en frascos Erlenmeyer con cierre hermético aplicando un globo en cada boca, dentro de celda cerrada, a 25 °C y humedad constantes durante 3 días (Material Suplementario-Figura S2). Se utilizó agua de calidad analítica tipo Mili-Q hasta el 80% de la capacidad de campo de las muestras (método gravimétrico) (Gil and Martelotto 1993). Luego, las muestras se incubaron durante 3 días, con la incorporación de una trampa alcalina conformada por 4.5 mL de KOH 1 M dentro de cada recipiente, para capturar el CO_2. Como control, se incorporó una medición blanco en cada tanda realizada. El exceso de KOH se tituló con HCl 0.2 M, usando una solución de fenolftaleína como indicador, en presencia de BaCl2 De acuerdo con Zibilske (1994) y FAO (2023), considerando a la vez la cantidad de días de incubación del ensayo, la cantidad de CO_2 liberado resulta de la Ecuación 1.

$$SRp = (B - S) * E / w * t_{incub} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde SRp=mg CO_2.g suelo seco^{-1}.día^{-1}; B=volumen utilizado de HCl en la titulación de los blancos (mL); S=volumen de HCl utilizado en titulación de la muestra (mL); E=factor de conversión que corresponde al CO_2 equivalente según concentración del HCl empleado (valor resultante de 4.37 mg CO_2/mL HCl (según concentración de 0.199 M del HCl valorado utilizado en el ensayo); w=peso de suelo seco (g); t_{incub}=tiempo de incubación con trampa alcalina (3 días). Una vez obtenidos los valores de SRp se procedió a cambiarles las unidades a g C-CO_2.kg suelo seco^{-1}.mes^{-1}.

Análisis estadístico

Para un primer análisis de los datos de SRp se utilizó la estadística descriptiva (media, moda, desviación estándar). Después se realizó un análisis no paramétrico (ANOVA Kruskal-Wallis), definiendo diferentes clases en función de los factores o variables categóricas tipo de sitio y manejo/tipo de vegetación, para evaluar diferencias de SRp en función de estas variables dentro de cada localidad y entre las localidades. El tipo de sitio refiere a si el suelo estudiado está sujeto a prácticas agropecuarias o si se trata de un sitio natural. El manejo/tipo de vegetación hace referencia a las especies vegetales, naturales o cultivadas, que cubren la superficie del suelo (ver factores en Material Suplementario-Tabla S1). Dicho análisis estadístico permite determinar si existen grupos estadísticamente diferentes entre sí (Prueba H, $\rho<0.05$) en función de esas variables independientes y de carácter nominal, e indica pertenencia de las diferentes clases a los grupos que informa. En aquellos casos en los que las pruebas de diferenciación no resultaron concluyentes y las clases presentaron una asignación múltiple de grupo, se evaluó su posible carácter transicional entre los grupos de SRp. Asimismo, se evaluó el tamaño de la muestra (n) en estas clases, dado que una baja representatividad numérica limita la interpretación estadística, y se procedió a un reagrupamiento de las clases analizadas, indicando tendencias y valores de SRp medios. Luego, se efectuó un análisis de correlación (Pearson y Spearman) y regresión lineal de SRp con las variables pH, CE, CO y $CaCO_3$ para el conjunto de datos de los sitios agrícolas y otro de los sitios naturales. También se analizó la correlación/regresión lineal entre las variables SRp y CO por localidad para los sitios agrícolas. Por último, se realizó un análisis de componentes principales (CPA) de los datos recopilados. Para cada análisis estadístico, se excluyeron los valores extremos de cada variable en los conjuntos de datos correspondientes para asegurar la robustez de los resultados. Se emplearon los softwares INFOSTAT v2020_e (Di Rienzo et al. 2020) y PAST v5.3 (Hammer et al. 2001) para el conjunto de análisis estadísticos.

Resultados

Los sitios naturales presentan mayores valores de SRp de manera generalizada, en comparación con los sitios agrícolas de las localidades analizadas, aunque se registre elevada heterogeneidad en los valores de SRp (coeficientes de variación >30%). Por un lado, los resultados de SRp obtenidos muestran SRp media=0.813±0.271 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1} en Alfalfares; SRp media=1.110±0.541 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1} en Tari, y SRp media=0.540±0.311 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1} en Yatagán para los sitios naturales (Figura 3, Material Suplementario-Tabla S1). Por otro lado, los sitios agrícolas presentan SRp media=0.662±0.320 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1} en Alfalfares; SRp media= 0.290±0.210 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1} en Tari, y SRp media=0.381±0.162 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1} en Yatagán (Figura 3, Material Suplementario-Tabla S1).

Comparando los mismos tipos de sitio entre las localidades analizadas, Tari registró la SRp media más elevada de los sitios naturales analizados (Tari_N, 1.110±0.541 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}) (Figura 3), aunque sin diferencia estadísticamente significativa (Figura 3). Por

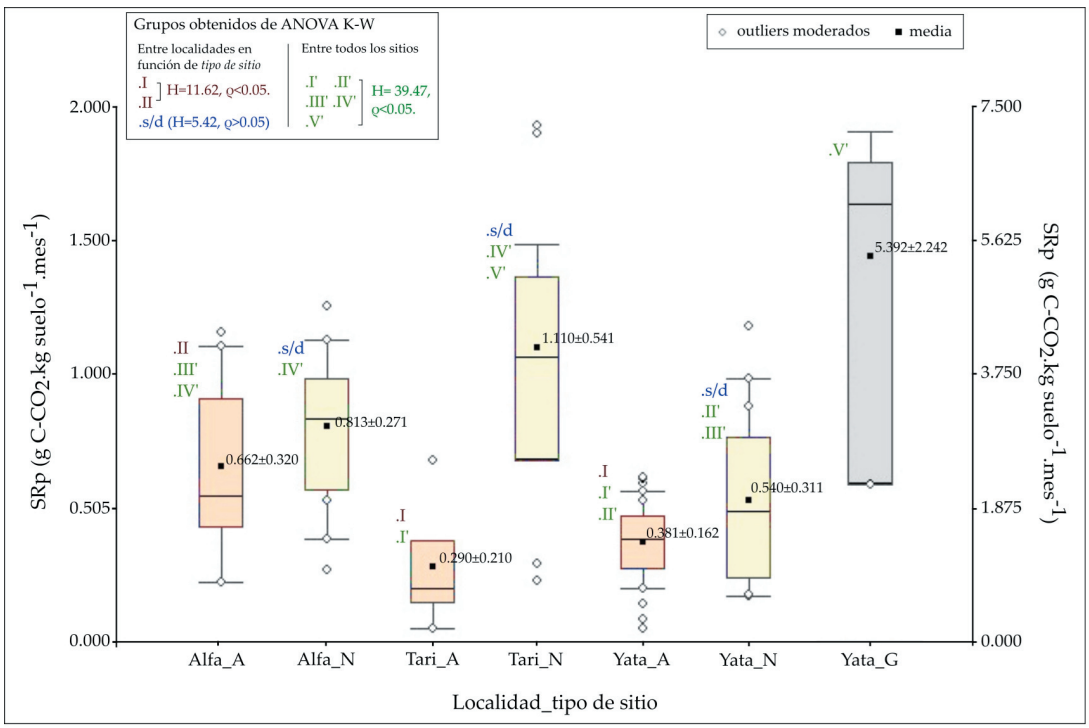


Figura 3. Gráficos de cajas de las SRp medidos por localidad y tipo de sitio, con información de los grupos resultantes de las pruebas post-hoc ANOVA (Kruskal-Wallis), que comparan localidades por tipo de sitio y en todos los sitios analizados (los sitios híbridos, de dunas naturales y naturales degradados se categorizaron como 'naturales' para estos análisis). Las cajas representan el 68% de los datos (1 DE), y la línea central indica la mediana. El eje vertical de la derecha corresponde al sitio ganadero Yatagán. Se reportan los valores de media y desviación estándar para cada caso, excluyendo valores outliers. Tari_A=sitios agrícolas de Tari; Tari_N=sitios naturales de Tari; Yata_A=sitios agrícolas de Yatagán; Yata_N=sitios naturales de Yatagán; Yata_G=sitio ganadero de Yatagán; Alfa_A=sitios agrícolas de Alfalfares; Alfa_N=sitios naturales de Alfalfares. Las clases asignadas a más de un grupo dentro del mismo análisis indican limitaciones de la prueba estadística.

Figure 3. Box-plots of SRp measured by locality and site type, incorporating group assignments from pos-hoc ANOVA (Kruskal-Wallis) tests comparing localities by site type and across all analyzed sites (hybrid, natural dune and degraded natural sites were categorized as 'natural' for these analyses). Boxes represent 68% of data (1 DE), and the central line indicates the median. The vertical axis on the right corresponds to the Yatagán livestock site. Mean and standard deviation values are reported for each case, excluding extreme outliers. Tari_A=Tari agricultural sites; Tari_N=Tari natural sites; Yata_A=Yatagán agricultural sites; Yata_N=Yatagán natural sites; Yata_G=Yatagán livestock site; Alfa_A=Alfalfares agricultural sites; Alfa_N=Alfalfares natural sites. Classes assigned to more than one group within the same analysis indicate test's limitations.

su lado, los sitios agrícolas de Alfalfares presentaron una SRp media relativamente más alta (0.662±0.320 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}) respecto de los sitios agrícolas de las demás localidades. A pesar de que las localidades presentan elevada heterogeneidad en los valores de SRp (CV>30%), se diferenciaron significativamente dos grupos agrícolas: el grupo I, de menor SRp (media=0.336 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}), conformado por los sitios de Yatagán y Tari, y el grupo II, de mayor SRp (media=0.662 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}), representado por los sitios de Alfalfares (grupos I y II) (Figura 3).

Se diferenciaron significativamente cinco grupos de valores de SRp al realizar la comparación entre todos los tipos de sitio juntos (Figura 3). No obstante, la diferencia del tamaño de muestra de las clases, así como un posible carácter transicional o mayor varianza en los datos de otras, limitaron la potencia estadística y dificultaron una asignación unívoca de todos los sitios (clases asignadas a más de un grupo). Analizando las clases y los grupos obtenidos, se diferenciaron tres tendencias: 1) los sitios agrícolas de Tari y Yatagán (clases Tari_A y Yata_A; grupos I', II') registraron los menores valores de SRp (media=0.336 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}); 2) los sitios naturales de todas las localidades y los agrícolas de Alfalfares (clases Yata_N, Alfa_N, Tari_N, Alfa_A; grupos II', III' y IV') registraron valores más elevados de SRp

(media 0.781 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}), y 3) los mayores valores de SRp fueron registrados en las muestras del sitio ganadero (clase Yata_G, grupo V') (media=5.39 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}). Esta última clase (Yata_G) presenta un valor de SRp media muy por encima a las registradas en los sitios naturales, resolviendo así la limitación estadística de la prueba.

Respiración del suelo por localidad: tipo de sitio y manejo/tipo de vegetación

En Yatagán se diferenciaron 3 grupos en función del tipo de sitio (Tabla 2): un grupo I, con los menores valores de SRp (media=0.363 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}), representado por los sitios agrícolas y naturales deteriorados (clases A y Nd) (Tabla 2); un grupo II, con una SRp algo más elevada (media 0.613g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}), integrado por los sitios naturales (clase N) (Tabla 2), y un grupo III, con los mayores valores de SRp (media=5.39 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}), conformado sólo por el sitio ganadero (clase G) (Tabla 2). El análisis según el manejo/tipo de vegetación permitió diferenciar inicialmente cuatro grupos significativos (I, II, III y IV) (Tabla 2). No obstante, el bajo tamaño de muestra en

Tabla 2. Resultados de la evaluación de medias en el ANOVA Kruskal-Wallis en función del tipo de sitio y del manejo/tipo de vegetación, para cada localidad y entre ellas. Se detallan los diferentes grupos de clases obtenidos en cada caso. Clases señaladas con (*) podrían corresponder a uno u otro grupo debido a la imposibilidad de la prueba para determinar pertenencia (la diferencia no es estadísticamente significativa, ρ>0.05). Tari_A=sitios agrícolas de Tari. Tari_N=sitios naturales de Tari. Yata_A=sitios agrícolas de Yatagán. Yata_N=sitios naturales de Yatagán. Yata_G=sitio ganadero de Yatagán. Alfa_A=sitios agrícolas de Alfalfares. Alfa_N=sitios naturales de Alfalfares. A=agrícola. N=natural. ND=natural de duna. Nd=natural deteriorado. G=ganadero. C. rot.=cultivo rotación. P. natzdo.=pastizal naturalizado. Arbor.=parche arbóreo. C. serv.=cultivo de servicio. Alf.=cultivo de alfalfa permanente. Halóf.=halófila natural. P. nat.=pastizal natural. P. implant.=pastura implantada. Exót.=exótica *Atriplex suberecta*.

Table 2. Results for the evaluation of means from Kruskal-Wallis ANOVA considering the site type and manegement/vegetation type, for each locality and between them. The different class groups obtained in each case are detailed. Classes marked with (*) may correspond to either group due to the test's inability to determine definitive membership (the difference is not statistically significant, ρ>0.05). Tari_A=Tari agricultural sites. Tari_N=Tari natural sites. Yata_A=Yatagán agricultural sites. Yata_N=Yatagán natural sites. Yata_G=Yatagán livestock site. Alfa_A=Alfalfares agricultural sites. Alfa_N=Alfalfares natural sites. A=agricultural. N=natural. ND=natural dune. Nd=degraded natural. G=livestock. C. rot.=rotation crop. P. natzdo.=naturalized grassland. Arbor.=tree patch. C. serv.=service crop. Alf.=permanent alfalfa crop. Halóf.=natural halophytic. P. nat.=natural grassland. P. implant.=planted pasture. Exót.=exotic *Atriplex suberecta.*

Localidad	ANOVA Kruskal-Wallis (ϱ<0.05)	
	Grupos por tipo de sitio	Grupos por manejo/tipo de vegetación
Alfalfares	No existe diferencia significativa entre muestras (ϱ>0.05)	
Tari	Existe diferencia significativa entre muestras (H=8.61, ϱ<0.05)	Existe diferencia significativa entre muestras (H=10.31, ϱ<0.05)
	Grupos:	Grupos:
	I. N / ND*	I. C. rot./P. nat.
	II. ND / A	II. P. natzdo./Arbor.
Yatagán	Existe diferencia significativa entre muestras (H=19.62, ϱ<0.05)	Existe diferencia significativa entre muestras (H=23.40, ϱ<0.05)
	Grupos:	Grupos:
	I. Nd / A	I. P. implant./P. natzdo./C.rot.*/C. serv.*
	II. N	II. C. rot./C. serv.*/Arbor.*
	III. G	III. C. serv./Arbor./P. nat.*
		IV. Arbor./P. nat./Exót.
Todos los sitios	Existe diferencia significativa entre muestras (H=39.47, ϱ<0.05 (ver Figura 3)	Existe diferencia significativa entre muestras (H=42.91, ϱ<0.05)
	Grupos:	Grupos:
	I'. Tari_A/Yata_A	I. P. implant. / C. rot. / P. natzado.
	II'. Yata_A*/Yata_N	II. C. rot..*/ P. natzado.*/ Halóf.
	III'. Yata_N*/Alfa_A/Alfa_N	III. P. natzado.*/ Halóf.*/ P. nat./ Arbor. / C. serv. / Alf.
	IV' Alfa_A*/Alfa_N*/Tari_N	IV. Halóf.*/ P. nat.* / Arbor.* /
	V' Tari_N*/Yata_G	C. serv.* / Alf.* / Exót.

determinadas clases (n=4) así como un posible carácter transicional o mayor varianza en los datos de otras, limitaron la potencia estadística dificultando una asignación unívoca de todos los sitios (clases asignadas a más de un grupo). El análisis de clases y grupos permitió diferenciar tres tendencias: 1) las pasturas implantadas, los pastizales naturalizados y los cultivos en rotación (grupos I y II) registraron los menores valores de SRp (media=0.363 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}); 2) los cultivos de servicio, la vegetación arbórea y los pastizales naturales (grupos II, III y IV) presentaron valores más elevados de SRp (media=0.613 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}), y 3) los sitios con vegetación natural exótica (grupo IV) presentaron los mayores valores de SRp (media=5.39 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}).

En Tari se diferenciaron significativamente 2 grupos en función del tipo de sitio y 2 grupos para manejo/tipo de vegetación (Tabla 2). En el primer caso, un grupo I, con los mayores valores de SRp (media=1.23 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}), conformado por los sitios naturales (clase N) (Tabla 2) y un grupo II, de menores valores de SRp (media=0.290 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}) de los sitios agrícolas (clase A) (Tabla 2). En este análisis, la clase natural de duna (ND) (Tabla 2) presentó baja representatividad, por lo que no se logró determinar pertenencia de grupo de dicha clase. En cuanto al manejo/tipo de vegetación en esta localidad, se diferenciaron un grupo I de menores valores de SRp (media=0.501 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}), conformado por los cultivos en rotación y pastizales naturales

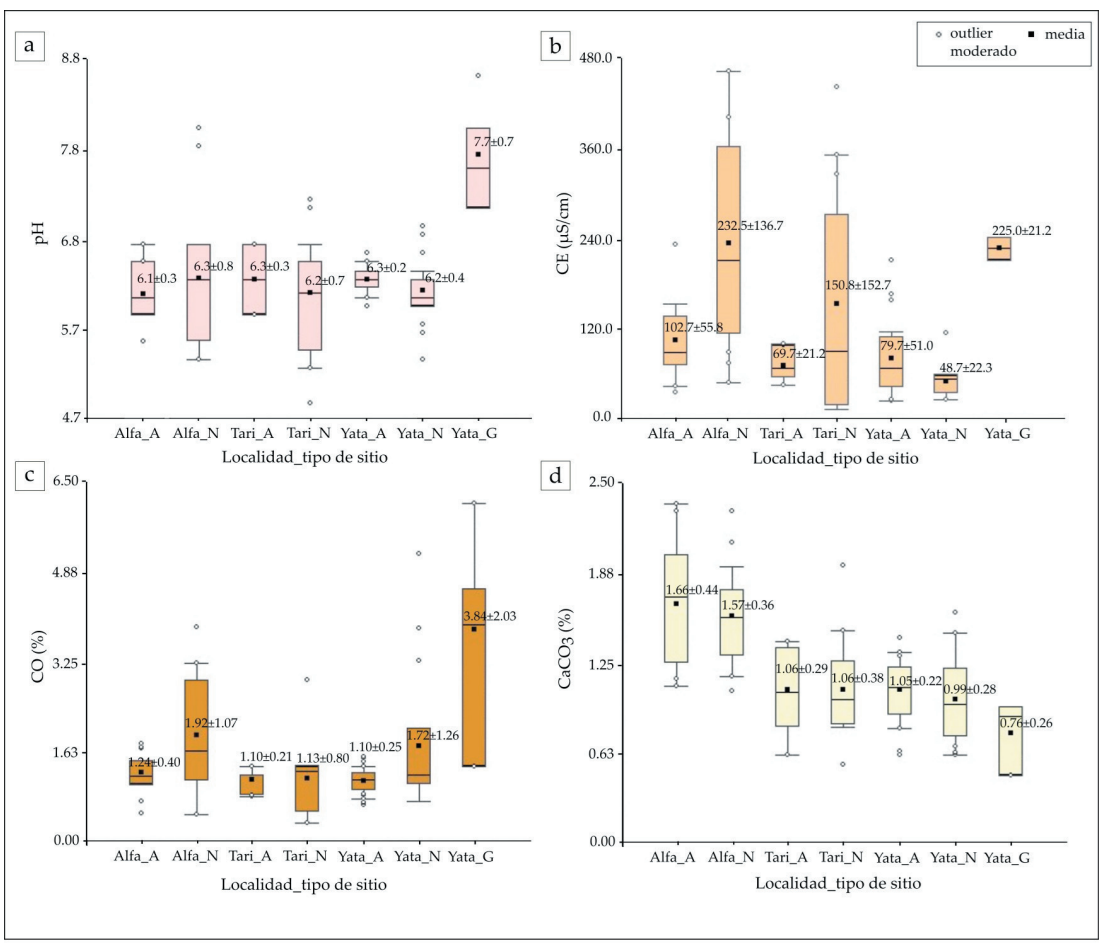


Figura 4. Gráfico de cajas de las propiedades fisicoquímicas del suelo por localidad y tipo de sitio. a) pH. b) CE (conductividad eléctrica, µS/cm). c) CO (carbono orgánico, %). d) $CaCO_3$ (%). Las cajas representan el 68% de los datos (1 DE) y la línea horizontal central de la caja representa la mediana. Se excluyen los valores extremos de cada propiedad y en cada caso se informa el valor de la media y la desviación estándar.

Figure 4. Box-plots of soil physicochemical properties by locality. a) pH. b) EC (electrical conductivity, µS/cm). c) OC (organic carbon, %). d) $CaCO_3$ (%). Boxes represent 68% of the data (1 SD) and the horizontal central line of the box represents the median. Extreme values for each property are excluded, and the mean and standard deviation are reported for each case.

(clases C. rot. y P. nat.) y un grupo II con mayores valores de SRp (media=1.23 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}) que reúne los sitios con pastizales naturalizados y vegetación arbórea (clases P. natzado y Arbor.).

Se diferenciaron significativamente varios grupos al comparar los valores de SRp entre todas las localidades en función del tipo de sitio y entre todas las localidades en función del manejo/tipo de vegetación (Tabla 2). En el primer caso se pudieron diferenciar 5 grupos (Figura 3). El análisis del manejo/tipo de vegetación permitió diferenciar inicialmente cuatro grupos significativos (I, II, III y IV) (Tabla 2). Sin embargo, el bajo tamaño de muestra en determinadas clases (n=4), así como un posible carácter transicional o una mayor varianza en los datos de otras, limitaron la potencia estadística y dificultaron una asignación unívoca de todos los sitios (clases asignadas a más de un grupo). Analizando las tendencias de clases y grupos, se diferenciaron 3 tendencias: 1) las pasturas implantadas, los cultivos en rotación y pastizales naturalizados (grupos I y II) registraron los menores valores de SRp (media=0.466 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}); 2) los sitios con halófitas, pastizales naturales, vegetación arbórea y los cultivos de servicio y de alfalfa permanente (grupos II, III y IV) presentaron valores más elevados de SRp (media=0.916 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}), y 3) los sitios con vegetación natural exótica (grupo IV) mostraron los mayores valores de SRp (media=5.39 g C-CO_2.kg suelo^{-1}.mes^{-1}).

Propiedades fisicoquímicas y respiración de suelo

Los valores de pH (Tabla 1, Figura 4a) muestran una baja variación entre localidades y tipos de sitio (agrícola y natural), con medias del orden de 6.3, indicando suelos con ligera acidez, aunque con un leve incremento de alcalinidad en sitio ganadero (media=7.7±0.7). La CE (Tabla 1, Figura 4b) muestra valores de media de entre 69.7 y 102.7 μS/cm en los sitios agrícolas y de entre 48.7 y 232.5 μS/cm en los sitios naturales de las localidades analizadas, siendo Alfalfares y Tari las localidades que concentran los mayores valores asociados a estos últimos. Si bien el sitio ganadero registra una media de CE de 225.0 μS/cm, muestra valores extremos de hasta 5380.0 μS/cm, excluidos en análisis estadístico. El contenido de CO (Tabla 1, Figura 4c) registra valores de media entre 1.10 y 1.24% en los sitios agrícolas y entre 1.13 y 1.92% en los sitios naturales, aunque registra numerosos valores extremos en este último tipo (de hasta 8.12%, excluidos en análisis estadístico). Algo similar ocurre con el sitio ganadero, con media de 3.84% y valores extremos de hasta 6.14%. El contenido de $CaCO_3$ (Tabla 1, Figura 4d) es bajo en los suelos, con valores de media entre 0.76 y 1.66%, aunque se destacan los sitios de la localidad Alfalfares, con un valor medio de 1.62%. En cuanto a las texturas de los suelos analizados, predominan las texturas arenosas o francas, con mayor representación de las segundas en las localidades de Tari y Alfalfares (Tabla 1). La comparación de los parámetros fisicoquímicos con los valores de SRp (Figura 5) muestra correlaciones positivas en sitios naturales —a excepción de pH-SRp— y sitios agrícolas. En los sitios naturales se observaron correlaciones significativas de intensidad baja a moderada ($\rho<0.05$; r y r′ entre 0.3 y 0.5) entre todas las variables analizadas y la SRp, con bajo grado de ajuste de las rectas de regresión lineal (R^2 <0.2) (Figuras 5a, b, c, d). En los sitios agrícolas se observaron correlaciones significativas de intensidad moderada ($\rho<0.05$; r y r′ entre 0.4 y 0.5), con bajo grado de ajuste de las rectas de regresión lineal (R^2 <0.1) para las variables de CE y CO con respecto a la SRp, y correlaciones de baja intensidad y estadísticamente no significativas ($\rho>0.05$; r y r′ <0.1), con bajo a nulo grado de ajuste de las rectas de regresión lineal (R^2 <0.02) para las variables de pH y $CaCO_3$ con respecto a la SRp (Figuras 5e, f, g, h).

A partir del CPA (Figura 6) se observó que los dos primeros componentes (CP1 y CP2) explican el 64% de la varianza total del conjunto de datos, siendo de 45% y 19%, respectivamente. Las variables con mayor carga en CP1 correspondieron al CO (0.571) y a la CE (0.564), siendo la SRp y pH las de mayor carga en CP2 (0.730 y 0.682, respectivamente). El contenido de $CaCO_3$ tiene una contribución débil sobre CP1 y casi nula sobre CP2 (peso=0.377 y -0.0164, respectivamente). En función de la ubicación espacial de los vectores que representan las variables analizadas, se observa una correlación positiva generalizada de la SRp con las demás variables (ángulos agudos entre las direcciones vectoriales). Los sitios naturales presentan una mayor heterogeneidad de las diferentes propiedades edáficas en los suelos naturales en comparación con los agrícolas (Figura 6a). Asimismo, los sitios agrícolas señalan una mayor concentración en el cuadrante opuesto al sentido de los vectores.

Por otra parte, los grupos de sitios naturales de vegetación arbórea, pastizales naturales,

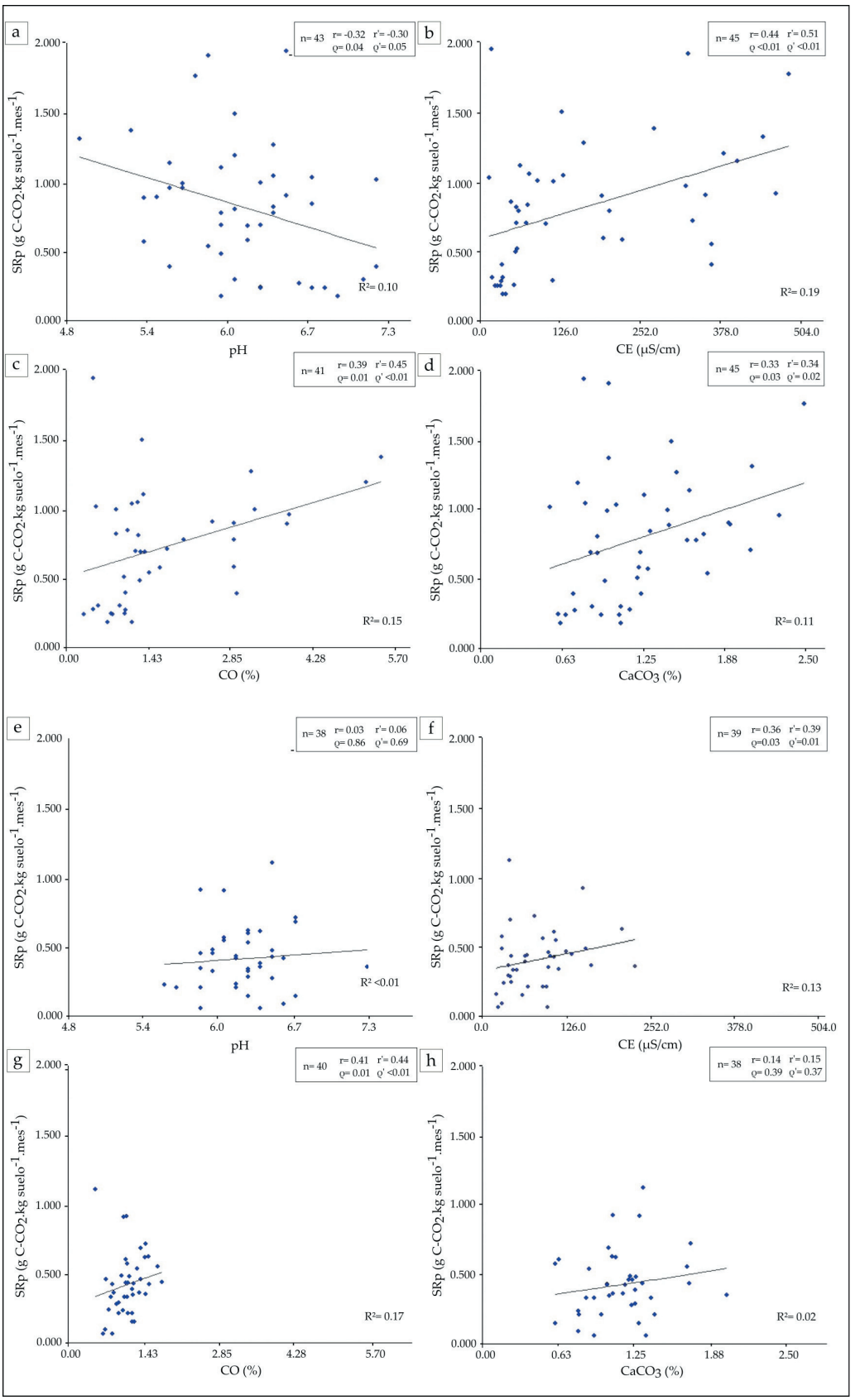
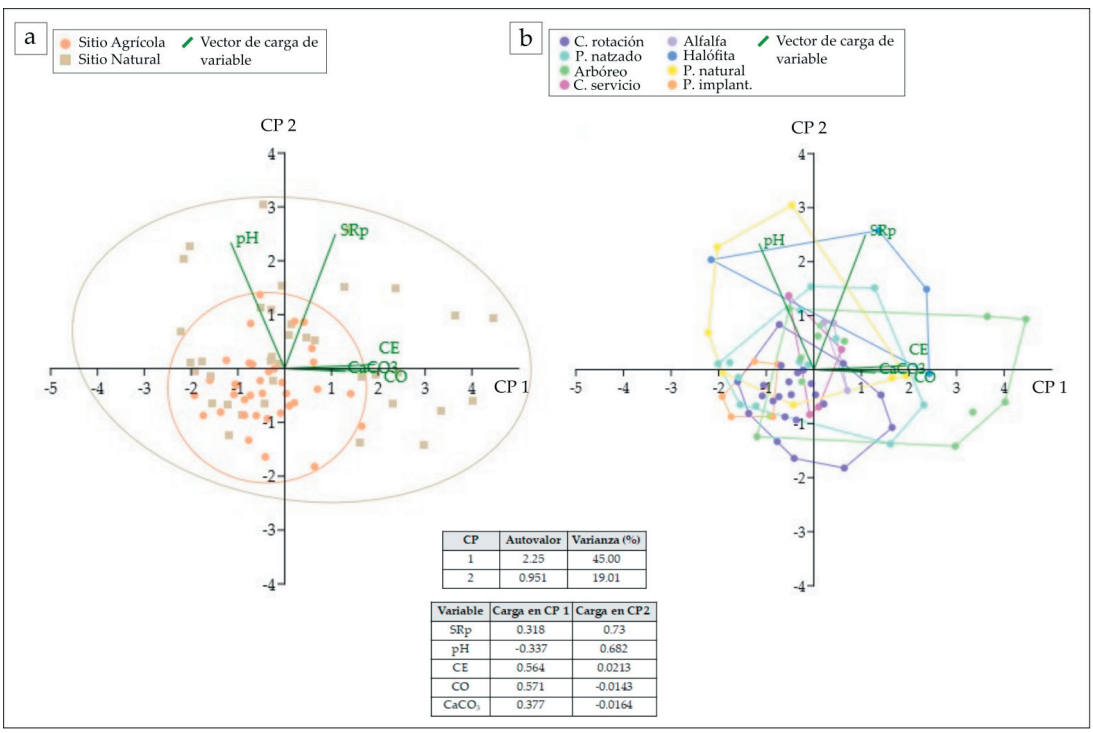

a
n= 43 r= -0.32 r'= -0.30
ϱ= 0.04 ϱ'= 0.05
R²= 0.10
SRp (g C-CO2.kg suelo-1.mes-1)
pH
b
n= 45 r= 0.44 r'= 0.51
ϱ <0.01 ϱ' <0.01
R²= 0.19
CE (µS/cm)
c
n= 41 r= 0.39 r'= 0.45
ϱ= 0.01 ϱ' <0.01
R²= 0.15
CO (%)
d
n= 45 r= 0.33 r'= 0.34
ϱ= 0.03 ϱ'= 0.02
R²= 0.11
CaCO3 (%)
e
n= 38 r= 0.03 r'= 0.06
ϱ= 0.86 ϱ'= 0.69
R² <0.01
pH
f
n= 39 r= 0.36 r'= 0.39
ϱ=0.03 ϱ'=0.01
R²= 0.13
CE (µS/cm)
g
n= 40 r= 0.41 r'= 0.44
ϱ= 0.01 ϱ' <0.01
R²= 0.17
CO (%)
h
n= 38 r= 0.14 r'= 0.15
ϱ= 0.39 ϱ'= 0.37
R²= 0.02
CaCO3 (%)

Figura 5. Gráficos de correlación y regresión lineal entre SRp y las variables pH, CE (conductividad eléctrica, µS/cm), CO (carbono orgánico, %) y CaCO3 (%), para sitios naturales (a, b, c y d) y sitios agrícolas (e, f, g y h), con exclusión previa de valores extremos de las variables para el conjunto de muestras de sitios agrícolas y para el conjunto de muestras de sitios naturales. Los sitios híbridos, natural de duna y natural deteriorado se incluyeron como 'naturales' en este análisis. n=número de muestras. r, r'=coeficientes de correlación de Pearson y Spearman, respectivamente. ρ, ρ'=significancia estadística (Pearson y Spearman, respectivamente). R^2=coeficiente de determinación de regresión lineal.

Figure 5. Correlation and linear regession plots between SRp and pH, EC (electrical conductivity, µS/cm), OC (organic carbon, %) and $CaCO_3$ (%) for natural sites (a, b, c and d) and agricultural sites (e, f, g and h), following the exclusion of extreme outliers for both the agricultural and the natural site datasets. Hybrid, natural dune and degraded natural sites were categorized as 'natural' for this analysis. n=number of samples. r, r'=Pearson and Spearman correlation coefficients, respectively. ρ, ρ'=statistical significance (Pearson and Spearman, respectively). R^2=coefficient of determination for linear regression.

halófitas y pastizales naturalizados presentaron las mayores dispersiones respecto a los agrícolas en el CPA (Figura 6b). Los grupos de pastizales naturales y halófitas muestran los valores más altos de SRp (tendencia hacia valores positivos de CP2), mientras que los sitios del grupo arbóreo se ubicaron hacia el sector de los vectores CO y CE, y con mayor dispersión relacionados con la SRp. Los sitios de pastizales naturalizados presentan una mayor heterogeneidad en todas las variables analizadas, sin tendencias. En contraposición, los sitios agrícolas con cultivos en rotación, de pasturas implantadas, cultivos de servicio y de alfalfa permanente se confinan hacia valores menores e incluso negativos de los CP1 y CP2. Los sitios de cultivos en rotación como los de pasturas implantadas se ubicaron en dirección



CP	Autovalor	Varianza (%)
1	2.25	45.00
2	0.951	19.01

Variable	Carga en CP 1	Carga en CP 2
SRp	0.318	0.73
pH	-0.337	0.682
CE	0.564	0.0213
CO	0.571	-0.0143
$CaCO_3$	0.377	-0.0164

Figura 6. Gráficos biplots de análisis de componentes principales de los datos recopilados de todos los sitios, de las variables SRp, pH, CE (conductividad eléctrica, µS/cm), CO (carbono orgánico, %) y CaCO3 (%), con exclusión previa de valores extremos de las variables y muestras de sitio ganadero. Se indican tabulados los autovalores de las componentes principales y las varianzas de los datos en esas direcciones, así como las cargas (pesos) de cada variable en dichas componentes. a) Datos rotulados según tipo de sitio (agrícola, natural), con los vectores de carga de las variables analizadas (líneas de color verde) y elipses de confianza (95%) para ambos tipos de sitio. b) Datos rotulados según manejo/tipo de vegetación asociada, con los vectores de carga de las variables analizadas (líneas de color verde) y las envolventes convexas que contienen a todos los puntos de cada clase analizada.

Figure 6. Principal component analysis biplots for data collected across all sites, including SRp, pH, EC (electrical conductivity, µS/cm), OC (organic carbon, %) and $CaCO_3$ (%) variables, excluding extreme outliers a and livestock site samples. Eigenvalues for the principal components, data variance in those directions and the loadings (weights) of each variable on those components are tabulated. a) Data labeled by site type (agricultural, natural), showing the loading vectors for the analyzed variables (green lines) and 95% confidence ellipses for both site types. b) Data labeled by management/associated vegetation type, showing the loading vectors for the analyzed variables (green lines) and convex hulls enclosing all data points for each category.

opuesta a los vectores de CO, CE y de SRp indicando una disminución de estas variables en estos sitios; a diferencia de los sitios con cultivos de servicio que presentaron una mayor heterogeneidad, sin tendencia clara hacia alguna variable. Los sitios con alfalfa permanente se confinaron hacia valores bajos de CP1 y CP2 en el sector definido por las variables SRp, CO y CE.

Discusión

En términos generales, el análisis de los datos de las localidades tratadas aquí indica que la actividad microbiana de los suelos —estimada con la SRp— se ve afectada por la práctica agrícola. Esto queda evidenciado en los valores de SRp, significativamente mayores en los sitios naturales respecto a aquellos lotes con cultivos (excepto en la localidad Alfalfares [Figuras 3 y 6a, Tabla 2]). La contracción de la elipse de confianza en el CPA correspondiente a los sitios agrícolas —en comparación con los sitios naturales— denota una disminución de la heterogeneidad ambiental propia de los ecosistemas naturales, indicando una 'simplificación' de los agroecosistemas (es decir, una pérdida de la variabilidad natural). La relativamente menor SRp de sectores agrícolas en comparación con los naturales es consistente con lo detectado en otras investigaciones de la Región Pampeana, bajo condiciones semiáridas y subhúmedas (di Ciocco et al. 2014; Fernández et al. 2018; Serri et al. 2018). Esta respuesta de los suelos podría explicarse por la reducción de la actividad microbiana en presencia de cultivos que no solo inhiben el crecimiento de biota nativa que favorece la bioactividad, sino por usar productos fitosanitarios para reducir la biodiversidad en favor de las especies cultivadas cuyo crecimiento se promueve (Altieri 1999; Zabaloy and Gómez 2008; Sarandón and Flores 2014; IPBES 2019; Ruuskanen et al. 2023). Por otro lado, la SRp también estaría condicionada por la actividad ganadera, resultando muy alta en las muestras de corral ganadero, con valores superiores a los detectados en los demás tipos de sitio (Figura 3). La presencia de abundante estiércol mineralizado, que incrementa la CE y CO a valores muy por encima de los demás sitios (outliers de sitio Y12) (Tabla 1), suministraría sales y nutrientes que favorecen la bioactividad microbiana.

Del conjunto de análisis de los datos también se interpreta que la SRp estaría regulada por el tipo de manejo/vegetación asociada. La rotación de cultivos y pasturas implantadas se asocia con una disminución de los valores de SRp en los suelos (Figura 6b, Tabla 2). Asimismo, se interpreta que los cultivos de servicio y de alfalfa podrían estar generando un 'mejoramiento' en la actividad microbiana frente a las demás prácticas agrícolas, evidenciado por la pertenencia de estos sitios a los grupos con registros más elevados de SRp (Figura 6b, Tabla 2). La vegetación natural se asocia a una mayor actividad microbiana (Tabla 2), aunque con algunas diferencias entre los diferentes tipos. Si bien todos presentan envolventes convexas de gran amplitud en el biplot, las correspondientes a los pastizales naturales y halófitas se asocian fuertemente al vector SRp, en comparación con la correspondiente a la vegetación arbórea, que presenta una orientación hacia valores más altos de CE y CO (Figura 6b). Esto podría estar señalando que la vegetación arbórea incrementa los niveles de CO y CE del suelo por sobre la SRp, en comparación con otra vegetación natural. Esto sugiere que existe una acumulación de CO estabilizado o menos disponible para la degradación microbiana. Finalmente, una ubicación central, sin tendencia y de gran amplitud de la envolvente de los pastizales naturalizados, sugiere una alta heterogeneidad en los datos (Figura 6b), posiblemente vinculada a un estadio intermedio entre la 'señal' de pasturas implantadas (de sitio agrícola) y la de pastizales naturales (sitios naturales).

Si bien la rotación de cultivos constituye una estrategia fundamental para reducir la pérdida de fertilidad de un suelo bajo agricultura continua (Barbieri et al. 2017), ocurre una disminución de los nutrientes del suelo inmediatamente tras la cosecha, con la remoción del material vegetal (Díaz-Zorita et al. 2002; FAO-GTIS 2016). Pese a la implementación de la siembra directa con rastrojo en los casos analizados, la densidad de este material residual es, en términos relativos, baja en comparación con la cubierta en sitios naturales (Figura 2a, Material Suplementario-Figura S1). Además, la siembra directa requiere de aplicar herbicidas para controlar malezas, lo que afecta la actividad y la diversidad de la comunidad microbiana (Zabaloy and Gómez 2008; Di Ciocco et al. 2014; Labouyrie et al. 2023). Todas estas modificaciones estarían impactando rápida y negativamente en la actividad microbiana edáfica de estos sitios y, por lo tanto, en los valores de la SRp aquí obtenidos. En contraposición, los datos avalan que los cultivos de servicio (i.e., avena

y centeno, sobre todo) y de alfalfa permanente estarían protegiendo los suelos contra la erosión, aportando biomasa y nutrientes y favoreciendo la biodiversidad (Young et al. 2021; del Portillo et al. 2022; Balugani et al. 2023). Aunque el manejo de los cultivos de servicio también incluye usar herbicidas para su secado químico in situ, los valores de SRp estarían indicando un balance positivo entre esta práctica y los beneficios biológicos que otorgan dichos cultivos (Tabla 2). A diferencia de la baja densidad de los rastrojos de la rotación agrícola, una cubierta densa de residuos vegetales con una alta relación C/N favorece la actividad microbiana. Esto se atribuye tanto a la protección física contra la erosión y a la retención de humedad como también al aporte continuo de materia orgánica como sustrato energético para la microbiota del suelo.

La localidad de Alfalfares se distingue del resto porque los valores de SRp de los lotes agrícolas no se diferencian significativamente de los sitios naturales (Tabla 2) —como sucede en Yatagán y Tari— ni tampoco de los sitios naturales al comparar los valores entre todas las localidades (Figura 3, Tabla 2). Esto se podría atribuir al uso de agricultura de precisión en Alfalfares versus la siembra directa convencional en las otras dos localidades. La implementación de esta agricultura sitio-específica, con prescripciones de fitosanitarios ajustadas a las necesidades de cada lote, conllevaría un menor impacto ambiental, reflejado en los valores de SRp (Lachman and López 2018; Ríos Hernández 2021). De hecho, estudios recientes muestran que este tipo de manejo, en conjunto con la implementación de cultivos de servicio o abonos verdes, incrementan las reservas de carbono del suelo por sobre las técnicas convencionales (Cerdá et al. 2022; Balugani et al. 2023). Podrían existir otros factores naturales relevantes en la explicación de los valores de SRp registrados en Alfalfares, como las texturas más finas en el material parental de esta localidad, tanto en sus sitios naturales como en agrícolas (ver abajo).

Por otra parte, el pastoreo rotativo practicado en los lotes agrícolas y naturales de Yatagán durante 40 años no parecería contribuir de forma positiva a los valores de SRp si se comparan los valores con las otras dos localidades analizadas (Figura 3). Aunque hay consenso en que el pastoreo controlado con cargas animales conservadoras promueve la fertilidad del suelo y la salud ecosistémica mediante el aumento de la diversidad y conectividad de la red microbiana frente al pastoreo continuo (e.g. Distel 2013; Jacobo and Rodríguez 2024; Li et al. 2024; Márquez-Godoy 2025), los sitios de Yatagán se agruparon en los valores de SRp significativamente menores de los análisis (Figura 3). Este comportamiento es similar al de los sitios agrícolas de Tari con pastoreo ocasional y opuesto al observado en Alfalfares, donde no se practica el pastoreo (Figura 3). Una vez más, el hecho de que las texturas del suelo varíen en estas tres localidades podría ser un factor significativo en los patrones encontrados. Yatagán presenta un suelo con material parental predominantemente arenoso y con menor proporción de fracción fangosa en comparación con Tari y Alfalfares (Tabla 1). La variación textural inter-localidad podría estar enmascarando el efecto benéfico del pastoreo controlado sobre la SRp.

Si bien los sitios naturales registraron mayores valores de SRp que los agrícolas en Yatagán y Tari (Figura 3), se detectaron algunas variaciones vinculadas al tipo de vegetación natural asociada en cada caso (Tabla 2). En la primera localidad, los suelos de parches arbóreos, de pastizal natural (*Nasella* spp.) y de especies exóticas (e.g., *Atriplex suberecta*) mostraron los mayores niveles de SRp. En Tari, los suelos de parches arbóreos y de pastizales naturalizados registraron SRp más altas que los suelos con pastizales *Nasella* spp. Esta diferencia podría explicarse por factores geomorfológicos, ya que en la localidad de Tari, los suelos con *Nasella* spp. corresponden a mantos arenosos vegetados de forma parcial y con evidencias de transporte y morfogénesis eólica actual (Figura 2b, Material Suplementario-Figura S1). Esta movilización y aporte sedimentario resulta en un factor limitante en el desarrollo del horizonte A del suelo y de su bioactividad. Una situación similar se detecta en el sitio natural con suelo parcialmente expuesto y signos de erosión eólica (tipo de sitio Nd en Yatagán), el cual presenta una significativamente menor SRp asociada, en comparación con aquellos naturales con mayor grado de cobertura vegetal. Los resultados aquí obtenidos permiten proponer como hipótesis para trabajos futuros que la mayor actividad microbiana estaría ligada a un menor grado de impacto o modificación antrópica de los suelos por actividad agrícola y también al tipo de actividad agrícola y al grado de estabilidad geomorfológica del ambiente edáfico.

De acuerdo con los rangos de SRp informados por USDA (2014) para evaluar la calidad biológica básica del suelo, los valores obtenidos en este trabajo indican una actividad respiratoria muy baja en los suelos analizados. Esta característica se asocia a suelos secos y arenosos con bajo contenido de materia orgánica (tasas en el rango de <31.2 g $C\text{-}CO_2$.kg $suelo^{-1}$.mes^{-1}). Estos valores de SRp son coherentes con la geomorfología del área, con las características de campo observadas y con otros rangos de SRp informados en localidades de Pampa Arenosa, bajo diferentes usos de suelo. En el NE de la provincia de La Pampa se registró una SRp de 37.3-51.3 en sitios naturales y de 8.0-23.3 mg $C.kg^{-1}.día^{-1}$ en sitios agrícolas (Fernández et al. 2018), cifras equivalentes a 1.12 a 1.54 y a 0.240 a 0.699 g $C\text{-}CO_2$.kg $suelo^{-1}$.mes^{-1}, según las unidades utilizadas en este trabajo. En la localidad de Villa Mercedes, provincia de San Luis, se midieron valores de SRp de 65.7 en suelos naturales, mismo valor en suelos agrícolas y 57.1 μg CO_2.g.día en suelos sometidos a rotación agrícola-ganadera (Serri et al. 2018), números equivalentes a 0.538 y 0.467 g $C\text{-}CO_2$.kg $suelo^{-1}$.mes^{-1}. Estos autores detectaron valores de SRp de 74.3, 65.7 y de 61.4 μg CO_2.g.día en sitios naturales, agrícolas y agrícola-ganaderos en Río Cuarto, provincia de Córdoba, equivalentes a 0.608, 0.538 y 0.502 g $C\text{-}CO_2$.kg $suelo^{-1}$.mes^{-1}. Finalmente, aunque corresponde a otra provincia fitogeográfica, en el centro-norte de la provincia de Buenos Aires, los cálculos de SRp arrojaron valores máximos de 0.079, 0.065 y de 0.046 mg CO_2.g $suelo^{-1}$.$día^{-1}$ en suelos de pastizal naturalizado, con agricultura reciente (ciclo agrícola corto) y bajo agricultura intensiva continua, respectivamente (di Ciocco et al. 2014), cifras equivalentes a 0.646, 0.532 y 0.376 g $C\text{-}CO_2$.kg $suelo^{-1}$.mes^{-1} en unidades de este trabajo.

Los estudios de correlación y CPA realizados entre las variables indicarían que la SRp responde a múltiples factores donde ninguna de las demás variables analizadas explica por sí sola su variabilidad. Esto se evidencia por la detección de correlaciones positivas significativas entre SRp y las demás variables, aunque de grado bajo a moderado, principalmente detectadas en los sitios naturales (Figura 5). Esta correlación positiva entre las variables también se detecta en el CPA (Figura 6). Sin embargo, los análisis también sugieren que si bien la SRp depende del grado de nutrientes en el suelo (i.e., sales [CE] y materia orgánica [CO]), sería aun más fuerte la relación con las condiciones del ambiente para la disponibilidad de esos nutrientes y la proliferación de microorganismos (pH). Estas correlaciones positivas de SRp y las variables edáficas coinciden con trabajos de autores como Di Ciocco et al. (2014) y Adhikari et al. (2023), quienes además detectaron una mayor sensibilidad de la SRp de suelos al pH, en comparación con los contenidos de MO.

Se observa que los mayores registros de SRp media de los sitios naturales coinciden con elevados registros de CE para los sitios naturales de las localidades de Alfalfares y Tari, como de CO en sitios naturales de Alfalfares (Figuras 3 y 4). A la vez, estas localidades presentan suelos con texturas más finas que las presentes en la localidad de Yatagán (Tabla 1). Esta proporción relativamente mayor de la fracción fangosa (<63μm) hace posible el aumento de MO en el suelo, lo cual influye en la retención de nutrientes y sales y posibilita el incremento de CE en el suelo (Buschiazzo 1991; Galantini 2004; FAO 2022). Esta influencia de la fracción fangosa en la MO del suelo también fue detectada por Hevia et al. (2003) en suelos de la Pampa Semiárida. En consecuencia, los datos indican que la variabilidad de la SRp depende del stock de CO, de la disponibilidad de sales y nutrientes (CE y pH) y de la textura del suelo.

Por último, al comparar los parámetros fisicoquímicos entre los distintos tipos de sitio, se observa que la actividad agrícola no estaría produciendo modificaciones importantes del pH, registrándose valores medios similares para los sitios (Figura 4a); en general, estos valores se mantienen dentro de los rangos óptimos para la actividad microbiana del suelo (Graham et al. 1994). La CE suele indicar suelos no salinos (Castellanos 2000) —a excepción del corral ganadero—, con registros de valores de CE medios del doble del valor para los sitios naturales por sobre los agrícolas en las localidades de Alfalfares y Tari (Figura 4b). Los sitios naturales de todas las localidades, en general, presentan mayores valores de CO medios en comparación con sus sitios agrícolas, de hasta un 50% más en los sitios Alfalfares y Yatagán; incluso, registran valores extremos de hasta 8% en composición (Figura 4c). Por esta razón, al contrastar la CE y el CO junto con los valores de SRp de los sitios, se observa que el uso agrícola en esta región conlleva a una reducción de estos parámetros en comparación con los ecosistemas naturales. Los bajos contenidos de $CaCO_3$ y su débil contribución en los

componentes del CPA (Figura 6) indican que esta variable posee una influencia marginal en la variabilidad de la SRp frente a los demás parámetros analizados. Si bien se registró un ligero incremento en los sitios de la localidad de Alfalfares (Figura 4d), los niveles de $CaCO_3$ fueron bajos en general.

Conclusiones

Con el objeto de discutir cómo la diversidad de prácticas agrícola-ganaderas impactan en la salud de los suelos de ambientes semiáridos, en este trabajo se presentaron y analizaron valores de SRp y de parámetros como pH, CE, CO (MO) y textura, medidos en sitios naturales y agrícolas en tres localidades de la Pampa Arenosa (sur de las provincias de Córdoba y San Luis). Los sitios naturales de las localidades Yatagán y Tari registraron SRp medias significativamente mayores a las detectadas en sus sitios agrícolas, a excepción de lo hallado en un corral ganadero. En contraste, en Alfalfares se obtuvieron valores de SRp media semejantes para sitios naturales y agrícolas en comparación con los restantes sitios agrícolas analizados, lo cual podría vincularse a la aplicación de agricultura de precisión en los campos de cultivo. Sin embargo, el mayor contenido de finos en el material parental podría también explicar los mayores valores relativos de SRp por su influencia directa sobre los parámetros CO y CE del suelo. Los resultados mostraron una muy baja actividad respiratoria de suelo, asociada a suelos arenosos, franco arenosos y francos, con relativamente bajo contenido de materia orgánica y bajo condiciones climáticas semiáridas a subhúmedas. Estos datos son consistentes con lo reportado en otros sitios de la Pampa Arenosa. Los resultados mostraron que la variabilidad de la SRp del suelo está asociada al contenido de sales y materia orgánica del suelo (CE y CO) y más pronunciadamente con las condiciones del ambiente para la disponibilidad de estos nutrientes y actividad de microorganismos edáficos (pH). Finalmente, se detectó al grado de estabilidad del ambiente edáfico como un factor que influye en los valores de SRp del suelo. Como perspectiva a futuro, para una evaluación más robusta de los efectos de las prácticas agrícolas sobre la actividad microbiológica es menester la implementación de análisis longitudinales, a lo largo del ciclo anual, junto con el cálculo de tasas de descomposición de la materia orgánica del suelo.

Agradecimientos. Los estudios realizados no hubieran sido posible sin la colaboración y hospitalidad de Matías Lubrina y familia, George Stromeyer y familia, Francisco Calandria, Ali Efrair y Guillermo Heider. Se agradece el apoyo del IGEBA-CONICET y del Depto. de Ciencias Geológicas (FCEN, UBA). Esta investigación forma parte de la tesis doctoral de M.S.C., y es una contribución al proyecto PIP-CONICET 11220210100052CO (A.T.).

Referencias

Abril, A. 2003. ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? Ecología Austral 13:195-204. URL: tinyurl.com/2d4u4vnc.

Adhikari, K., K. R. Anderson, D. R. Smith, P. R. Owens, P. A. Moore, and Z. Libohova. 2023. Identifying key factors controlling potential soil respiration in agricultural fields. Agricultural and Environmental Letters 8:1-8, e20117. https://doi.org/10.1002/ael2.20117.

Altieri, M. 1999. Bases científicas para una agricultura sustentable. Ed. Nordan Comunidad. Montevideo. URL: tinyurl.com/5dypepkt.

Anderson, J. P. 1982. Soil respiration. Pp. 831-871 en R. W. Weaver et al. (eds.). Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties. SSSA Book Series. Madison, Wisconsin, USA. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c41.

Balugani, E., A. Castellucci, M. Ruggeri, P. Meriggi, B. Volta, et al. 2023. Use of soil respiration measurements and RothC modelling show effects of catch crops and precision and traditional agriculture on productivity and soil organic carbon dynamics in a 5-year study in Mediterranean climate. Egusphere [preprint] 1-29. https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-2966.

Barbieri, P., S. Pellerin, and T. Nesme. 2017. Comparación de la rotación de cultivos entre la agricultura orgánica y la convencional. Sci Rep 7:13761. https://doi.org/10.1038/s41598-017-14271-6.

Bautista Cruz, A., J. Etchevers Barra, R. del Castillo, and C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Revista Ecosistemas 13(2):90-97. URL: tinyurl.com/5y4xvmxe.

Bozzer, C. 2021. Cambios de uso y degradación de los suelos en la pampa medanosa cordobesa: evolución, impactos y escenarios futuros. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. URL: tinyurl.com/mr3yxe7b.

Buschiazzo, D. 2006. Management systems in southern South America. Dryland Agriculture 23:395-425. https://doi.org/10.2134/agronmonogr23.2ed.c14.

Buschiazzo, D. E., A. R. Quiroga, and K. Stahr. 1991. Patterns of organic matter accumulation in soils of the semiarid Argentinian Pampas. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 154(6):437-441. https://doi.org/10.1002/

jpln.19911540608.

Buschiazzo, D. E., H. M. Martínez, E. Fiorucci, and C. Guiotto. 2004. Mapas de erosión eólica potencial y actual de la región semiárida y subhúmeda pampeana argentina. Pp. 131-137 en M. A. González and N. J. Bejerman (eds.). Peligrosidad Geológica en Argentina. 1ra edición. ASAGAI, Buenos Aires, Argentina. URL: tinyurl.com/mr25tkfb.

Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno, and A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2da edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Celaya, Guanajuato, México.

Cerdá, A., I. Franch-Pardo, A. Novara, S. Sannigrahi, and J. Rodrigo-Comino. 2022. Examining the Effectiveness of Catch Crops as a Nature-Based Solution to Mitigate Surface Soil and Water Losses as an Environmental Regional Concern. Earth Systems and Environment 6(1):29-44. https://doi.org/10.1007/s41748-021-00284-9.

Cisneros, J., A. Degiovanni, J. González, C. Cholaky, A. Cantero, et al. 2015. Erosión y degradación de suelos. Provincia de Córdoba. Pp. 87-100 en R. R. Casa, and G. F. Albarracín (eds.). El deterioro del suelo y el ambiente en la Argentina. 1ra edición, Vol. 2. FECIC, Fundación para la Educación la Ciencia y la Cultura. Buenos Aires. Argentina. URL: tinyurl.com/mwaf3knx.

Collado, A. D., E. Chuvieco, and A. Camarasa. 2002. Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop-rangeland boundary of Argentina. Journal of Arid Environments 52(1):121-133. https://doi.org/10.1006/jare.2001.0980.

Colazo, J. C. 2012. Selección de indicadores de sustentabilidad relacionados con la erosión eólica para la región semiárida central argentina (RSCA). Tesis de doctorado en Agronomía, UNS, Bahía Blanca, Argentina. Pp. 141. URL: tinyurl.com/3ank9zm6.

Colazo, J. C., J. E. Panebianco, H. F. del Valle, R. Godagnone, and D. E. Buschiazzo. 2008. Erosión eólica potencial de suelos de Argentina. Efectos de 116 registros climáticos de distintos períodos. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes. URL: tinyurl.com/3vfb8ahu.

De Dios Herrero, J., J.C. Colazo, and D. Buschiazzo. 2017. Ecorregión Cuyo. Pp. 169-171 en M. G. Wilson (ed.). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. 1ra edición. Ediciones INTA. URL: tinyurl.com/s7dpuddu.

Demaría, M. R., I. Aguado Suárez, and D. F. Steinaker. 2008. Reemplazo y fragmentación de pastizales pampeanos semiáridos en San Luis, Argentina. Ecología Austral 18(1):055-070. URL: tinyurl.com/4d4kfk6z.

Díaz-Zorita, M., G. A. Duarte, and J. H. Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. Soil and Tillage Research 65(1):1-18. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00274-4.

Di Ciocco, C. A., R. V. Sandler, L. B. Falco, and C. E. Coviella. 2014. Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico-químicas. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo 46(1):73-85. URL: tinyurl.com/3ys8z47z.

Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada, et al. 2020. InfoStat versión estudiantil. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: infostat.com.ar.

Doran, J. W. 2002. Soil health and global sustainability: Translating science into practice. Agriculture, Ecosystems and Environment 88(2):119-127. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00246-8.

Doran, J. W., and T. B. Parkin. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. Pp. 3-21 en J. W. Doran et al. (eds.). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, SSSA Special Publication No. 35, SSSA, ASA, Madison. https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1.

Espinosa Criales, E. M. 2021. Identificación de las relaciones entre la conductividad eléctrica aparente y las propiedades físicas del suelo. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Pp. 79. URL: tinyurl.com/yc3ftvpy.

FAO. 2023. Standard operating procedure for soil respiration rate. Roma. URL: tinyurl.com/3zrwswp7.

FAO. 2022. Standard operating procedure for cation exchange capacity and exchangeable bases 1N ammonium acetate, pH 7.0 method. Roma, Italia. URL: bit.ly/4wrQA3K.

FAO-GTIS. 2015. Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) - Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia. URL: tinyurl.com/yzpb793z.

FAO-ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Roma, Italia. URL: bit.ly/4ebXTnM.

FAO-ITPS. 2020. Protocol for the assessment of Sustainable Soil Management. Rome, FAO. URL: tinyurl.com/r666skpe.

Fernández, R., I. Frasier, M. Rorig, A. Quiroga, and E. Nollemeyer. 2018. Evaluación de indicadores biológicos en suelos de la región semiárida pampeana central. Ecología austral 28(1):145-156. https://doi.org/10.25260/ea.18.28.1.0.555.

Ferreras, L., G. Magra, P. Besson, E. Kovalevski, and F. García. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. Ciencia del Suelo 25(2):159-172. URL: bit.ly/3RUjry4.

Ferreras, L., S. Toresani, B. Bonel, E. Fernández, S. Bacigaluppo, et al. 2009. Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. Ciencia del Suelo 27(1):103-114. URL: tinyurl.com/f7m9e2zs.

Ferreras, L., S. Toresani, V. S. Faggioli, and C. M. Galarza. 2015. Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana Argentina. Spanish Journal of Soil Science 5(3):227-242. https://doi.org/10.3232/SJSS.2015.V5.N3.04.

Galantini, J. A., N. Senesi, G. Brunetti, and R. Rosell. 2004. Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrogen and sulphur status in semiarid Pampean grassland soils of Argentina. Geoderma 123(1-2):143-152. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.02.008.

Garreaud, R. D., M. Vuille, R. Compagnucci, and J. Marengo. 2009. Present-day South American climate. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 281(3-4):180-195. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.032.

Gil, R. C., and F. E. Martelotto. 1993. El agua edáfica. Guía práctica para su determinación. Área de Desarrollo Rural, INTA, E.E.A. Manfredi, Argentina.

Gili, P., G. Marando, J. Irisarri, and M. Sagardoy. 2004. Actividad biológica y enzimática en suelos afectados por sales del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Revista Argentina de Microbiología 36(4):187-192. URL: tinyurl.com/rn844zfb.

Distel, R. A. 2013. Manejo del pastoreo en pastizales de zonas áridas y semiáridas. Revista Argentina de Producción Animal 33(1):53-64. URL: bit.ly/4xjp9JI.

González del Portillo, D., B. Arroyo, and M. B. Morales. 2022. The Adequacy of Alfalfa Crops as an Agri-Environmental Scheme: A Review of Agronomic Benefits and Effects on Biodiversity. Journal for Nature Conservation 69:126253. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126253.

Graham, P. H., K. J. Draeger, M. L. Ferrey, M. J. Conroy, B. E. Hammer, E. Martinez, et al. 1994. Acid pH tolerance in strains of Rhizobium and Bradyrhizobium, and initial studies on the basis for acid tolerance of Rhizobium tropici U MR1899. Canadian Journal of Microbiology 40:198-207. https://doi.org/10.1139/m94-033.

Hammer, Ø., D. A. T. Harper, and P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Versión 5.3. Universidad de Oslo. URL: https://bit.ly/4u5BVcW.

Heiri, O., A. F. Lotter, and G. Lemcke. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. Journal of Paleolimnology 25(1):101-110. https://doi.org/10.1023/A:1008119611481.

Hevia, G. G., D. E. Buschiazzo, E. N. Hepper, A. M. Urioste, and E. L. Antón. 2003. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. Geoderma 116(3-4):265-277. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00104-6.

Hopkins, D. W. 2008. Carbon mineralization. Pp. 589-598 en M. R. Carter and E. G. Gregorich (eds.). Soil sampling and methods of analysis. 2nd edition. Canadian Society of Soil Science. Pinawa, Manitoba, Canada. https://doi.org/10.1201/9781420005271.ch45.

IGN. 2021. Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina (MDE-Ar) v2.1. Argentina. URL: ign.gob.ar.

INTA. 1992. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Buena Esperanza. San Luis, Argentina. URL: tinyurl.com/5n7b4n8j.

INTA. 2017. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Villa Huidobro/B. Esperanza, 3566-18/17. Córdoba, Argentina. URL: tinyurl.com/44tw6368.

Jacobo, E. J., and A. M. Rodríguez. 2024. Ecosystem Services of Grazed Grasslands in the Flooding Pampa. Phyton 93(6):1179-1202. https://doi.org/10.32604/phyton.2024.050928.

Jobbágy, E. G., S. Aguiar, G. Piñeiro, and L. A. Garibaldi. 2020. Impronta ambiental de la agricultura de granos en Argentina: revisando desafíos propios y ajenos. Revista Ciencia Hoy 29(173):55-64. URL: tinyurl.com/3zws699e.

Labouyrie, M., C. Ballabio, F. Romero, P. Panagos, A. Jones, et al. 2023. Patterns in soil microbial diversity across Europe. Nature Communications 14(1):3311. https://doi.org/10.1038/s41467-023-37937-4.

Lachman, J., and A. López. 2018. Innovación, habilidades y nuevas áreas de conocimiento en sectores tecnológicos emergentes: el caso de la Agricultura y Ganadería de Precisión. Pymes, Innovación y Desarrollo 6(3):60-85. https://doi.org/10.70453/2344.9195.v6.n3.24698.

Ley Provincial Nº 09-0315. 2004. Ley de protección y conservación de suelos. Boletín Oficial de la República Argentina. San Luis. Argentina. URL: saij.gob.ar.

Ley Provincial N° 8936. 2001. Ley de conservación y protección de los suelos. Boletín Oficial de la República Argentina. Córdoba. URL: argentina.gob.ar.

Li, S., T. Xing, R. Sa, Y. Zhang, H. Chen, et al. 2024. Effects of grazing on soil respiration in global grassland ecosystems. Soil and Tillage Research 238:106033. https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106033.

Lorenz, G. 2005. Métodos de análisis de suelos. 1ra edición. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina. URL: tinyurl.com/vm6rra7d.

Márquez-Godoy, J. N., E. R. Segura, J. R. G. Martínez, A. E. Canales, and L. C. M. Salas. 2025. Importancia de la gestión del pastoreo sobre la ecología del suelo. Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social 11(1):217-238. https://doi.org/10.63728/riisds.v11i1.170.

McFadden, J., E. Njuki, and T. Griffin. 2023. Precision Agriculture in the Digital Era: Recent Adoption on U.S. Farms. EIB-248, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. URL: tinyurl.com/y3r5swd8.

Meriles, J. M., S. V. Gil, C. Conforto, G. Figoni, E. Lovera, et al. 2009. Soil microbial communities under different soybean cropping systems: characterization of microbial population dynamics, soil microbial activity, microbial biomass, and fatty acid profiles. Soil and Tillage Research 103(2):271-281. https://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.008.

Mórtola, N., and A. M. Lupi. 2011. Indicadores de calidad de suelo para el manejo sustentable de los agroecosistemas productivos en Argentina. VI Congreso Iberoamericano de Física y Química ambiental. México. URL: tinyurl.com/3h4fut6k.

Mórtola, N., A. Lupi, R. Romaniuk, G. Albarracín, and G. Civeira. 2017. Indicadores de calidad de suelos en Argentina. Recopilación de una década de investigaciones. Pp. 35-60 en M. G. Wilson (ed.). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. 1ra edición. Ediciones INTA. URL: tinyurl.com/s7dpuddu.

Nannipieri, P. 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. Pp. 238-244 en C. E. Pankhurst et al. (eds.). Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems. CSIRO, Australia.

Oyarzabal, M., J. Clavijo, L. Oakley, F. Biganzoli, P. Tognetti, et al. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. Ecología Austral 28(1):040-063. https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.399.

Pell, M. J., J. Stenstrom, and U. Granhall. 2006. Soil respiration. Pp. 117-126 en J. Bloem et al. (eds.). Microbiological Methods

for Assessing Soil Quality. CABI Publishing: Wallingford, UK. https://doi.org/10.1079/9780851990989.0117.

Pribyl, D. W. 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. Geoderma 156(3-4):75-83. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.02.003.

Quiroga-Garza, H. M., L. A. Cueto-Wong, and U. Figueroa-Viramontes. 2011. Efecto del estiércol y fertilizante sobre la recuperación de 15N y conductividad eléctrica. Terra Latinoamericana 29(2):201-209. URL: tinyurl.com/mw58emph.

Ríos Hernández, R. 2021. La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. Revista Ingeniería Agrícola 11(1):67-74. URL: tinyurl.com/4vdu4hfx.

Rochette, P., and G. L. Hutchinson. 2005. Measurement of soil respiration in situ: Chamber techniques. Pp. 247-286 en J. L. Hatfield and J. M. Baker (eds.). Micrometeorology in Agricultural Systems. USDA-ARS. https://doi.org/10.2134/agronmonogr47.c12.

Rossi, M. M., and M. Díaz-Zorita. 2004. Materia orgánica: Su utilización en la evaluación de la calidad del suelo en distintos ambientes del sur de Santa Fe y este de Córdoba. Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos.

Ruuskanen, S., B. Fuchs, R. Nissinen, P. Puigbó, M. Rainio, et al. 2023. Ecosystem consequences of herbicides: the role of microbiome. Trends in Ecology and Evolution 38(1):35-43. https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.09.009.

Sainz Rozas, H. R., H. E. Echeverria, and H. P. Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina. Ciencia del suelo 29(1):29-37. URL: https://bit.ly/4xfQi07.

Sarandón, S. J., and C. C. Flores. 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Colección Libros de Cátedra. 1ra edición. Ed. de la Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. https://doi.org/10.35537/10915/37280.

Schinner, F., R. Öhlinger, E. Kandeler, and R. Margesin. 1996. Methods in Soil Biology. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60966-4.

Schoeneberger, P. J., D. A. Wysocki, E. C. Benham, and W. D. Broderson. 2002. Field book for describing and sampling soils, version 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. URL: tinyurl.com/5h2nxr8v.

Serri, D. L., M. Boccolini, R. Oberto, D. Chavarría, N. Bustos, et al. 2018. Efecto de la agriculturización sobre la calidad biológica del suelo. Ciencia del suelo 36(2):92-104. URL: tinyurl.com/y7758upj.

Servicio Meteorológico Nacional. 2024. Atlas Climático de Argentina - Período 1991-2020. SMN. Pp. 129. URL: tinyurl.com/yzutywb4.

Soil Health Institute. 2018. North American project to evaluate soil health measurements. URL: tinyurl.com/49pt8w5v.

Soil Quality Institute, USDA, NRSC. 1998. Soil respiration test. Pp. 4-6 en Soil quality test kit guide. Soil Quality Institute, United States Department of Agriculture, National Resources Conservation Service, US. URL: tinyurl.com/yur6xpum.

Tripaldi, A., P. L. Ciccioli, M. S. Alonso, and S. L. Forman. 2010. Petrography and geochemistry of late Quaternary dune fields of western Argentina: Provenance of aeolian materials in southern South America. Aeolian Research 2(1):33-48. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2010.01.001.

Tripaldi, A., and S. L. Forman. 2025. Quantitative geomorphic analysis of vegetated dunes of Western Pampa plain of Argentina: The role of aeolian legacy and hydroclimatic variability in landscape evolution. Earth Surface Processes and Landforms 50(10):e70129. https://doi.org/10.1002/esp.70129.

USDA-NRCS. 2014. Soil respiration. Pp. 1-8 en Soil health-Guides for educators. URL: tinyurl.com/cn7wpup4.

Videla, C., and L. Picone. 2017. Indicadores biológicos de calidad de suelo. Pp. 83-88 en M. G. Wilson (ed.). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. 1a edición. Ediciones INTA. Libro digital. URL: tinyurl.com/s7dpuddu.

Viglizzo, E. F., and F. C. Frank. 2006. Ecological interactions, feedbacks, thresholds and collapses in the Argentine Pampas in response to climate and farming during the last century. Quaternary International 158:122-126. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.05.022.

Watson, R., I. Baste, A. Larigauderie, P. Leadley, U. Pascual, et al. 2019. Key messages. Pp. 10-18 en Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES Secretariat: Bonn Germany. URL: tinyurl.com/phcpv63y.

Wilson, M. G. 2017. Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. Primera edición. Ediciones INTA. URL: tinyurl.com/s7dpuddu.

Young, M. D., G. H. Ros, and W. de Vries. 2021. Impacts of agronomic measures on crop, soil, and environmental indicators: A review and synthesis of meta-analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment 319:107551. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107551.

Zabaloy, M. C., and M. A. Gómez. 2008. Microbial respiration in soils of the argentine pampas after metsulfuron methyl, 2,4-D, and glyphosate treatments. Communications in Soil Science and Plant Analysis 39(3-4):370-385. https://doi.org/10.1080/00103620701826506.

Zárate, M. A., and A. Tripaldi. 2012. The aeolian system of central Argentina. Aeolian research 3(4):401-417. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2011.08.002.

Zibilske, L. M. 1994. Carbon mineralization. Pp. 835-863 en R. W. Weaver et al. (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. SSSA Book Series. Madison. Wisconsin. USA. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.2.c38.