

Informe final del proyecto de cooperación técnica regional TCP/RLA/3805 (D) de los sitios piloto de la República Argentina

Beltrán M. ^(1,4), Gaitán J. ^(1,3), Romaniuk R. ⁽¹⁾, Cosentino V. ^(1,3), Carfagno P. ⁽¹⁾, Pascale C. ⁽²⁾, Escobar D. ⁽²⁾, Becerra F. ⁽¹⁾

1. Instituto de Suelos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Castelar; 2. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGyP); 3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.; 4. Universidad Nacional de San Antonio de Areco (UNSADA)

Organización del informe

Se evaluó el efecto de diferentes prácticas de manejo sostenibles a través de indicadores de calidad de suelo propuestos por FAO, en distintas ecorregiones de la República Argentina. Se detalló la problemática sobre la erosión de suelos, la importancia del uso de manejos sostenibles y la medición de sus efectos utilizando indicadores específicos (Capítulo I). Se detallaron los indicadores utilizados y los sitios piloto para su evaluación (Capítulo II). Manejo ganadero en vegas (Humedales) (Capítulo III). Manejo agroecológico en sistemas agrícolas de la Puna (Capítulo IV). Manejo de horticultura sin remoción de suelo (Capítulo V). Siembra del cultivo de maíz en siembra directa (Capítulo VI). Manejo de suelo y cultivo de algodón en sistemas agroecológicos (Capítulo VII). Evaluación y monitoreo de práctica de nivelación de suelos en lotes de producción bajo riego (Capítulo VIII). Manejo de pastoreo racional Voisin (MPV) en el centro de la provincia del Chaco (Capítulo IX). Incorporación de cultivos de cobertura en sistemas agrícolas provincia de San Luis (Capítulo X). Uso de cultivos agrícolas en sistemas agrícolas provincia de Santa Fe (Capítulo XI). Uso de cultivos de cobertura y manejo silvopastoril en zona Norte Buenos Aires (Capítulo XII). Consideraciones finales (Capítulo XIII). Bibliografía.

Capítulo I. Introducción general

La degradación de las tierras es un problema generalizado a escala global y ha sido señalado por la Organización de las Naciones Unidas como uno de los aspectos del cambio global más importantes a los que se enfrenta la humanidad. Pese a ser un problema ambiental de primera magnitud científica, política y socioeconómica, la degradación de las tierras provoca más desacuerdo y controversia que consenso entre científicos, políticos y gestores del territorio. Tanto el Millenium Ecosystem Assessment (2005) como IPBES (2018) resaltan la falta de la necesaria evaluación y monitoreo de la degradación de las tierras, y postulan que, sin una línea de base científicamente robusta y consistente, la identificación de prioridades y el monitoreo de los resultados de las acciones, se ven seriamente restringidos.

La promoción y difusión de Prácticas de Manejo Sostenible de Tierras (MST), como una herramienta fundamental para prevenir y mitigar procesos de desertificación y de degradación de tierras, como así también para rehabilitar áreas degradadas y favorecer procesos de adaptación a la sequía, ha sido impulsada a nivel global. Sin embargo, aún falta información acerca de los resultados e impactos, en relación a la degradación de las tierras, de la implementación de las prácticas de MST.

En este contexto, recientemente se firmó una Carta de Acuerdo entre FAO y el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina) en apoyo al *Proyecto de Cooperación Técnica Regional TCP/RLA/3805 (D): Apoyo a la cooperación regional para la gestión climática de los ecosistemas agrícolas con énfasis en agua y suelo*. Dicho Acuerdo tuvo como objetivo validar el protocolo de evaluación de manejo sostenible de suelos (FAO, 2020) en condiciones agroecológicas representativas de Argentina y articular sus actividades con el Proyecto Nacional de INTA PE i040 “Diseño e implementación de un sistema nacional de monitoreo de la degradación a distintas escalas, con meta en la neutralidad de la degradación de tierras”.

Capítulo II. Materiales y Métodos generales

En este informe final del Acuerdo FAO-INTA se presentan los principales resultados en Argentina, donde fueron evaluados diferentes manejos sustentables mediante los indicadores y protocolo de evaluación de manejo sostenible de suelos desarrollado por FAO. En cada sitio se utilizaron sitios pilotos previamente caracterizados donde se constató originalmente que las unidades fueran homogéneas en sus características físico-químicas pudiendo por lo tanto determinar que los cambios en el suelo o la productividad del sistema se deben exclusivamente al manejo diferencial.

Según el protocolo en cada sitio piloto se comparó una situación convencional contra un manejo sostenible, utilizando los siguientes indicadores: contenido de carbono orgánico expresado en porcentaje (%) por el método de Walkey & Black (Nelson y Sommers, 1982), densidad aparente en g/cm^3 (Dap) por el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986), respiración microbiana en mg de carbono en forma de dióxido de carbono por semana ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ semana}^{-1}$) por el método de Jenkinson y Powlson (1976) y una medida de rendimiento dependiente de la práctica y del uso del suelo. Los muestreos de suelo se realizaron según el protocolo de muestreo del proyecto INTA PE i040 según el cual se tomó en cada unidad una muestra compuesta de varias submuestras de suelo en dos profundidades (0-10 y 10-30 cm) mediante el uso de barreno de acero inoxidable. Las submuestras se mezclaron y se envió un total de aproximadamente un kilo de suelo al laboratorio para su análisis. Las muestras se enviaron refrigeradas debido al análisis de respiración microbiana. En el laboratorio se procesaron las muestras según se detalla en cada uno de los métodos previamente citados.

En algunos de los sitios se realizaron otras mediciones de suelo y vegetal que se consideran en cada capítulo en particular. En dos de los sitios se realizó una medición para determinar además la biodiversidad de suelos mediante la combinación de dos métodos de muestreo para abarcar la fauna de invertebrados que habitan en el interior del suelo (endógeos) y en su superficie (epígeos): extracción de monolitos y trampas de caída "*pitfall*", respectivamente (Cabrera Dávila *et al.* 2017).

Los valores obtenidos para cada práctica de manejo sustentable en cada uno de los sitios fueron comparados con los valores de referencia a nivel regional sugeridos por la FAO según la textura del suelo.

En la Tabla II-1 se presentan los sitios piloto, las prácticas de MST evaluadas y en la Figura 1 se muestra la ubicación espacial de los mismos.

Tabla II-1. Sitios piloto seleccionados en la República Argentina donde se realizó la evaluación de prácticas de Manejo Sostenible de Tierras (MST).

Sitio Piloto	Práctica de MST	Provincia	Ecorregión
1	Manejo ganadero en vegas (húmedales)	Jujuy	Puna
2	Agricultura bajo manejo Agroecológico	Jujuy	Puna
3	Siembra directa en cultivos hortícolas	Jujuy	Yungas
4	Cultivo de maíz con siembra directa	Salta	Yungas
5	Manejo agroecológico en cultivo de algodón	Chaco	Chaco Seco
6	Pastoreo Racional Viosin (PRV)	Chaco	Chaco Seco
7	Manejo eficiente del riego	Santiago del Estero	Chaco Seco
8	Incorporación de cultivos de cobertura en sistemas agrícolas	San Luis	Chaco Seco
9	Uso de cultivo de cobertura en sistemas agrícolas	Santa Fe	Pampa
10	Sistema silvopastoril	Buenos Aires	Pampa
11	Incorporación de cultivos de cobertura en sistemas agrícolas	Buenos Aires	Pampa

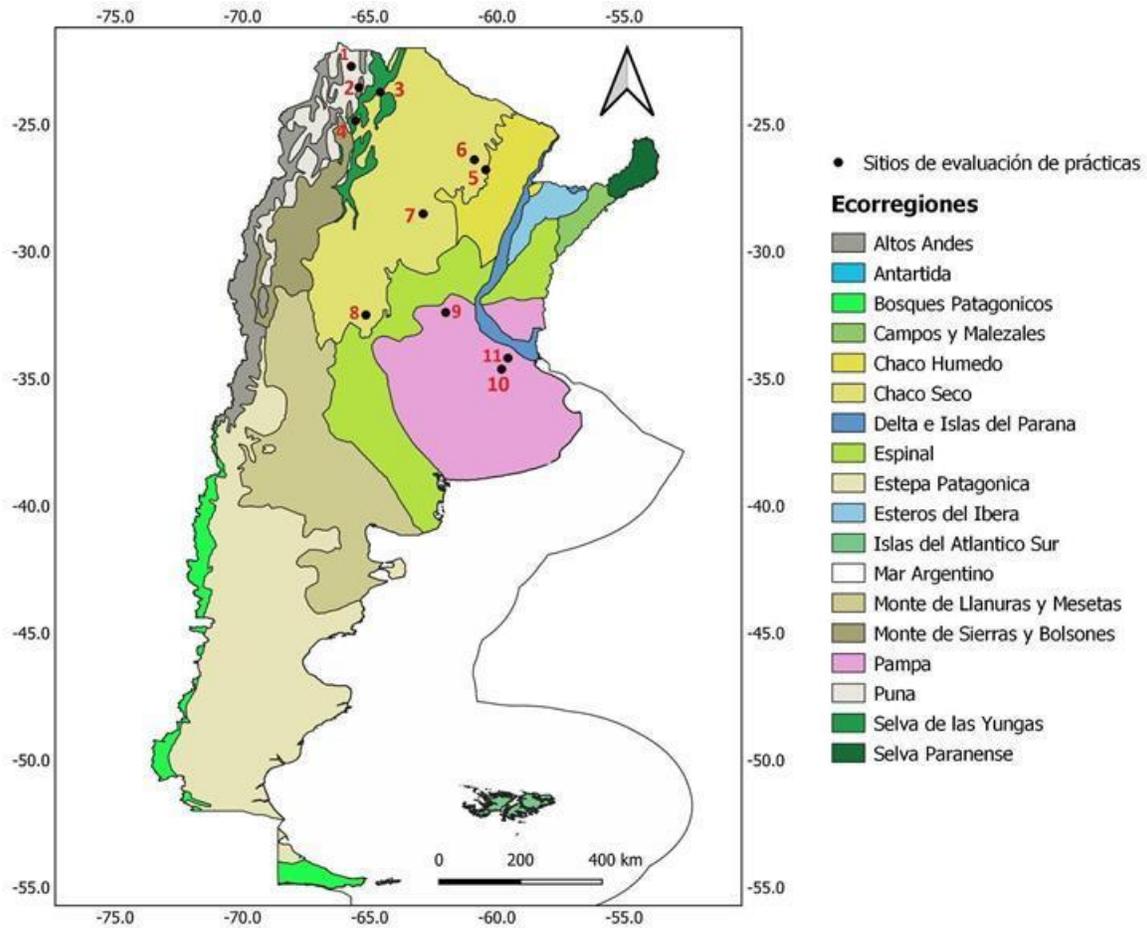


Figura II-1. Sitios piloto seleccionados en la República Argentina donde se realizó la evaluación de prácticas de Manejo Sostenible de Tierras.

Capítulo III. Evaluación de prácticas de manejo del pastoreo de vegas en la Puna de Jujuy

Eduardo Ochner⁽¹⁾, Adriana Ortín Vujovich⁽²⁾, Adriana Belén Barrozo⁽²⁾, Nicolás Herrera⁽²⁾, Antonieta Saladino⁽³⁾

(1) INTA, EEA Abra Pampa, Área de Investigaciones; (2) Universidad Nacional de Salta, Escuela de Recursos Naturales, Cátedra de Manejo de Pasturas y Bosques; (3) Universidad Nacional de Salta, Escuela de Biología.

Ubicación del sitio piloto

El área de estudio se halla a 20 km de la localidad de Abra Pampa, en el paraje Miraflores de la Candelaria, departamento Cochinoca, provincia de Jujuy. Los establecimientos ganaderos evaluados se sitúan sobre la ruta provincial 11, en el km 17 (EEA Abra Pampa, INTA), en el km 20 (Carlos Palacios), y en el km 21 (Julio Sarapura).

Descripción del área agroecológica

La Puna se encuentra en el extremo noroeste de la Argentina. Se trata de una extensa altiplanicie con una altitud media de 3600 m.s.n.m., delimitada por la Cordillera de los Andes al Oeste, la Cordillera Oriental, al Este, y la Sierra de Buenaventura, al Sur. La región está surcada por cordones montañosos de rumbo N-S, que dan origen a valles y bolsones endorreicos.

El clima es seco y frío, con precipitaciones pluviales sólo en los meses de verano y una prolongada estación seca durante el resto del año. La temperatura media anual se encuentra en el rango 3°C-8°C, con mínimas invernales inferiores a -20°C. Las precipitaciones disminuyen de 350 mm año⁻¹, en el extremo NE del territorio, a menos de 50 mm año⁻¹, en el SO (Fig. III 1). La intensa radiación solar y la baja HR determinan una elevada evapo-transpiración.

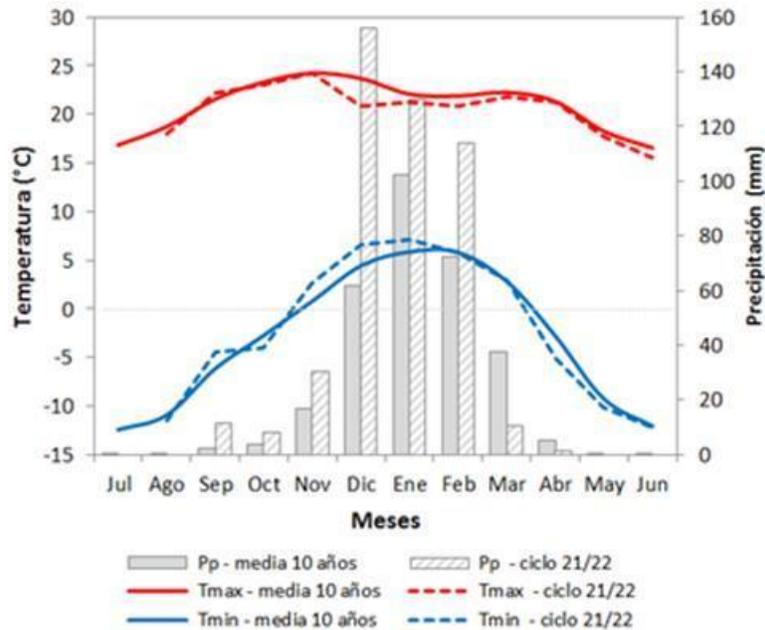


Figura III-1. Temperatura máxima media (Tmáx), temperatura mínima media (Tmín) y precipitación mensual (Pp) correspondientes al ciclo 2021-2022, y a los valores promedio de los últimos 10 años, en la localidad de Abra Pampa (Jujuy). Fuente: Registros de la Estación Meteorológica Automática, EEA Abra Pampa, INTA.

En líneas generales, los suelos presentan perfiles de escaso desarrollo, texturas medias a gruesas y muy bajo contenido de materia orgánica (< 1%); se encuentran comprendidos en los órdenes (y subórdenes) característicos de zonas áridas: Aridisoles (Paleargid, Cambortid) y Entisoles (Torrifluent, Torrisament). Un caso especial son los ambientes de vegas, con suelos de texturas más finas, un mayor contenido de materia orgánica en forma de turba y, frecuentemente, con limitaciones por salinidad y alcalinidad (Nadir y Chafatinos, 1990; Morello et al. 2012).

La clasificación fitogeográfica de Cabrera (1971) ubica a la vegetación de la región en el Dominio Andino-Patagónico. En el altiplano, éste último se halla subdividido, según el rango altitudinal, en dos Provincias: Puneña (3300 – 4400 m) y Altoandina (> 4400 m). La formación vegetal más extendida de la Provincia Puneña es la estepa arbustiva, constituida por *Fabiana densa* (“tolilla”), *Baccharis boliviensis* (“chijua”), *Adesmia horrida* (“añagua”), *Tetraglochin cristatum* (“canjia”), entre otras especies (Cabrera, 1957; Ruthsatz y Movia, 1975). Por el contrario, las praderas de vegas representan menos del 1% de la superficie total (Baldassini et al., 2012). Están compuestas por un denso tapiz de especies pigmeas: *Scirpus atacamensis*, *Eleocharis atacamensis*, *Carex nebulorum*, *Juncus depauperatus*, *Lilaeopsis andina*, *Hypsella oligophylla*, *Plantago tubulosa*; en suelos más salinos es frecuente la presencia de *Psila caespitosa*, *Distichlis*

humilis, *Frankenia triandra* (“yaretilla”), *Salicornia pulvinata*, *Juncus balticus*, *Scirpus* sp. Este tapiz siempre verde es generalmente bordeado por un pastizal de matas grandes y altas (*Festuca dolicophylla* [syn. *F. scirpifolia*], “chillahua”) con un césped laxo de pequeñas especies rastreras y anuales que cubre los espacios libres entre ellas, entremezclado con especies de las comunidades anteriores (*Distichlis humilis*, *Lachemilla pinnata*, *Hypochaeris meyeniana*, *Werneria pygmaea*) (Cabrera, 1957; Ruthsatz y Movia, 1975).

Principales procesos de degradación de tierras

Las vegas son ambientes de relieve generalmente plano-cóncavo, situadas en posiciones bajas del paisaje, que reciben aportes de agua superficiales y subsuperficiales. Poseen suelos saturados de humedad de modo permanente o semipermanente, y vegetación especializada característica. (Bran *et al.*, 1998).

Una causa común de degradación de vegas es la pérdida de cobertura vegetal del suelo como consecuencia del sobrepastoreo. La vegetación ejerce un importante efecto sobre la dinámica del agua del suelo y las sales disueltas en ella. Un cambio de la cobertura y/o en la composición florística altera la magnitud de los flujos de agua sobre la superficie (escorrentía) y dentro del perfil del suelo (infiltración, evapotranspiración). Una menor cobertura vegetal disminuye, por una parte, la transpiración por unidad de superficie, y favorece, por otra, la escorrentía desde áreas más altas. Ello genera una recarga del acuífero más acelerada y de mayor magnitud en las partes bajas. La elevación de la capa freática incrementa la evaporación del suelo por capilaridad, con la consecuente movilización de sales desde niveles más profundos del perfil y su acumulación en la superficie (Ciari, 2010). El proceso se intensifica con condiciones climáticas de aridez. El incremento de la salinidad en superficie genera un ambiente tóxico para las especies que se desarrollan en vegas dulces, las cuales son progresivamente reemplazadas por especies halófitas de menor o nulo valor forrajero (Ciari, 2010).

Evaluación de prácticas de manejo del pastoreo de vegas en la Puna de Jujuy

El objetivo de este capítulo es evaluar como *práctica de manejo sustentable, la mejora en el pastoreo de los pastizales zonales*. Las vegas, denominadas localmente “ciénagos”, poseen pastizales de alta productividad y calidad nutritiva del forraje. Por ello, a pesar de su reducida superficie, en comparación con las estepas áridas, representan un recurso estratégico para las explotaciones ganaderas durante la prolongada estación seca. La práctica tradicional consiste en el pastoreo de ovinos y bovinos criollos desde mediados de otoño a principios de verano. La composición de los rodeos y la carga animal son variables entre establecimientos. Los productores ganaderos no realizan, en general, ninguna evaluación objetiva de la disponibilidad forrajera, ni poseen registros de la carga animal, lo cual ha llevado en ciertos casos a la sobreexplotación y a la degradación de este tipo de ambiente. La introducción de ovinos, bovinos y equinos, especies exóticas no adaptadas al ambiente andino, ha sido señalada como otra de las causas de la degradación de tierras en la región. Por ello, el reemplazo de estas especies exóticas por nativas (llamas, vicuñas) es considerado como una práctica deseable.

La vicuña es una especie silvestre nativa, que se encuentra amenazada de extinción debido a la caza furtiva para extraer su fibra de alto valor económico. La recuperación sostenida de las poblaciones silvestres, ocurrida en las últimas décadas a partir de su protección legal, ha permitido la explotación racional por parte de las comunidades aborígenes rurales. El manejo, efectuado siempre bajo supervisión gubernamental, se basa en la captura anual de los animales con el fin de esquilarlos y liberarlos nuevamente al medio natural. En muchos casos, estas prácticas de manejo se extienden sobre vegas. Para iniciar el manejo de vicuñas en una comunidad se efectúa una valoración previa del recurso forrajero. Sin embargo, se desconocen los efectos a largo plazo, sobre el pastizal de vegas, de una carga animal continua que tiende a aumentar con el transcurso del tiempo.

Metodología

Con el objetivo de evaluar el efecto del pastoreo de las especies nativas (vicuñas y las llamas) sobre los suelos en áreas de vegas se planteó un estudio exploratorio de tres casos reales de manejo del pastoreo con más de 7 años de antigüedad:

- 1) Estación Experimental Agropecuaria Abra Pampa, INTA (en adelante, **INTA**): pastoreo continuo con vicuñas, con ocupación anual del potrero y carga animal media a alta (170 kg de peso vivo por ha).
- 2) Establecimiento ganadero del Sr. Julio Sarapura (**JS**): pastoreo continuo con ovinos y llamas, con ocupación estacional del potrero y carga animal media a alta (68 kg peso vivo por ha).
- 3) Establecimiento ganadero del Sr. Carlos Palacios (**CP**): pastoreo continuo con ovinos, con ocupación estacional del potrero y carga animal muy alta (138 kg de peso vivo por ha por ha) hasta el año 2015 y luego, media a baja, hasta el presente.

En cada establecimiento ganadero (INTA, JS y CP) se definieron, con el auxilio de imágenes satelitales, dos puntos de muestreo en áreas representativas del pastizal. (Fig.III-2).

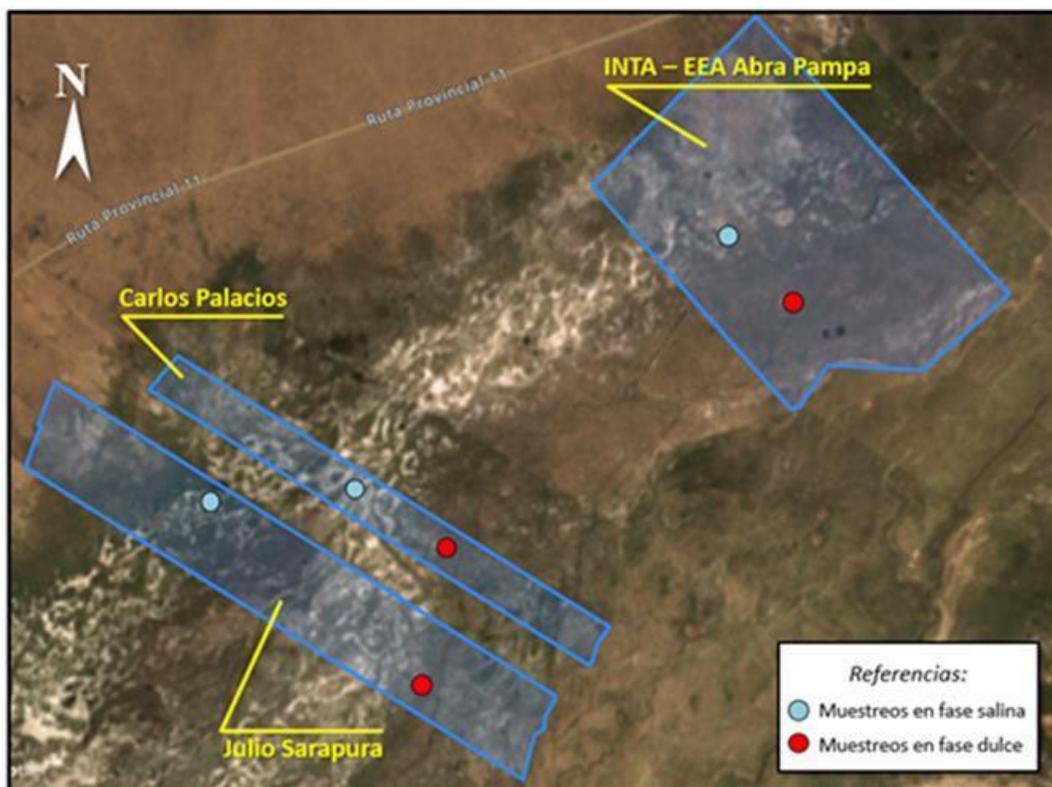


Figura III-2. Mapa de ubicación de los establecimientos ganaderos evaluados (INTA, JS y CP) y de los puntos de muestreo según fase (salina, dulce). Imagen de base: Sentinel 2, L2A, en color verdadero (bandas 4-3-2), adquirida el 26 de marzo de 2022. Fuente: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

En cada punto se llevaron a cabo observaciones y mediciones sobre un conjunto de variables indicadoras, de acuerdo con el diseño de muestreo consignado en la Figura III-3.

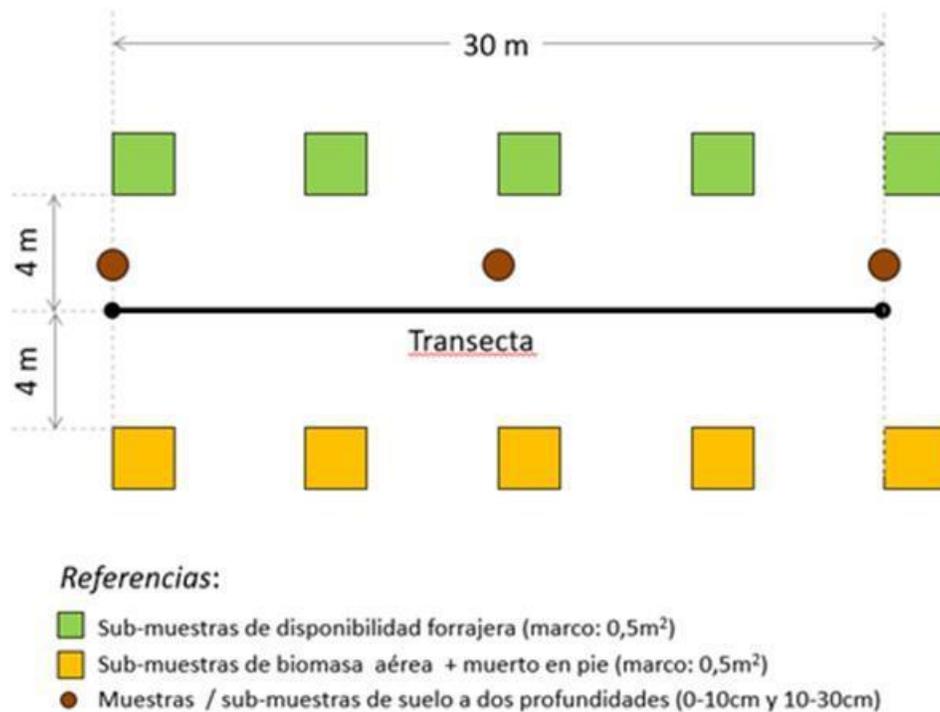


Figura III-3. Diseño de los muestreos y sub-muestreos realizados en cada punto de medición

Los indicadores evaluados detallan a continuación:

a) *Indicadores de suelo:*

- Tipos de cobertura del suelo (%)
- Clase textural (*)
- Materia orgánica (%) (*)
- Carbono total (%) (*)
- pH en pasta saturada (*)
- Conductividad eléctrica del extracto de saturación (dS m⁻¹) (*)
- Densidad aparente (g cm⁻³) (*)

- Respiración microbiana ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ suelo semana}^{-1}$) (*)
- Reserva de C en el suelo (Mg C ha^{-1}), a profundidad constante (0-30 cm)

(*) *determinados a dos profundidades: 0-10 cm y 10-30 cm.*

b) Indicadores de vegetación:

- Composición florística
- Cobertura aérea por especie (%)
- Número de especies por sitio
- Índice de Jaccard (%)
- Productividad forrajera ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).
- Biomasa aérea total (kg MS ha^{-1}) (incluye a todo el forraje muerto en pie).
- Concentración de carbono de la biomasa aérea total (%C)
- Reserva de carbono en la biomasa aérea total (Mg C ha^{-1})

c) Indicadores asociados al tipo de sistema productivo y al manejo del pastoreo:

- Composición del rodeo o majada (especie/categoría)
- Época de pastoreo y tiempo de permanencia en el potrero
- Carga animal estacional y anual

Los *tipos de cobertura del suelo* se determinaron mediante la metodología adaptada del “Protocolo de evaluación de pastizales húmedos” desarrollada por el equipo técnico del Proyecto INTA PE I040 “Monitoreo de la degradación de tierras”.

El *índice de Jaccard* mide el grado de similitud en la composición florística de dos sitios. Su valor varía de 0, cuando no hay especies en común, hasta 100, cuando los sitios poseen exactamente la misma composición florística. El índice se calcula según la ecuación 1:

$$\text{Índice de Jaccard} = \frac{C}{C + NC} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

En la cual, C, es el número de especies comunes entre sitios y NC, es el número de especies no comunes.

La *productividad forrajera* (kg MS ha⁻¹ año⁻¹) se estimó a partir de muestreos destructivos de la disponibilidad de forraje en el mes de marzo, al final de la estación de crecimiento, cuando la acumulación de MS ha⁻¹ es máxima. En la determinación del %C en la *biomasa aérea total* se utilizó la metodología de las normas IRAM 17005, 17006 y 17007 (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, 1959 a,b,c).

La *carga animal* se refirió a peso vivo (kg PV ha⁻¹) para poder realizar comparaciones entre establecimientos con rodeos de diferentes especies y categorías.

Resultados

En el presente estudio, el NDVI resultó adecuado como variable predictora de la cobertura vegetal (Fig.III-4) pero no de la disponibilidad forrajera en el ambiente de vegas (Tabla III-1 y III-2).

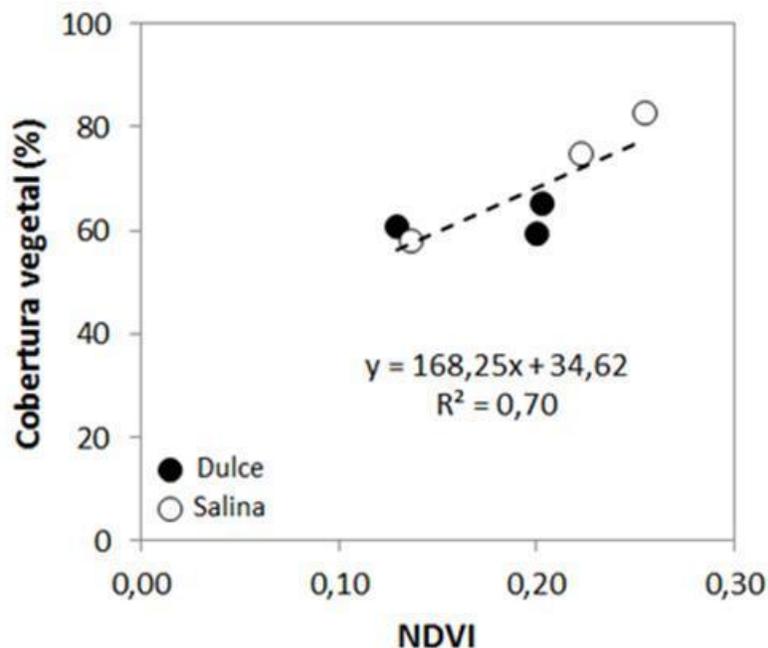


Figura III-4. Relación entre cobertura vegetal total y NDVI medio del mes de marzo de 2022.

Tabla III-1. Valores promedio de disponibilidad de forraje a mediados de marzo de 2022, y de NDVI, por plataforma (Landsat 9, Sentinel 2) y período de tiempo (1/12 al 15/3, 1/1 al 15/3, 1/2 al 15/3, 1/3 al 15/4), correspondientes a los puntos de muestreo para cada combinación de establecimiento ganadero (INTA, JS, CP) y fase (dulce, salina).

Establecimiento ganadero	Fase	Coord. puntos muestreo		Disp. forraje (kg MS ha ⁻¹)	NDVI Landsat 9 (media del período)			NDVI Sentinel 2 (media del período)			
		Longitud	Latitud		1/12 - 15/3	1/1 - 15/3	1/2 - 15/3	1/12 - 15/3	1/1 - 15/3	1/2 - 15/3	1/3 - 15/4
INTA	Dulce	-65,824627	-22,810989	1440	0,076	0,091	0,124	0,187	0,169	0,141	0,131
INTA	Salina	-65,826751	-22,808951	1883	0,090	0,102	0,121	0,208	0,194	0,177	0,141
JS	Dulce	-65,837722	-22,822760	1792	0,076	0,085	0,113	0,247	0,281	0,255	0,253
JS	Salina	-65,844202	-22,817396	1248	0,142	0,140	0,188	0,260	0,214	0,321	0,274
CP	Dulce	-65,836988	-22,818721	1240	0,073	0,088	0,113	0,196	0,211	0,191	0,199
CP	Salina	-65,839652	-22,816832	110	0,119	0,123	0,178	0,269	0,265	0,254	0,229

Tabla III-2. Coeficientes de los modelos lineales ajustados entre la disponibilidad de forraje y el NDVI, por plataforma (Landsat 9, Sentinel 2) y período de tiempo (1/12 al 15/3, 1/1 al 15/3, 1/2 al 15/3, 1/3 al 15/4).

Plataforma	Periodo	Coef. modelo lineal		
		a	b	R ²
Landsat 9	01-dic - 15-mar	2365	-11243	0,246
Landsat 9	01-ene - 15-mar	2858	-14983	0,267
Landsat 9	01-feb - 15-mar	3033	-12542	0,456
Sentinel 2	01-dic - 15-mar	3366	-9136	0,255
Sentinel 2	01-ene - 15-mar	2386	-4953	0,110
Sentinel 2	01-feb - 15-mar	1936	-2914	0,090
Sentinel 2	01-mar - 15-abr	1946	-3228	0,089

Modelo: Disp. Forraje [kg MS ha⁻¹] = a + b * NDVI

Esto último se asoció con la baja variabilidad de la disponibilidad forrajera (y de la biomasa aérea) explicada por la cobertura vegetal total (Figs. III-5a y III-5b), y con que, en los sitios con disponibilidad forrajera elevada, hay una mayor densidad de matas con una alta proporción de forraje maduro y muerto en pie, que habría enmascarado al forraje verde (Figs. III-6a, III-4b, III-7).

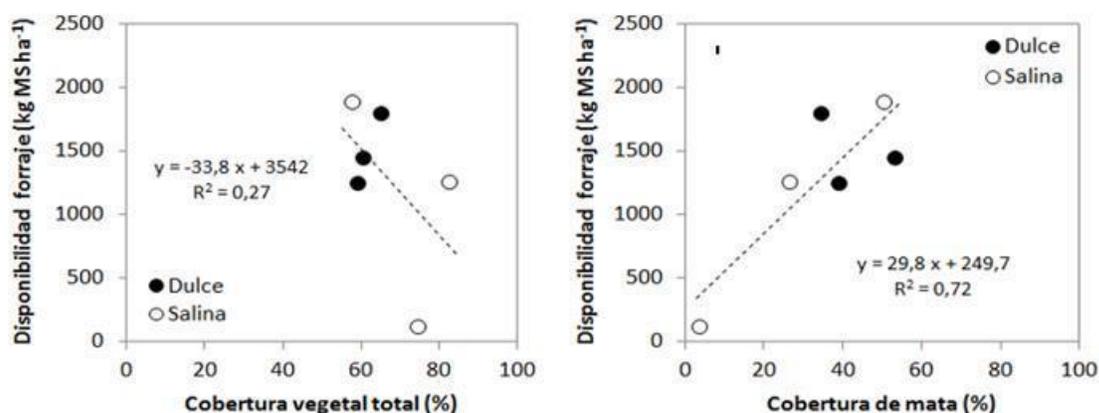


Figura III-5. Relación entre disponibilidad de forraje y a) cobertura vegetal total, b) cobertura del estrato mata, en marzo de 2022

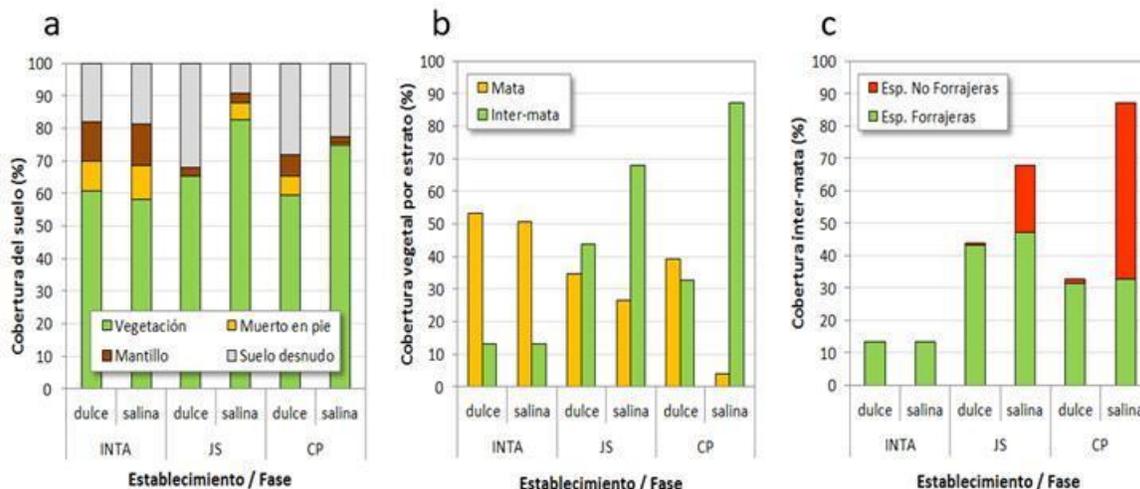


Figura III-6. Caracterización de la cobertura del suelo por establecimiento ganadero (INTA, JS, CP) y fase (dulce, salina). a) Tipos de cobertura del suelo, b) Cobertura vegetal por estrato (mata, inter-mata), c) Cobertura del estrato inter-mata, discriminada según la aptitud forrajera de las especies que la componen.

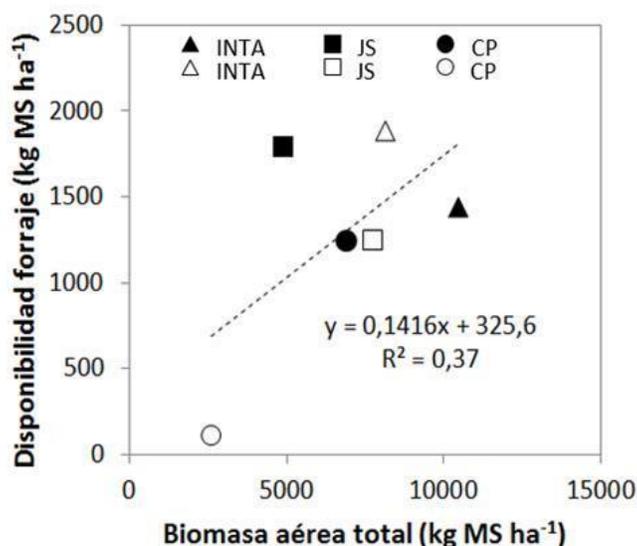


Figura III-7. Relación entre disponibilidad de forraje y biomasa aérea total.

En el manejo tradicional, el pastoreo continuo de ovinos con cargas animales altas (JS) a muy altas (CP) durante la estación seca (Tabla 3), reduciría la cobertura vegetal en esa época del año, particularmente del estrato mata (Fig. III-6b), dando lugar a procesos de salinización-alcalinización del suelo (Tabla 4). No obstante, la acción de retirar el ganado durante la estación húmeda de verano, favorece la recuperación parcial del pastizal y contribuiría a una mayor diversidad de especies (Tabla 5 y 6)

Tabla III-3. Carga animal por establecimiento ganadero (INTA, JS y CP) durante el año 2021 y promedio de los últimos 15 años.

Establecimiento ganadero	Superficie (ha)	Especie / Categoría	Temporada de pastoreo		Duración (meses)	Carga animal último año				Carga animal últimos 15 años			
			Inicio	Final		Nro	PV medio	Carga Temp.	Carga Anual	Nro	PV medio	Carga Temp.	Carga Anual
						Cabezas	(kg)	(kg PV ha ⁻¹)	(kg PV ha ⁻¹)	Cabezas	(kg)	(kg PV ha ⁻¹)	(kg PV ha ⁻¹)
INTA	94,0	Vicuña / adultos	01-ene	31-dic	12	366	40	156	156	346	40	147	147
	94,0	Vicuña / crías 1 año	01-ene	31-dic	12	56	24	14	14	46	24	12	12
			Carga Total:					170	170	Carga Total:		159	159
JS	59,9	Ovino	15-abr	15-dic	8	140	40	93	62	140	40	93	62
	59,9	Llama	15-jun	31-dic	6,5	85	100	142	77	85	100	142	77
			Carga Total:					235	139	Carga Total:		235	139
CP	25,4	Ovino	01-may	31-dic	8	40	40	63	42	191	40	301	201
	25,4	Llama	01-may	31-dic	8	10	100	39	26	3	100	12	8
			Carga Total:					102	68	Carga Total:		313	208

Tabla III-4. Valores de las características del suelo medidas en cada tratamiento y profundidad.

Establecimiento ganadero	Fase	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase Textural	MO (%)	C total (%)	pH	CE (dS m ⁻¹)	DAP (g cm ⁻³)	Respiración (mg C-CO ₂ kg ⁻¹)
INTA	Dulce	0-10	17	48	35	FaL	2,45	1,42	7,9	3,30	1,09	714
INTA	Dulce	10-30	33	34	33	Fa	2,01	1,17	8,1	1,92	1,20	414
INTA	Salina	0-10	55	22	23	FaA	2,59	1,50	8,1	5,88	1,22	568
INTA	Salina	10-30	65	20	15	FA	0,88	0,51	8,2	2,58	1,34	112
JS	Dulce	0-10	21	36	43	a	4,80	2,78	7,9	6,49	1,01	425
JS	Dulce	10-30	19	42	39	FaL	1,66	0,96	8,0	8,03	1,17	236
JS	Salina	0-10	55	36	9	FA	4,43	2,57	8,2	21,70	0,86	438
JS	Salina	10-30	61	26	13	FA	1,82	1,05	8,3	12,20	1,13	279
CP	Dulce	0-10	31	36	33	Fa	4,05	2,35	8,1	2,20	1,13	561
CP	Dulce	10-30	23	44	33	Fa	1,57	0,91	8,3	2,28	1,26	284
CP	Salina	0-10	51	38	11	F	2,50	1,45	8,7	7,60	1,31	431
CP	Salina	10-30	45	42	13	F	1,57	0,91	8,7	4,98	1,20	413

Tabla III-5. Cobertura vegetal por especie, determinada para cada establecimiento ganadero (INTA, JS, CP) y fase (dulce, salina).

Especies	INTA		JS		CP	
	Dulce	Salina	Dulce	Salina	Dulce	Salina
	----- Cobertura (%) -----					
<i>Bouteloua simplex</i> ("Brama")						12,0
<i>Carex sp.</i>	3,3					
<i>Distichlis humilis</i>	4,7	11,3	30,7	46,0	15,3	20,7
<i>Eleocharis sp.</i>	5,3	2,0	4,7	1,3	10,7	
<i>Festuca sp.</i> ("Chillahua")	53,3	50,7	34,7	26,7	39,3	4,0
<i>Frankenia triandra</i> ("Yaretilla")			0,7	16,0	1,3	54,0
<i>Hordeum muticum</i>			2,7		0,7	
<i>Muhlenbergia sp.</i>			5,3		4,7	
<i>Salicornia pulvinata</i>				1,3		
<i>Werneria villosa</i>						0,7
Morfoespecie				3,3		

Tabla III-6. Número total de especies por establecimiento ganadero (INTA, JS, CP) y fase (dulce, salina), e índice de similitud de Jaccard, el cual permite comparar la composición florística entre dos sitios.

Establ. ganadero	Nro especies	Índice de Jaccard		
		INTA	JS	CP
INTA	4	-		
JS	8	33,3	-	
CP	8	33,3	60,0	-
<i>Fase</i>		Dulce	Salina	
Dulce	7	-		
Salina	8	36,5	-	

En el caso de pastoreo continuo con vicuñas, con carga animal media durante todo el año, se observó una disminución en cobertura del estrato inter-mata (Figura III-7b), y una menor diversidad biológica (Tabla III-6). Ello sería una consecuencia de una mayor presión de pastoreo sobre este estrato, el cual es preferido por las vicuñas por su alto valor forrajero.

En resumen, la producción de biomasa de forraje anual se encuentra por encima del promedio nacional (2800 kg MS por ha; OECD DATA, 2018), siendo superior para el tratamiento INTA con respecto al resto de los tratamientos (Figura III-8). Las diferencias observadas con respecto a la cobertura de suelo y la biodiversidad de especies entre los tres casos analizados se deberían principalmente a la época de pastoreo y al balance entre la carga animal y la oferta forrajera. Se recomienda por lo tanto optimizar el manejo de la carga animal según la condición del pastizal y la disponibilidad forrajera a lo largo del año. Esto es relativamente sencillo de implementar con ganado doméstico (ovinos, bovinos, llamas), pero un desafío con vicuñas, por tratarse de una especie silvestre, con un acentuado comportamiento social y territorial.

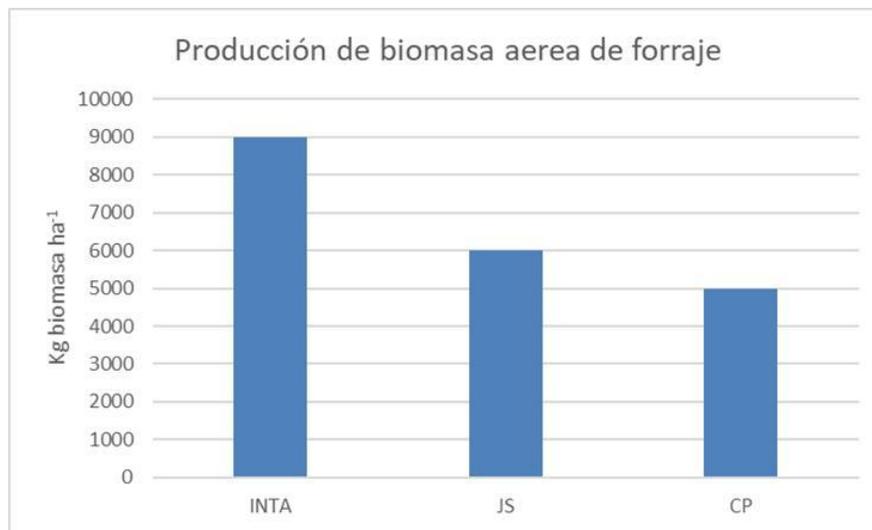


Figura III-8. Producción de biomasa aérea (kg h⁻¹) por ha por tratamiento. Valor promedio para los sitios dulce y salado para cada tratamiento.

Con respecto a los indicadores de calidad de suelo, el valor de %C fue el que mejor relaciona las diferencias entre ambientes y dentro de los ambientes las diferencias entre manejos (Figura III-9), siendo mayor su concentración en el manejo JS reflejando posiblemente las diferencias entre el consumo de forraje por parte de los animales. En el caso de la vicuña al generar una mayor presión de pastoreo genera una disminución de la cobertura del suelo que puede erosionar el recurso afectando el secuestro de C

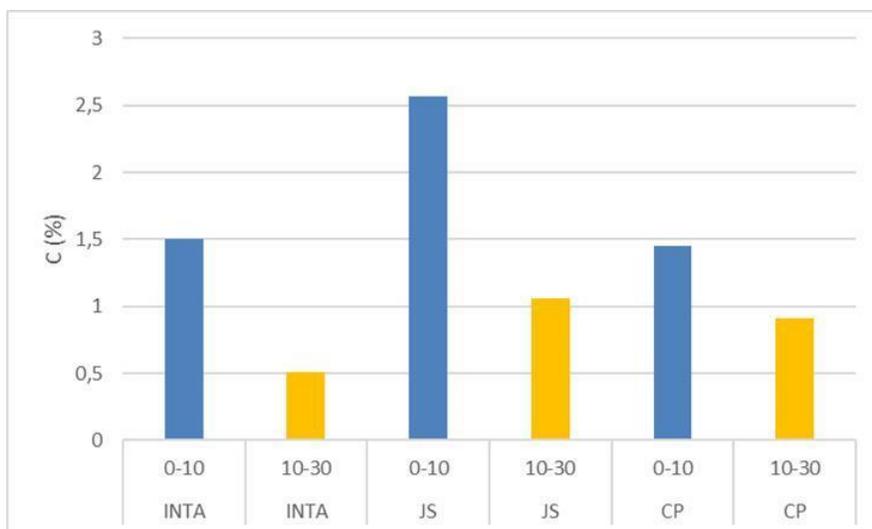


Figura III-9. Concentración de C en porcentaje por tratamiento y profundidad (0-10 y 10-30 cm). Valor promedio para los sitios dulce y salado para cada tratamiento.

En el tratamiento JS además se pudo observar una disminución en la DAP debido seguramente al mayor nivel de C que mejora las propiedades físicas del suelo como estructura y porosidad (Figura III-10).

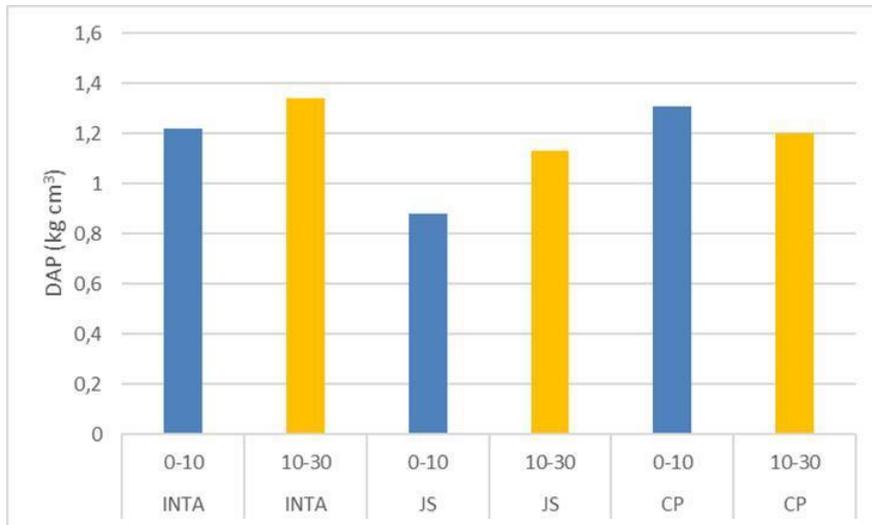


Figura III-10. Densidad aparente por tratamiento y profundidad (0-10 y 10-30 cm). Valor promedio para los sitios dulce y salado para cada tratamiento.

Finalmente, con respecto a la respiración, el manejo sostenible con vicuñas promueve una mayor respiración en la parte más superficial del suelo, con respecto al manejo tradicional con especies introducidas (Figura III-11).

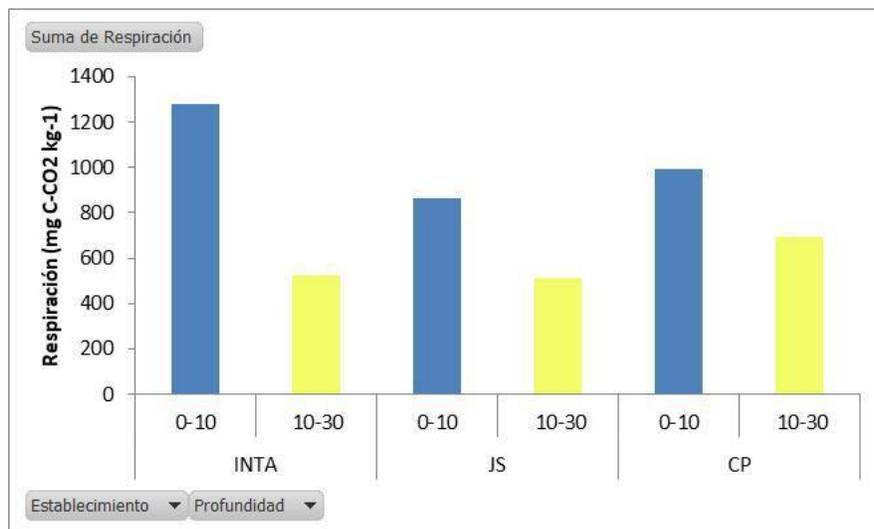


Figura III-11. Respiración basal del suelo por tratamiento y profundidad (0-10 y 10-30 cm). Valor promedio para los sitios dulce y salado para cada tratamiento.

Conclusiones del capítulo

En este caso particular, la producción de biomasa aérea de los pastizales fue superior al promedio nacional, sin relacionarse directamente con el contenido de C del suelo. Esto se debe a que en el tratamiento con mayor producción por hectárea no es el que contiene mayor contenido de C orgánico o mayor actividad respiratoria, sino el tratamiento alternativo con pastoreo de especies nativas. Por lo tanto el manejo del pastoreo es fundamental para generar una correcta producción y que la misma se pueda transformar parte en C orgánico del suelo.

Finalmente al comparar los valores de cada indicador en la práctica de manejo sustentable (producción de especies animales nativas) se compararon con respecto al manejo tradicional con especies introducidas. Se puede concluir que los indicadores que más respondieron al manejo alternativo con especie nativas fueron la productividad, debido posiblemente a las necesidades de pasto de las vicuñas y la respiración de suelo, que puede verse favorecida por una mayor cobertura de pasto, aumentando las poblaciones de micro y mesofauna del suelo (Tabla III-7).

Tabla III-7. Comparación de los indicadores medidos bajo el manejo sustentable, con respecto al manejo tradicional.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad	Manejo Convencional	9000	6000 5000		+
Carbono Orgánico (COS)	Manejo Convencional	1.5	>2.5		-
Densidad Aparente	Manejo Convencional	1.3	1.3		=
Tasa de respiración	Manejo Convencional	>1200	<1000		+
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Medio Cumplimiento

Agradecimientos

A los Sres. Julio Sarapura y Carlos Palacios, propietarios de los establecimientos ganaderos evaluados, al Dr. Juan Gaitán por su amable colaboración en el cálculo del NDVI y al Sr. Fidel Tolaba por suministrar los registros de carga de vicuñas de la EEA Abra Pampa.

Capítulo IV. Manejo agroecológico en sistemas agrícolas de la Puna

Victoria Royo, Facundo Javier Moreno, Julieta Quiroga Martinez, Carla Belén Carrizo
IPAF NOA (INTA) Equipo de Agroecología

Descripción del Área agroecológica o Bioma

La Quebrada de Humahuaca comienza a 1.900 msnm en el ecotono con los Valles y llega hasta los 4.500 msnm en el límite con la Puna jujeña. Su extensión lineal es de aproximadamente 170 km y tiene una superficie total estimada en 9.000 km² (Hernández Llosas et al., 2021). Es atravesada en toda su extensión por el Río Grande, pasando por tres departamentos (Tumbaya, Tilcara y Humahuaca). Esta zona posee clima árido de montaña y elevada amplitud térmica (diaria y estacional). Las lluvias se concentran de noviembre a marzo con precipitaciones anuales de 180 a 300 mm. La temperatura media anual es de 13,8°C, siendo la máxima 30°C y la mínima -10°C. Presenta alta heliofanía y escasa humedad (Aracena, 2016; Rodríguez, 2007; Fabron y Castro, 2019).

Los suelos van desde arcillosos ("gredosos") a arenosos con bajos contenidos de materia orgánica. Según el atlas de suelos de la República Argentina los suelos de esta región pertenecen a las clases VI y VII (Aracena, 2016; Rodríguez, 2007).

En cuanto a la vegetación natural, en algunos lugares hay bosquecillos muy abiertos de *Prosopis ferox* (churqui); abundan las cactáceas, particularmente de los géneros *Trichocereus* y *Opuntia*. En las laderas de mayor pendiente, prosperan las matas de bromeliáceas (*Abromeitiella lorentziana* y especies de los géneros *Tillandsia*, *Puya*, *Dyckia*, etc.). Los matorrales formados por palán-palán (*Nicotiana glauca*), cortadera (*Cortaderia speciosa*) y chilca (*Baccharis salicifolia*) crecen sobre suelos arenosos que bordean el río Grande y sus afluentes. En los pantanos, se entremezclan los juncos y totoras. Asociada a los cursos de agua aparece el molle (*Schinus molle* var. *areira*) (Rodríguez, 2007).

En las terrazas que acompañan al Río Grande, la vegetación natural ha sido reemplazada por cultivos; asimismo, los lugareños han introducido diversas especies arbóreas (sauces, álamos, eucaliptos) que rodean los sectores habitados (Rodríguez, 2007).

El principal uso de la tierra es la producción agrícola de esta zona es familiar (a pequeña escala, desarrollada por miembros de las familias cuya producción se destina al mantenimiento del grupo

doméstico y a la venta local) y rural, la superficie agrícola media es de 1,25 ha. Predominan las hortalizas (para comercialización) y algunos cultivos de origen andino, como variedades nativas de papa, maíz, oca, y ulluco. En menor escala, producción de frutales, flores y dentro de la ganadería se encuentran ovinos, caprinos y bovinos; con elaboración de algunos subproductos como quesos y artesanías (lana y cuero) (Aracena & Carrizo, 2016; Rodríguez, 2007; Fabron y Castro, 2019).

Los cultivos se realizan bajo riego con agua del Río Grande, de sus afluentes y de vertientes que afloran en medio de los cerros (Rodríguez, 2007; Fabron y Castro, 2019).

El paquete tecnológico aplicado para estas actividades es convencional, (aplicación de agroquímicos y utilización de servicios mecanizados), destacando que también usan tecnologías ancestrales y tracción animal sumado a trabajo familiar en combinación con tareas mecanizadas. Si bien la aplicación de agroquímicos es de volúmenes importantes, es reducida en relación a otras zonas intensivas o de climas tropicales (Aracena y Carrizo, 2016).

Ubicación:

- *Departamento:* Humahuaca, *Localidad:* Bella Vista – La Banda, *Coordenadas geográficas:* Lat. 23° 11' 52,1" Long. 65° 20' 30,8" (Parcela con MST. Muestra 1 profundidad 0-10 cm y muestra 2 profundidad 10-30 cm).



Figura IV-1: Zona muestreada en la Localidad de Humahuaca con manejo agroecológico



Figura IV-2: Zona muestreada en la Localidad de Humahuaca con manejo agroecológico

- *Departamento:* Humahuaca, *Localidad:* Uquía, *Coordenadas geográficas:* Lat. 23° 19' 32,3" Long. 65° 20' 33,2" (Parcela convencional. Muestra 3 profundidad 0-10 cm y muestra 4 profundidad 10-30 cm).



Figura IV-3: Zona muestreada en la Localidad de Humahuaca con manejo convencional



Figura IV-4: Zona muestreada en la Localidad de Humahuaca con manejo convenciona

- *Departamento:* Tilcara, *Localidad:* Maimará, *Coordenadas geográficas:* Lat. 23° 37' 46,8" Long. 65° 24' 28,4" (Parcela con MST. Muestra 5 profundidad 0-10 cm y muestra 6 profundidad 10-30 cm).



Figura IV-5: Zona muestreada en la Localidad de Maimará con manejo agroecológico



Figura IV-6: Zona muestreada en la Localidad de Maimará con manejo agroecológico

- *Departamento:* Tilcara, *Localidad:* Maimará, *Coordenadas geográficas:* Lat. 23° 38' 02,1" Long. 65° 24' 22,8" (Parcela convencional. Muestra 7 profundidad 0-10 cm y muestra 8 profundidad 10-30 cm).



Figura IV-7: Zona muestreada en la Localidad de Maimará con manejo convencional



Figura IV-8: Zona muestreada en la Localidad de Maimará con manejo convencional

- *Departamento:* Tumbaya, *Localidad:* Tumbaya Grande, *Coordenadas geográficas:* Lat. 23° 50' 34,6" Long. 65° 30' 12,3" (Parcela con MST. Muestra 9 profundidad 0-10 cm y muestra 10 profundidad 10-30 cm).



Figura IV-9: Zona muestreada en la Localidad de Tumbaya con manejo agroecológico



Figura IV-10: Zona muestreada en la Localidad de Tumbaya con manejo agroecológico

- *Departamento:* Tumbaya, *Localidad:* Tumbaya Grande, *Coordenadas geográficas:* Lat. 23° 49' 16,6" Long. 65° 30' 05,4" (Parcela convencional. Muestra 11 profundidad 0-10 cm y muestra 12 profundidad 10-30 cm).



Figura IV-11: Zona muestreada en la Localidad de Tumbaya con manejo convencional



Figura IV-12: Zona muestreada en la Localidad de Tumbaya con manejo convencional

Descripción de los principales procesos de degradación de tierras

La Quebrada de Humahuaca geo-topográficamente es un plano inclinado con distintos escalones altitudinales, divisibles en dos grandes grupos por sus diferencias ambientales: quebradas altas y fondos de quebradas. Las quebradas altas son los tramos superiores y medios de la cuenca ubicados por encima de los 3.000 msnm, presentan pendientes pronunciadas; en cambio, los fondos de quebrada son los tramos inferiores de la cuenca e incluyen gran parte de la quebrada troncal, se sitúan entre 3.000 y 1.900 msnm, presentan declive menor y en gran parte forman una planicie fluvial ancha, con gran intensidad de acarreo, generando, según los tramos y las estaciones, erosión y/o acumulación de detritos así como remoción en masa (Hernández Llosas et al., 2021).

Por tal motivo, un problema que reviste una importancia fundamental en esta zona es el de la erosión, tanto hídrica como eólica. Los fuertes y constantes vientos que castigan a la región, sumados a la escasa protección vegetal, al pisoteo y sobrepastoreo del ganado menor y al tipo de labranzas realizadas preponderantemente, propician una situación altamente favorable para la ocurrencia de voladuras de suelos. Por el otro lado la escasa cobertura y la débil estructura hacen que las pocas precipitaciones y los riegos provoquen también, importantes pérdidas de suelos por erosión hídrica (Rodríguez, 2007).

Sumado a las condiciones geográficas y climáticas anteriormente mencionadas, la Quebrada de Humahuaca presenta mal uso de prácticas agrícolas como la frecuente labranza del suelo que causa mayores tasas de erosión hídrica y eólica, al dejar suelo desnudo y poco aflorado (Aracena y Tolaba, 2016).

Todo lo anteriormente expuesto genera limitaciones muy acentuadas en la producción agrícola debido a la existencia de terrenos de baja fertilidad, con suelos degradados por erosión hídrica y eólica, por lo general no aptos para la producción agrícola convencional (Aracena y Tolaba, 2016).

Manejos de bajo impacto ambiental

La práctica principal de manejo evaluada fue ecológica con un menor impacto ambiental debido a la fragilidad del sistema productivo de la zona.

En cada parcela visitada se tomaron muestras compuestas. Las submuestras se tomaron con un barreno cilíndrico hasta 30 cm de profundidad y se subdividieron en 2 estratos: 0-10 cm y 10-30 cm. Asimismo, se tomaron muestras para determinar la densidad aparente de cada estrato, dichas muestras se realizaron utilizando un cilindro de volumen conocido, para la medición del primer estrato se quitaron los primeros 2 cm de suelo antes de introducir el cilindro y para el muestreo del segundo estrato se continuó el pozo hasta los 15 cm y se introdujo el cilindro a dicha profundidad, considerándose como una muestra representativa del estrato 10-30 cm.

Las muestras fueron tomadas en seis sitios distintos en tres departamentos de la Quebrada de Humahuaca (Humahuaca, Maimará y Tumbaya). En cada localidad fueron seleccionados dos productores con manejos agrícolas distintos, uno convencional y otro de bajo impacto ambiental. Todos los puntos de muestreo corresponden a parcelas de producción de agricultores familiares locales.

Los sitios de manejo convencional cumplen con las características anteriormente mencionadas. Por otra parte, los sitios con *manejo de bajo impacto ambiental*, se caracterizan por la utilización de ciertas prácticas ya incorporadas, como las nombradas a continuación: *uso de bioinsumos de elaboración propia (compost, lombricompost, bokashi, sulfocálcico, supermagro, etc.) como forma alternativa a la aplicación de agroquímicos como fertilizantes o compuestos para el control de plagas; policultivo (acelga, apio, rúcula, espinaca, arveja, habas, lechuga, brócoli, remolacha, perejil, cebolla, apio, puerro, zanahoria, tomate, pimiento, remolacha, zucchini, zapallo, zapallito, ajo y repollo, papa, maíz, poroto, aguaymanto y quinua) para aumentar la diversidad biológica buscando sinergias entre distintas especies; cosechas escalonadas y rotación de cultivos para evitar de esta manera la transmisión de plagas y/o enfermedades. En algunos casos, también se intenta disminuir el uso de la labranza con el objetivo de aumentar la cobertura vegetal buscando una mayor conservación y calidad del suelo.*

Referencias muestras de suelo

Tabla IV-1. Referencias de muestras de suelo por ambiente, tipo de manejo y profundidad.

Número	Descripción	Número	Descripción
1	Humahuaca Agroecología (0-10 cm)	2	Humahuaca Agroecología (10-30 cm)
3	Humahuaca Convencional (0-10 cm)	4	Humahuaca Convencional (10-30 cm)
5	Maimará Agroecológico (0-10 cm)	6	Maimará Agroecológico (10-30 cm)
7	Maimará Convencional (0-10 cm)	8	Maimará Convencional (10-30 cm)
9	Tumbaya Agroecológico (0-10 cm)	10	Tumbaya Agroecológico (10-30 cm)
11	Tumbaya Convencional (0-10 cm)	12	Tumbaya Convencional (10-30 cm)

Indicadores medidos

Tabla IV-2. Indicadores de calidad de suelo para cada sitio manejo y profundidad

Indicadores Muestras	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clase Textural USDA	DAP (g/cm ³)	pH en agua 1:2,5	Materia Orgánica (%)	Carbono Orgánico (%)	Nitrógeno total (%)	Relación C/N
1	5,00	7,50	87,50	A>AF	1,42	7,27	1,38	0,80	0,06	10
2	5,00	7,50	87,50	A>AF	1,47	8,06	0,98	0,57	0,08	10
3	15,00	2,50	82,50	FA	1,62	7,08	0,78	0,45	0,05	9
4	17,50	17,50	65,00	FA	1,64	8,08	0,71	0,41	0,04	10
5	20,00	25,00	55,00	FA>FaA	1,51	8,15	2,26	1,31	0,12	11
6	15,00	27,50	57,50	Fa	1,55	8,06	1,33	0,77	0,08	10
7	27,50	20,00	52,50	FaA	1,55	8,15	0,98	0,57	0,06	9
8	27,50	22,50	50,00	FaA	1,58	7,64	1,00	0,58	0,06	10
9	22,50	10,00	67,50	FaA	1,47	8,24	2,83	1,64	0,15	11
10	17,50	12,50	70,00	FA	1,40	8,06	1,99	1,15	0,11	11
11	22,50	12,50	65,00	FaA	1,31	8,31	0,87	0,50	0,05	10
12	25,00	12,50	62,50	FaA	1,27	8,31	0,91	0,53	0,06	9

Tabla IV-3. Indicadores de suelo extra por sitio manejo y profundidad

Indicadores Muestras	Fósforo extractable (mg.kg ⁻¹)	Calcio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	Magnesio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	Sodio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	Potasio (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)	Ce (dS.m ⁻¹)	pH en pasta saturada
1	38	6,50	3,25	0,26	0,76	0,842	7,05
2	46	7,50	4,25	0,26	0,70	0,698	7,83
3	43	8,75	5,50	0,63	0,49	2,440	6,86
4	45	8,75	5,25	0,57	0,42	1,778	7,85
5	30	10,25	6,50	0,58	1,68	2,600	7,92
6	33	9,00	6,75	0,49	0,77	1,486	7,83
7	22	10,00	6,00	0,74	0,55	2,750	7,92
8	36	12,25	4,75	0,69	0,52	1,852	7,42
9	74	15,00	7,00	0,19	1,63	1,112	8,01
10	6	8,75	11,25	0,16	1,43	0,972	7,83
11	37	12,00	6,50	0,80	1,68	1,859	8,08

12	12	13,25	6,50	0,86	1,83	1,983	8,08
----	----	-------	------	------	------	-------	------

Principales resultados

La concentración de C (%) como se puede ver en la figura IV-13 fue incrementada debido al uso agroecológico principalmente en el sitio Maimará (74%) y Tumbaya (228%). Es decir que en este último sitio se triplicó el contenido de C. Los cambios se vieron principalmente en la profundidad de 0-10 cm aunque en Tumbaya en la profundidad de 10-30 cm prácticamente se duplicó el contenido de C.

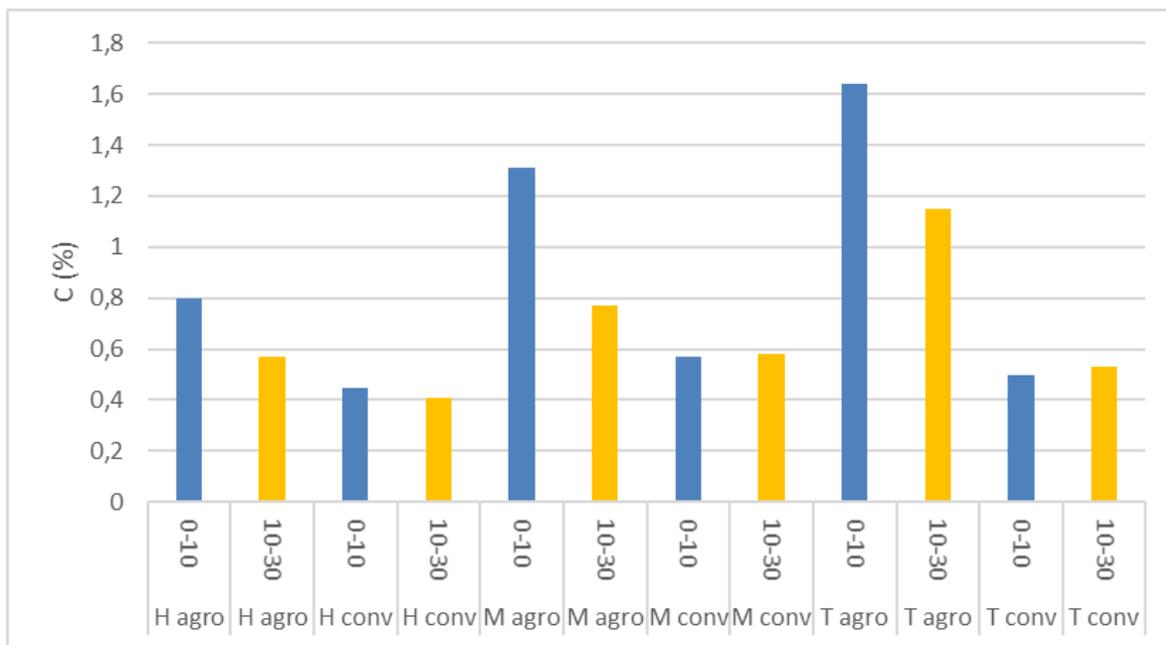


Figura IV-13: Concentración de C en porcentaje para cada sitio y manejo por profundidad (0-10 y 10-30 cm). H agro y H conv (Humahuaca agroecológico y convencional respectivamente), M agro y conv (Maimará agroecológico y convencional respectivamente) y T agro y conv (Tumbaya agroecológico y convencional respectivamente)

El valor de densidad aparente fue similar para todos los tratamientos, encontrándose dentro de los valores normales para suelos de textura arenosa o areno-franca. El dato de respiración de suelo no se pudo obtener y los datos de rendimientos al ser cultivos distintos entre tratamientos no se pudieron comparar durante este año de estudio.

Otros indicadores también fueron útiles para medir diferencias entre manejos como fue el caso del nitrógeno total (Figura IV-14) que siguió la misma tendencia que el valor de carbono orgánico. El valor de salinidad (CE) (Figura IV-15) también mostró diferencias entre ambientes y manejos, siendo menores sus valores en los tratamientos agroecológicos. Por tal motivo podrían ser tenidos en cuenta como posibles indicadores de calidad de suelo.

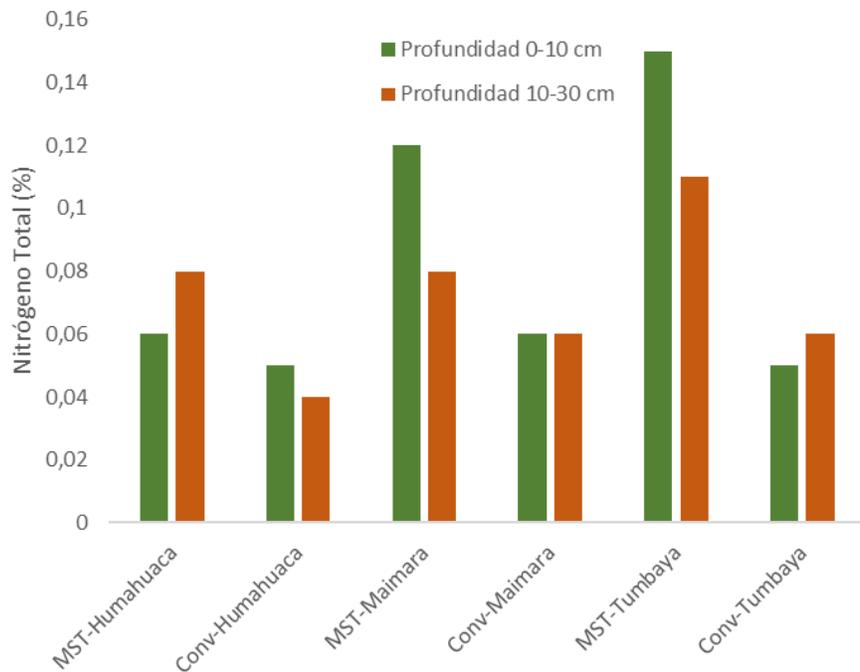


Figura IV-14: Diagrama de Nitrógeno Total (%) en los muestreos de distintas localidades

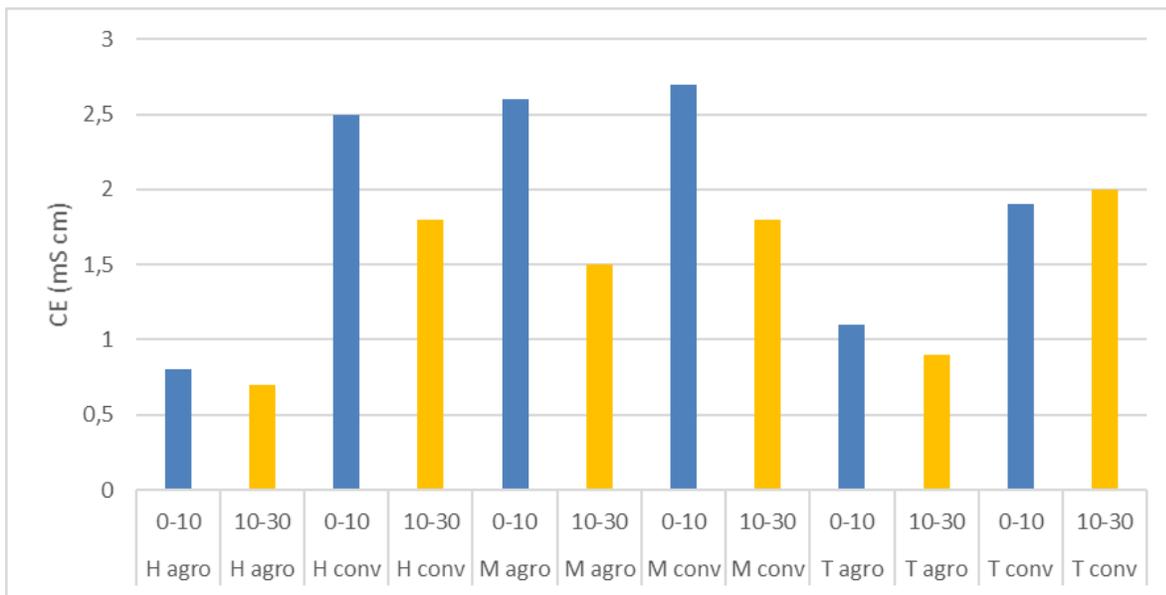


Figura IV-15. Conductividad eléctrica de los suelos (salinidad) para cada sitio y tratamiento por profundidad. H agro y H conv (Humahuaca agroecológico y convencional respectivamente), M agro y conv (Maimará agroecológico y convencional respectivamente) y T agro y conv (Tumbaya agroecológico y convencional respectivamente)

Consideraciones finales del capítulo

La evaluación del cumplimiento de las DVGSS en este caso se realizó a través de dos indicadores principales (carbono orgánico, densidad aparente) y dos indicadores adicionales (nitrógeno total, conductividad eléctrica); no se contó para estos sitios pilotos los indicadores de productividad y respiración basal del suelo.

En el caso del sitio piloto de Humaca, se aprecia como el manejo Agroecológico aumentó el carbono orgánico y nitrógeno total, y disminuyó la compactación y los problemas de salinidad (Tabla IV-16), por lo que se considera que ha habido un alto cumplimiento de las DVGSS

Tabla IV-16. Comparación de los indicadores medidos bajo el manejo Agroecológico, con respecto al manejo Convencional en Humaca entre 0 y 30 cm de profundidad.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Carbono Orgánico (%COS)	Manejo Convencional	1.18	0.75		+
Densidad Aparente (Mg/m ³)	Manejo Convencional	1.44	1.63		+
Nitrógeno total (%)*	Manejo Convencional	0.07	0.045		+
Conductividad eléctrica (ds/m)*	Manejo Convencional	0.77	2.11		+
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Alto Cumplimiento

En el caso de la localidad de Maimará, el manejo Agroecológico ha logrado incrementos de carbono y nitrógeno (Tabla IV-17); sin embargo, el suelo se mantiene medianamente compactado y con ligeros problemas de salinidad para ambos manejos, por lo que se considera que ha habido un medio cumplimiento de las DVGSS.

Finalmente, en Tumbayá se observaron respuestas positivas para carbono orgánico, nitrógeno total, densidad aparente (disminuye) y reducción de la salinidad bajo el manejo agroecológico, por lo que se determinó un cumplimiento medio de las DVGSS.

El resto de las variables evaluadas en los 3 sitios pilotos mostraron un comportamiento similar bajo ambos manejos (convencional, agroecológico).

Los resultados sugieren analizar con mayor profundidad las causas de que el manejo agroecológico en Maimará y Tumbaya no están generando mejora en algunas propiedades de los suelos.

Tabla IV-17. Comparación de los indicadores medidos bajo el manejo Agroecológico, con respecto al manejo Convencional en Maimará entre 0 y 30 cm de profundidad.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Carbono Orgánico (%COS)	Manejo Convencional	1.80	0.99		+
Densidad Aparente (Mg/m³)	Manejo Convencional	1.57	1.53		=
Nitrógeno total (%)*	Manejo Convencional	0.1	0.06		+
Conductividad eléctrica (ds/m)*	Manejo Convencional	2.04	2.30		=
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Medio Cumplimiento

Tabla IV-18. Comparación de los indicadores medidos bajo el manejo Agroecológico, con respecto al manejo Convencional en Tumbaya entre 0 y 30 cm de profundidad.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Carbono Orgánico (%COS)	Manejo Convencional	2.41	0.89		+
Densidad Aparente (Mg/m³)	Manejo Convencional	1.29	1.43		+
Nitrógeno total (%)*	Manejo Convencional	0.11	0.06		+
Conductividad eléctrica (ds/m)*	Manejo Convencional	1.04	1.92		+
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Medio Cumplimiento

Capítulo V. Horticultura de primicia sin remoción de suelo

Carlos López Morillo, Martín Castro Rojas, Ceferino Flores

Ubicación: Provincia de Salta, Departamento Orán, localidad Pichanal.

Área agroecológica

El departamento de Orán se encuentra dentro de la región subtropical de la Provincia de Salta. La región comprende los valles de los ríos San Francisco y Bermejo.

El clima es subtropical con estación seca, presentando notables variaciones como consecuencia de su relieve heterogéneo. El área está caracterizada por una baja frecuencia de heladas. La temperatura media anual es de 21,4 °C, con veranos calurosos (21 a 35°C) que alcanzan temperaturas extremas de hasta 45 °C, e inviernos templados (8,3 a 24°C) con baja frecuencia de heladas (Arroyo, 2004). La precipitación media anual es de 600 - 800 mm.

La región se ubica al pie de las Sierras Subandinas. El piedemonte se caracteriza por un relieve inclinado, adosado a las sierras que se proyectan con gradientes del 10% en las partes más altas hasta el desagüe fluvial con gradiente casi nulo (Piccolo et al., 2008). Los lotes hortícolas evaluados presentaban una fisiografía de terraza fluvial.

El material original proviene de depósitos aluviales derivados de rocas del Terciario: areniscas, limolitas, arcilitas y en menor proporción de rocas del Ordovícico, Cámbrico, Precámbrico. Al menos el 50% de los suelos tienen capacidad de uso apropiada para cultivos intensivos. Los suelos tienen moderado desarrollo; con perfil A, B2, C; de texturas media en superficie y medianamente fina a gruesa en profundidad; moderada a imperfectamente drenado; con escasa presencia de carbonatos en profundidad (Nadir y Chafatinos, 1990).

La vegetación natural corresponde al bosque de transición con especies predominantes como urundel, cebil, quebrachos, algarrobo, guayacán y garabato. (Nadir y Chafatinos, 1990).

La producción hortícola de primicia (tomate, pimiento, maíz dulce, zapallito y berenjena) es una de las actividades de mayor importancia económica de la región subtropical. La baja frecuencias de heladas, con áreas prácticamente sin incidencia agrícola, promueven el desarrollo de la producción de frutos de primicia. El departamento de Orán de la Provincia de Salta es uno de los principales productores con más de 7000 ha hortícolas, de pequeños y medianos productores (Ocampo, 2010). El nivel tecnológico utilizado es mediano a alto destacándose alta productividad

en invernaderos. El riego localizado de alta frecuencia es ampliamente difundido en productores grandes. La mano de obra en general es contratada. El destino de la producción es el mercado interno de productos frescos y de primicia, con escaso grado de diferenciación y/o transformación industrial (Arroyo, 2004). La producción de hortalizas es destinada principalmente a Capital Federal y en menor medida a empresas agroindustriales de la región (Piccolo et al., 2008).

Procesos de degradación de tierras

Los lotes evaluados se encontraban en las partes terminales de los faldeos de las sierras en una terraza fluvial. Presentan limitaciones por erosión hídrica. La poca pendiente predispone procesos de erosión principalmente laminar y debido al manejo de algunos lotes con rastras, el suelo queda sin cobertura y expuesto al impacto de las gotas de lluvia. Por su ubicación geomorfológica en el relieve estas terrazas fluviales pueden presentar procesos de degradación como anegamientos temporarios, salinidad y sodicidad fáciles de corregir.

Prácticas de manejo

La práctica de MST que se evaluó fue uso de labranza reducida y superficial en la producción hortícola en bordos sin remoción del suelo frente al uso de rastras y movimiento de suelo.

Los lotes con producción sin remoción de suelo en bordos que llevan más de 10 años sin movimiento del mismo. Las hortalizas en este caso pimiento, se produce con alta tecnología e inversión, cultivo protegido por invernadero, desinfección de los bordos por solarización, riego por goteo, fertirriego, sanidad y cosecha.

El muestreo se realizó dentro de las naves (invernadero) de producción, la misma tenían una superficie aproximada de 0,45 ha. Dentro de la nave se tomaron 3 muestras compuestas y 3 muestras de densidad aparente, a 2 profundidades: 0-10 y 10-30 cm.



Imagen V-1. Cultivo de pimiento en bordos sin remoción de suelo.

Los lotes con manejo convencional presentaban suelos arados por 3 pasadas de rastra. La producción hortícola presentaba una alta inversión y tecnología con el uso de riego por goteo, fertirriego, sanidad y cosecha.



Imagen V-2. Suelo rastreado con mangueras de riego por goteo para producción hortícola.

Indicadores medido

Los indicadores medidos a través del muestreo de suelos fueron los principales recomendados por el protocolo de evaluación del manejo sostenible de suelos de FAO (2020): carbono orgánico, densidad aparente y respiración basal de suelo; en relación a la productividad, este indicador no pudo medirse (Tabla V-1).

Tabla V-1. Indicadores físicos y químicos medidos a dos profundidades (0-10 cm) y (10-30 cm), para suelos con MST y manejo convencional.

REFERENCIA	Variable	n	Media	Mín	Máx
MST 0-10 cm	Resp $\text{mg}^{-1} \text{h}^{-1}$	3	4.23	2.92	5.31
MST 0-10 cm	Resp kg sem.	3	423	292	531
MST 0-10 cm	% C	3	1.08	0.92	1.17
MST 0-10 cm	% MO	3	1.87	1.58	2.02
MST 0-10 cm	Dap Mgm^{-3}	3	0.99	0.64	1.17
MST 10-30 cm	Resp $\text{mg}^{-1} \text{h}^{-1}$	3	1.66	0.67	2.53
MST 10-30 cm	Resp kg sem.	3	166	67	253
MST 10-30 cm	% C	3	0.68	0.56	0.76
MST 10-30 cm	% MO	3	1.18	0.97	1.31
MST 10-30 cm	Dap Mgm^{-3}	3	1.15	1.02	1.24
Convencional 0-10 cm	Resp $\text{mg}^{-1} \text{h}^{-1}$	3	3.61	2.64	5.49
Convencional 0-10 cm	Resp kg sem.	3	361	264	549
Convencional 0-10 cm	% C	3	1.11	0.89	1.42
Convencional 0-10 cm	% MO	3	1.91	1.53	2.45
Convencional 0-10 cm	Dap Mgm^{-3}	3	1.44	1.43	1.45
Convencional 10-30 cm	Resp $\text{mg}^{-1} \text{h}^{-1}$	3	1.48	0.82	1.97
Convencional 10-30 cm	Resp kg sem.	3	148	82	197
Convencional 10-30 cm	% C	3	0.81	0.67	0.88
Convencional 10-30 cm	% MO	3	1.39	1.15	1.52
Convencional 10-30 cm	Dap Mgm^{-3}	3	1.53	1.43	1.67

De los indicadores evaluados, los que más tuvieron diferencias fueron la densidad aparente (Figura V-1) y la respiración del suelos (Figura V-2). La concentración de C prácticamente no se modificó por el empleo de la práctica de manejo sustentable.

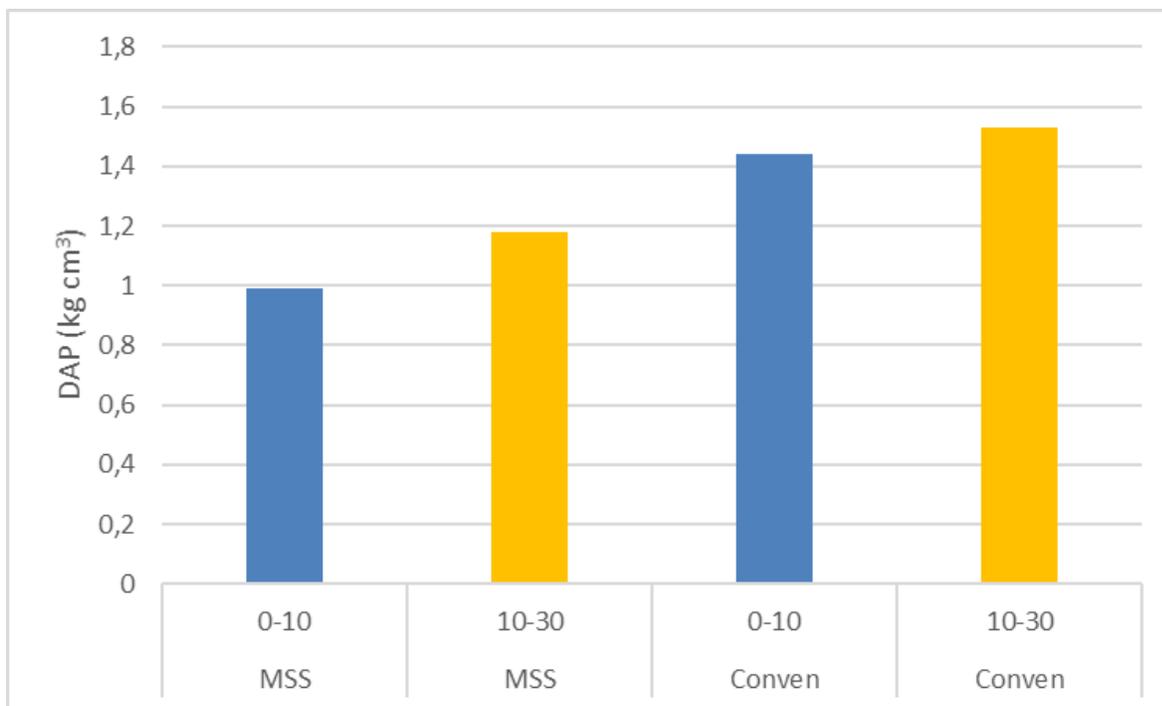


Figura V-1. densidad aparente del suelo en kg cm³ por tratamiento y profundidad (0-10 y 10-30 cm). MSS: manejo sustentable sin remoción de suelo, Conven: manejo convencional.

Como se puede observar, en el caso de la densidad aparente (Figura V-1) hubo una disminución en debido a la no remoción de suelo, esto seguramente se deba a que los sitios sin remoción de suelo mejoran su estructura, porosidad y aireación debido a un mayor control de erosión de suelo que causan las labranzas continuas (sellado, costras de suelo y escorrentía superficial de agua). Esto genera una descompactación del suelo mejorando sus propiedades físicas.

Con respecto a la respiración del suelo, se pudo ver un incremento de la misma por la no remoción del suelo, esto puede estar ligado a la disminución de la densidad aparente que permite un mejor intercambio gaseoso en el suelo y mejor captación de agua que son fundamentales para una adecuada actividad microbiana (Figura V-2).

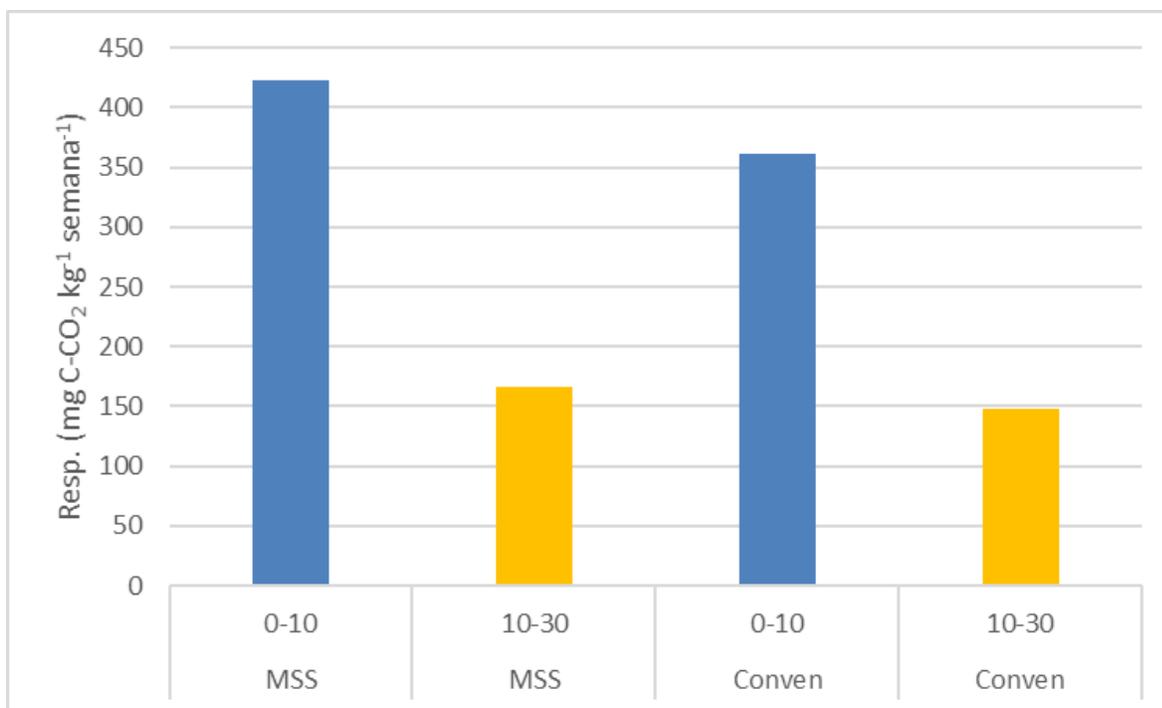


Figura V-2. Respiración microbiana en mg de C-CO₂ kg⁻¹ semana⁻¹ por tratamiento y profundidad (0-10 y 10-30 cm). MSS: manejo sustentable sin remoción de suelo, Conven: manejo convencional.

Conclusiones del capítulo

El planteo de manejo de suelo sin laboreo (labranza cero) generó un cambio en la física del suelo, descompactándolo, mejorando el intercambio gaseoso, la estructura y posiblemente en movimiento de agua favoreciendo además la actividad microbiológica, ya que se en el tratamiento sin remoción de suelo se midió un incremento en la respiración edáfica.

Al comparar los valores de los indicadores medidos con respecto a los valores de referencia (Tabla V-1), se pueden observar efectos positivos de las prácticas en su densidad aparente y los parámetros de respiración basal del suelo. El carbono orgánico se mantiene prácticamente igual para ambos manejos y se espera evaluar la productividad en próximos ciclos.

Tabla V-1. Comparación de indicadores de la práctica de manejo sustentable con respecto al manejo convencional

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad	-	-	-		
Carbono Orgánico (%COS)	Manejo Convencional	0.88	0.96		=
Densidad Aparente (Mg/m³)	Manejo Convencional	1.07	1.48		+
Respiración de suelo (kg sem.)	Manejo Convencional	294.5	254.5		+
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Medio Cumplimiento

Capítulo VI. Cultivo de maíz sobre Siembra Directa

Fabián Tejerina, Jorgelina Huidobro, Nicolas Varlamoff

Ubicación

Las parcelas muestreadas (parcela con MST y Testigo) se encuentran en la provincia de Salta, departamento Cerrillos, municipio de Cerrillos, localidad de Cerrillos.

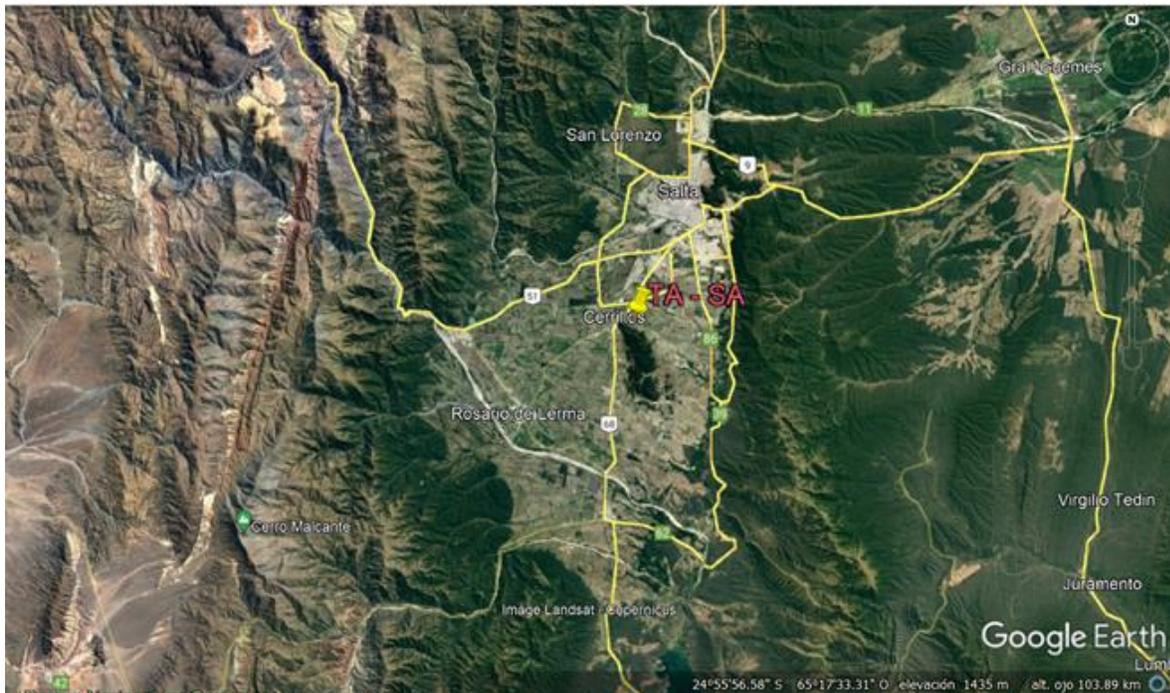


Imagen VI-1. Ubicación de la parcela agropecuaria con Manejo Sustentable de Tierra ($24^{\circ}53'55.74''S$; $65^{\circ}28'3.92''O$).

Breve descripción del Área agroecológica o Bioma (clima, relieve, suelo, vegetación, sistemas de producción).

Las parcelas se encuentran en la región agroecológica de sierras subtropicales según la división propuesta por la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, S.F.) y adaptada de Diffieri (1958). En una clasificación regional, Piccolo define el área de estudio dentro de la región agroeconómica de "Valles Templados con cultivos intensivos". Esta se caracteriza por tener un relieve de valle de altura intermedia, están comprendidos entre sierras. Son valles abiertos ubicados a la salida del relieve montañoso, en la confluencia de los ríos que descienden del borde oriental de la Puna. Los Valles Templados de Salta y de Jujuy, son un

territorio diverso, dinámico y productivo y se caracterizan por sus producciones intensivas. Son valles abiertos que se ubican a la salida de las serranías. Posee diferente denominación, así en la Provincia de Salta se lo conoce como Valle de Lerma y Siancas; mientras que en la Provincia de Jujuy es el Valle de los Pericos o Valles Templados de Jujuy ((Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 2013). El clima se encuentra condicionado por el relieve que determina en forma marcada la distribución geográfica de las lluvias, las cuales se concentran en el período estival, de noviembre a abril. La precipitación es superior a los 1000 mm anuales en el noreste e inferior a los 400 mm anuales en el sur del Valle de Lerma. Las temperaturas en el valle de Lerma son algo superiores a 20° C para el mes más cálido y de 11° C para el mes más frío (Vargas Gil, 1990 citado por Piccolo, 2008).

La vegetación natural corresponde a bosques serranos de Tucumán, Salta y Jujuy correspondientes a la ecorregión de Chaco Serrano (Morello, 2012). Se caracteriza por presentar al denominado Bosque Xerófilo a Subhúmedo Seco, integrado con especies del Bosque de Transición y Chaqueño (Vargas Gil, 1990 citado por Piccolo, 2008).

En general, los suelos se forman por el borde continuo de sedimentos que colman las depresiones originales, bajo la forma de amplios abanicos achatados. En el ápice del cono achatado se concentran preferentemente materiales de granulometría gruesa y la porción distal es ocupada por sedimentos finos (Vargas Gil, 1990 citado por Piccolo, 2008). Aptitud de uso según el sistema de clasificación USDA, predominan suelos no aptos para la producción agropecuaria (Clase VIII – 33%). Los suelos no aptos para cultivos (pasturas naturales) representan el 25,9% (Clase VI); el 25,3% corresponde a suelos aptos para cultivos con pocas a severas limitaciones (Clase I – II – III - IV). El resto son suelos no aptos para cultivos: con reservas de flora y fauna (Clase V) y restringido a la explotación de campo natural y bosques (Clase VII). (Piccolo, 2008)

Las Principales Producciones Agropecuarias se desarrollan bajo riego: tabaco y hortalizas. Existen actividades secundarias que se desarrollan con riego complementario o a secano: poroto en valle de Lerma (Bravo et al, 1998 citado por Piccolo, 2008).

Descripción de los principales procesos de degradación de tierras.

En los Valles de producción intensiva de Jujuy y Salta, en gran parte, se aplica riego y su producción predominante es el tabaco, tiene también tambos, y cultivos como hortalizas, granos, etc., con la particularidad de muchos años en producción. En estos valles, los sistemas de producción vigentes se basan, en general, en el monocultivo, con escasa diversificación y tecnologías con baja innovación, lo cual trae aparejado la degradación, no solo de los suelos, sino también de los demás recursos involucrados, aguas, vegetación natural, fauna, etc. Estas actividades productivas tradicionales, poseen una estructura consolidada que hasta el momento no generó una mayor demanda de mano de obra calificada ni agregado de valor, han crecido tanto en superficie como en los rendimientos, sin embargo, esto no se ha reflejado en el aumento de la calidad de vida de la población. (INTA, 2013).

En cuanto al manejo actual del Tabaco (con excesivas labranzas, muy poca rotación y, en algunas áreas, riegos con declives altos que favorecen la erosión), apoyados en investigaciones, se “podría estimar” que es la actividad menos conservacionista de todas las del noroeste Argentino y, como consecuencia, los suelos de los Valles Templados son los más degradados por efecto antrópico. Si bien la producción tabacalera es la dominante de la región, el equipo de suelos de la EEA Salta ha realizado evaluaciones de indicadores de calidad de suelos físicos, químicos y microbiológicos en el mencionado sistema productivo así también como en monocultivos de soja y poroto, pasturas y aromáticas que también se desarrollan en la zona. Los valores obtenidos evidencian el alto grado de deterioro de los monocultivos; principalmente tabaco y poroto. (Arzeno, 2018)

Ante esta situación que tiene muchos años, la estrategia que se planteó desde INTA, fue la de experimentar buscando un manejo más conservacionista. Así, se trabajó durante más de 12 años buscando ajustar un *“Manejo conservacionista del suelo con tabaco” (MCST)*, en diálogo con Universidad Nacional de Salta, con las empresas, y con la Cooperativa de Tabacaleros de Salta. Esto se realizó dentro de la EEA Salta con continuidad, y en varias fincas en parcelas chicas con Experimentación adaptativa, pero variando las fincas. (Arzeno, 2018).

Nombre de la práctica de MST a evaluar y descripción de la misma

La práctica de Manejo Sustentable de Tierras a evaluar es el de Siembra Directa (SD). El lote muestreado es una parcela permanente de ensayos (parcelas experimentales) donde se realizaron diferentes prácticas conservacionistas (Siembra Directa, Labranza mínima, Labranza convencional) durante más de 30 años. Desde el año 2015 se realiza solamente cultivo de maíz sobre Siembra Directa con una pasada de cincel y rolo. Así, la implantación del cultivo de maíz, se realiza con un mínimo movimiento de suelo, el cual mantiene una cobertura permanente con residuos de cosecha. De esta manera, por un lado, se busca evitar la rotura de la estructura del suelo logrando cada vez aumentar la captación, almacenaje y/o pérdidas por escurrimiento y evaporación del agua de lluvia. Por otro lado, se incrementa el contenido de la Materia Orgánica del suelo y, por lo tanto, incrementa la fertilidad química y física y actividad biológica del suelo. En la parcela testigo se realiza cultivo avena en rotación con cultivo de tabaco en labranza convencional. El muestreo se realizó sobre la parcela con MST y la parcela testigo. Se tomaron 3 muestras por cada parcela en forma sistemática, con un distanciamiento de 100 entre cada punto de muestreo. Se realizaron muestreos para medir Densidad Aparente, Carbono Orgánico y Respiración edáfica.

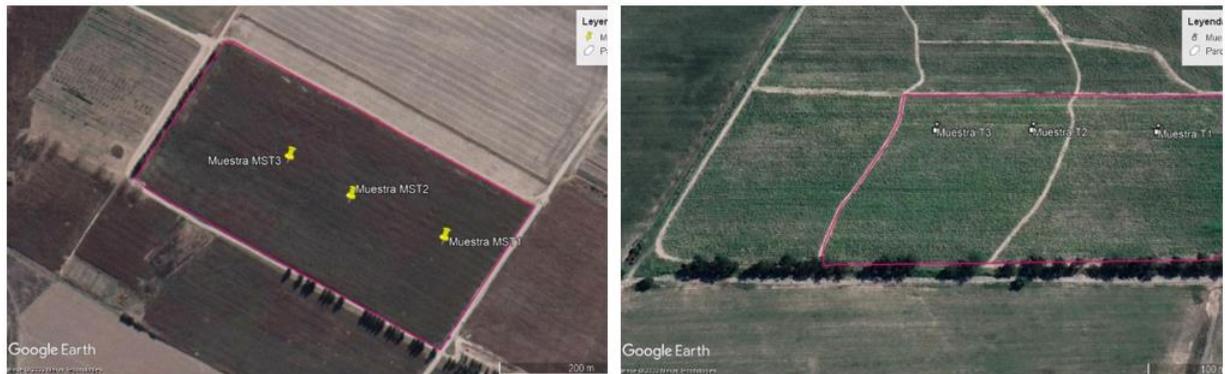


Imagen VI-2. Parcelas y puntos de muestreo en parcela con MST (izquierda) y Testigo (derecha).

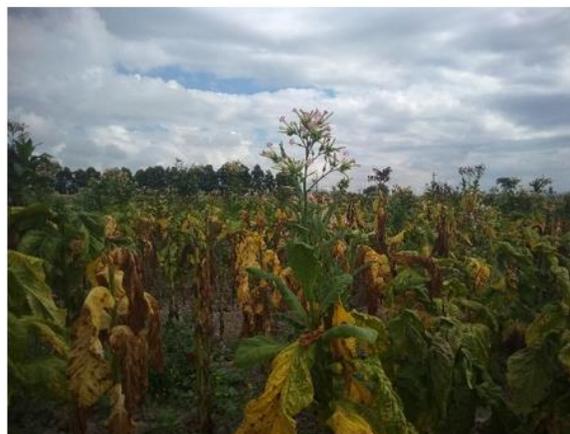


Imagen VI-3. Cultivo de maíz en siembra Directa (izquierda) y Tabaco en labranza convencional (derecha).

Resultados y discusión

En la tabla VI-1 se puede observar que luego de 7 años de siembra directa todavía no se han generado diferencias en las variables evaluadas.

Tabla VI-1. Resultados de muestreo de suelos para cada variable y profundidad

Indicadores/Parcelas	Parcela MST		Parcela Testigo	
	0 – 10 cm	10 – 30 cm	0 – 10 cm	10 – 30 cm
% Carbono orgánico del suelo	1,05	0,67	1,06	0,89
% Materia Orgánica	2,00	1,16	1,89	1,10
Densidad aparente (gr/cm ³)	1,55	1,65	1,31	1,53
Respiración edáfica (mg C-CO ₂ 1 kg ⁻¹ suelo por semana ⁻¹)	327,67	225,67	332,00	241,67

Sin embargo, el planteo de siembra directa tiende a generar cambios en el suelo a largo plazo por lo que es esperable observar incrementos de carbono y mayor respiración edáfica en un período mayor de tiempo al analizado en este caso. Con respecto a la densidad aparente se observó un incremento en la profundidad superficial principalmente (Figura VI-1), esto en algunos casos es esperable bajo el planteo de siembra directa debido al pasaje de maquinaria agrícola en forma continua sin remoción de suelo.

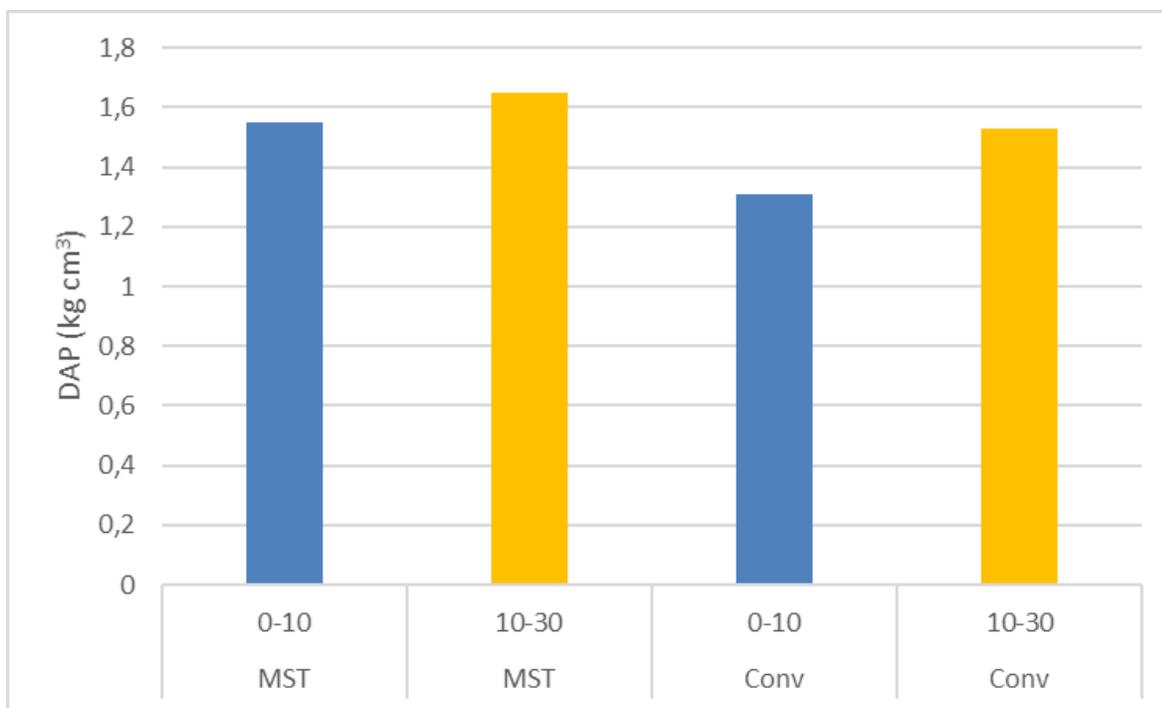


Figura VI-1. Valores de densidad aparente (DAP) en kg cm³ por tratamiento y profundidad. MST: manejo sostenible de suelo (Siembra directa), Conv: manejo convencional.

Esto último se puede corregir mediante mejoras en la rotación incluyendo mayor cantidad de gramíneas o a través del uso de crucíferas como cultivos de cobertura que debido a su raíz pivotante tiende a descompactar el suelo.

Conclusiones de capítulo

El manejo de siembra directa tiene beneficios en el suelo, pero los mismos se alcanzan en el mediano-largo plazo. El caso del incremento de la densidad aparente puede ser una complicación con el uso de la siembra directa pero el mismo se puede solucionar con el uso de cultivos de cobertura y/o incrementando la cantidad de cultivos gramíneas en las rotaciones.

Al comparar los valores de los indicadores medidos en la práctica de manejo sustentable con respecto a la parcela testigo (Tabla VI-2), se pudo observar que la densidad aparente y el nivel

de carbono orgánico se encuentra dentro del rango normal para suelos arenosos. Para el caso de la respiración edáfica su valor se encuentra dentro del rango de no cumplimiento, aunque es esperable que en un suelo arenoso su valor sea bajo.

De manera integral, se aprecia que el MST no ha logrado mejorar los indicadores de sostenibilidad de suelos, por lo que se considera que no ha un cumplimiento de las DVGSS, posiblemente la condición de suelos arenosos amerita la aplicación de materia orgánica. Sin embargo, sería muy valioso evaluar los cambios de productividad a causa del manejo. Se debe además tener en cuenta que a pesar de no observarse una mejora en los indicadores, el cambio de labranza hacia la siembra directa es en general beneficioso debido a la disminución potencial de la erosión del suelo.

Tabla VI-2. Comparación de indicadores de la práctica de manejo sustentable en relación al manejo convencional.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad	-	-	-		
Carbono Orgánico (%COS)	Manejo Convencional	1.72	1.95		=
Densidad Aparente (Mg/m³)	Manejo Convencional	1.60	1.42		-
Respiración de suelo (mg C-CO₂ 1 kg⁻¹ suelo por semana⁻¹)	Manejo Convencional	276.67	286.84		=
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					No Cumplimiento

Capítulo VII. Manejo de suelo y cultivo de algodón en sistemas agroecológicos

Rojas, Julieta; Spoljaric, Mónica; Frías, Jorge

Ubicación

Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña. RN 95 Km 1108. Coordenadas: 26°50'24.68"S; 60°26'43.33"O

Área agroecológica

El área de estudio se ubica en el centro de la Provincia del Chaco y posee un clima subtropical entre subhúmedo y continental seco, con un período seco concentrado en otoño-invierno; el promedio anual de precipitaciones es de 983 mm (serie 1924-2019). La temperatura media de la región para el mes más cálido (enero) es de 27°- 28°C y la media del mes más frío (julio) es de 14°- 15°C. La evapotranspiración anual media es de 1686 mm, esto genera un déficit hídrico marcado en los meses más cálidos. Los suelos de la zona son de origen loésico, material depositado por el viento, principalmente de textura franca a fina. En general son suelos ricos en nutrientes, con fertilidad media a alta. La vegetación original era predominantemente bosque nativo, ubicado sobre albardones y lomas medias; actualmente solo quedan isletas de bosque y lo demás fue deforestado para agricultura, ganadería o sistemas mixtos. Las especies predominantes en el bosque alto son quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*), guayaibí (*Cordia americana*), algarrobo blanco y negro (*Prosopis alba* y *Prosopis nigra*) garabato (*Acacia praecox*), itín (*Prosopis kuntzei*). Un menor porcentaje de la vegetación natural son pastizales y pajonales sobre lomas medias o bajos, intercalados con montes y pampas se encuentran sectores menores de relieve subnormal y cóncavo, deprimido, con problemas de anegabilidad. El macrolieve es de origen fluvial, el sistema de drenaje de la zona está constituido por paleocauces de ríos, localmente llamados “caños” (Ledesma y Zurita, 2003).

Descripción de los principales procesos de degradación de tierras

La región es el centro agropecuario de la provincia. *Los principales procesos que se dan actualmente están relacionados con las tecnologías agrícolas utilizadas para producir, denominadas “siembra directa” que consisten en un paquete tecnológico que utiliza maquinaria pesada, semillas híbridas y transgénicas, herbicidas, insecticidas, fungicidas y cosechadoras automáticas.* La falta de rotación y la deforestación han generado un paisaje simplificado y pérdida de corredores vegetales en áreas rurales, se utilizan cortinas, pero los lotes agrícolas abarcan superficies entre 50 y 200 hectáreas. *El uso excesivo de herbicidas en la zona ha generado una presión muy alta de malezas y un elevado número de malezas resistentes a herbicidas, la falta de rotaciones y uso de cultivos de cobertura invernales, junto a la maquinaria pesada generan alta compactación en los lotes agrícolas y pérdida de materia orgánica respecto al suelo en su condición prístina.* Las fumigaciones no están reguladas por lo tanto se genera contaminación sobre el suelo, el aire y los cursos de agua cercanos a zonas rurales. *Los sistemas de pastoreo en la zona son la mayoría continuos, los cuales también conllevan compactación de suelos menor diversidad vegetal y la alteración del ciclo hidrológico a causa de que los animales pastorean todo el año en forma permanente y no permiten que las matas de las especies forrajeras se recuperen.* *Respecto al cultivo del algodón, la producción predominante comercial es convencional bajo la tecnología de siembra directa, es decir con sembradora, cosechadora mecánica, semillas transgénicas, herbicidas, insecticidas y reguladores de crecimiento.* Esto ha llevado a que sea una producción orientada a medianos y grandes productores, y que prácticamente hayan desaparecido como parte de la agricultura familiar, pese a que tiene gran valor histórico y social ya que es una de las primeras especies agrícolas que se cultivó por más de 100 años en la provincia tanto por poblaciones originarias como por inmigrantes.

Práctica de Manejo Sostenible de Tierras a evaluar (PMST)

La PMST a evaluar es un sistema agroecológico que tiene como cultivo central al algodón, consociado con otras especies alimenticias y puntualmente el efecto de bioinsumos en el algodón. La producción de algodón con enfoque agroecológico en sistemas alimentarios es alternativa al modelo predominante y ocupa una superficie mínima en la región, pero se orienta a cubrir una demanda comercial creciente. El ensayo se encuentra sobre la serie Chaco, un Argiustol Údico de textura arcillo limosa que posee un horizonte A hasta 34 cm de profundidad. *El sistema agroecológico (AE) comprende una superficie de 0,42 ha con policultivos en franjas de 3 m intercaladas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) variedad no transgénica (Guazuncho 3 INTA), zapallo criollo (*Cucurbita* sp.), mandioca (*Manihot esculenta*), y poroto (*Phaseolus vulgaris* L.).* La parcela está rodeada por una bordura de alfalfa, árboles frutales y forestales nativos que

se implantaron en el último año, consistiendo el módulo en cerca de 2 ha, *donde hace 4 años que no se aplican ni herbicidas ni insecticidas de síntesis. Las malezas se controlan en forma manual y se realizaron durante el ciclo aplicaciones de preparados naturales de alcohol y ajo, tierra de diatomeas y biofertilizante foliar para el control de trips. Previo al algodón se había sembrado centeno como cultivo de cobertura, el cual se semi-incorporó al suelo por medio de una rone o arado de discos; luego se pasó un vibrocultivador para emparejar para la siembra.* La siembra del algodón se realizó el 11/11/2021, en franjas de 6 m de ancho cada una, utilizando 4 franjas en total y considerando a las mismas como repeticiones. El distanciamiento entre líneas de cada franja fue de 0.50 cm y una densidad de 3 plantas por metro. *Los bioinsumos evaluados fueron bocashi (B) aplicado al suelo y solución madre de microorganismos benéficos (SM) aplicada a la semilla, mezcla de bocashi y SM y se evaluó también un testigo sin aplicación de bioinsumos.* El bocashi se aplicó previamente a la siembra. Tanto B como SM fueron preparados por una empresa local “La tierra sin mal” con insumos de la zona, en línea con los principios agroecológicos de cerrar los ciclos de energía y materiales localmente y reducir la dependencia de insumos externos o importados.

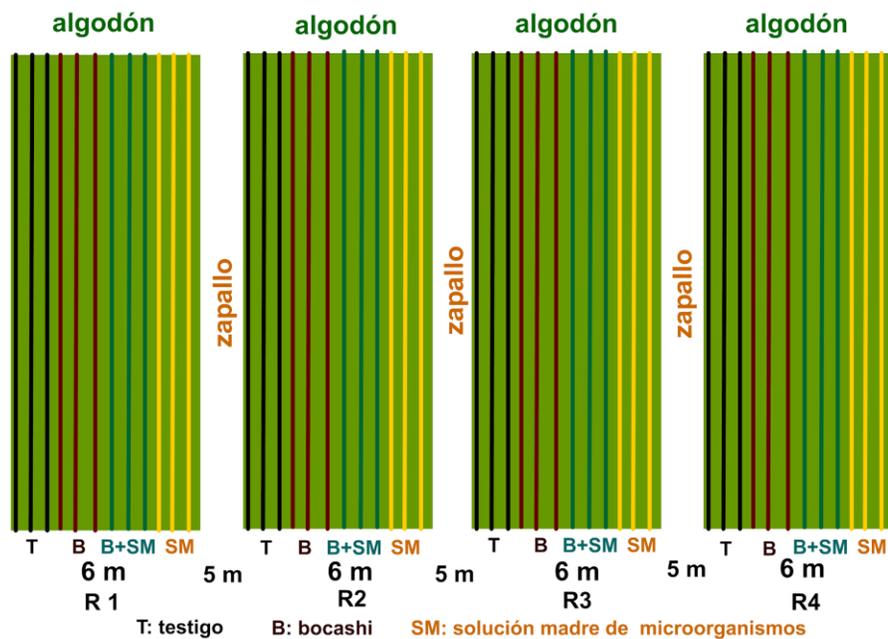


Figura VII-1. Disposición de los líneas de algodón en cada franja intercalada con zapallo.

El bocashi fue preparado con tierra, cascarilla de arroz, estiércol, carbonilla, cenizas, mantillo de bosque, melaza y levadura y se aplicó en una dosis baja de 0.5 kg/m², menor a la recomendada de 2 kg/m². La SM se preparó con microorganismos “eficientes” considerados benéficos para el

crecimiento vegetal provenientes de levaduras y leche fermentada, melaza y agua, y se aplicó embebiendo las semillas previamente a la siembra.

El muestreo de suelos se realizó al finalizar la cosecha, el 5/4/2022. Se tomaron muestras compuestas por 3 submuestras de cada repetición (franjas) de cada tratamiento de 0 a 5, de 5 a 10 y de 10 a 30 cm de profundidad.

Suelo

El tratamiento donde se aplicó bocashi presentó un stock de carbono promedio hasta los 30 cm de profundidad mayor a todos los demás tratamientos y el testigo el menor valor (Figura VII-2). Aunque estas diferencias entre medias no fueron estadísticamente significativas; el máximo valor de stock del testigo fue de 30,4 t/ha mientras que el bocashi fue de 38,5 t/ha. Tampoco se hallaron diferencias estadísticamente significativas para la respiración, que varió según la profundidad en forma diferente para cada tratamiento, pero de todos modos los valores máximos (220 mg CO₂/100 g suelo seco) son valores altos para la zona, ya que superan valores determinados previamente en pasturas, ensayos agrícolas, huertas familiares y plantaciones de algarrobos de 3 años.

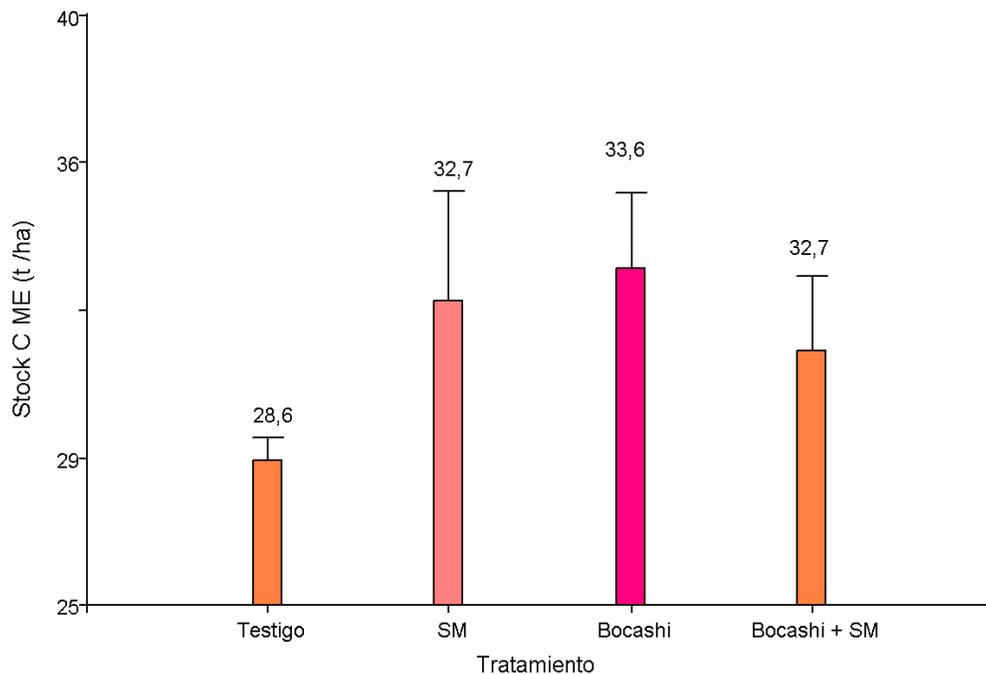


Figura VII-2. Stock de carbono hasta 30 cm para una masa equivalente de suelo de 3473 t/ha.

Tabla VII-1. Indicadores de suelo para los diferentes tratamientos evaluados.

Tratamiento	Profundidad (cm)	Carbono orgánico (%)	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g.cm ⁻³)	Respiración (mg C. 1 kg suelo seco)	Stock CO (t. ha ⁻¹) profundidad constante	Stock CO (t. ha ⁻¹) masa equivalente de suelo 3437 t
Testigo	0 - 5	1,25	2,15	1,20	1127	31,98	28,68
	5 - 10	1,16	2,00	1,29	1265		
	10 - 30	0,66	1,13	1,31	880		
Bocashi	0 - 5	1,47	2,52	1,14	907	37,30	33,58
	5 - 10	1,39	2,40	1,31	1237		
	10 - 30	0,76	1,30	1,32	962		
Solución madre (SM)	0 - 5	1,30	2,25	1,14	1017	35,17	32,73
	5 - 10	1,28	2,20	1,29	1100		
	10 - 30	0,79	1,36	1,27	797		
Bocashi + SM	0 - 5	1,32	2,27	1,22	1210	35,77	31,45
	5 - 10	1,30	2,24	1,30	990		
	10 - 30	0,72	1,24	1,35	1430		

Rendimiento

El análisis estadístico no arrojó diferencias significativas para los tratamientos, probablemente por la gran variabilidad de cada uno de los tratamientos, los cual también pudo deberse a problemas en el stand de plantas a causa de una mala regulación de la sembradora. El tratamiento que mayores rendimientos presentó fue la SM (Figura VII-3), que osciló entre 900 y 4100 kg/ha. Este valor máximo es un excelente dato para la zona que tiene una producción de algodón promedio de 1800 kg/ha, dado que se piensa que el planteo agroecológico lleva a menores rendimientos, pero si las condiciones están dadas está demostrado que pueden

alcanzar óptimos resultados de algodón en bruto y que además con un insumo de muy bajo costo como es la solución madre de microorganismos, pueden duplicarse los rendimientos.

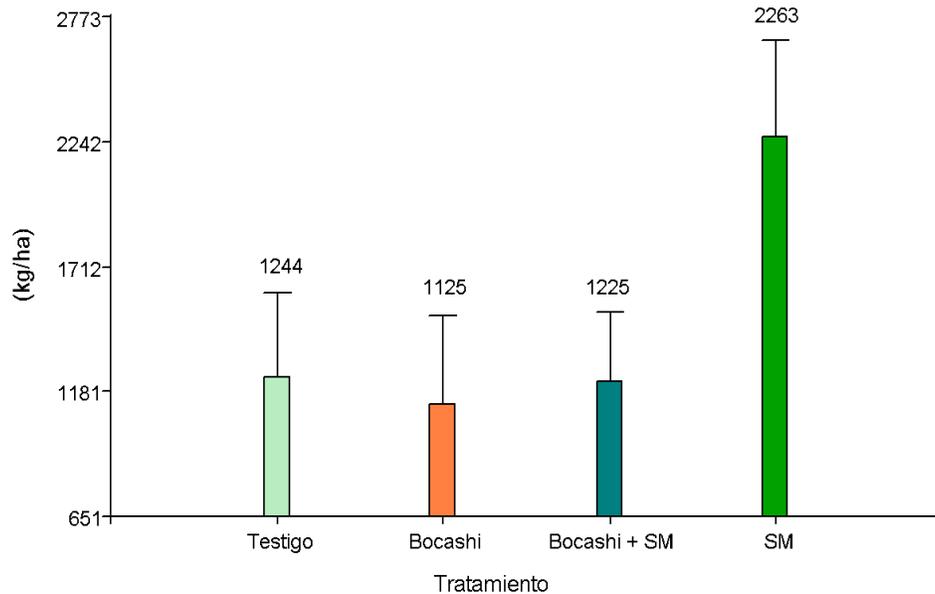


Figura VII-3. Rendimiento de algodón en bruto (kg/ha) para cada tratamiento.

Conclusiones generales

El algodón en sistemas agroecológicos propone un cambio de paradigma a la forma de producir convencional a gran escala. Los resultados demuestran que se puede alcanzar rendimientos normales a altos para la zona (MAGyP, 2020), acompañado de bioinsumos que fomentan la actividad microbiana y aumentan el stock de carbono del suelo, como son el bocashi y la solución madre de microorganismos, fortaleciendo así la diversidad funcional del agroecosistema, obteniendo plantas más vigorosas y mitigando el impacto de la labranza convencional. Por otra parte, esta propuesta fortalece vínculos y la economía de empresas familiares y cooperativas de bioinsumos de la provincia, que utilizan materiales locales para generar biofertilizantes de bajo costo; un aspecto fundamental del compromiso social que implica la agroecología como ciencia y práctica.

Al comparar el valor promedio de las prácticas de manejo sustentable (agroecología) con los valores de la parcela testigo, se aprecian diferentes respuestas para cada práctica:

En el caso del uso de Bocashi (Tabla VII-2), se puede apreciar un ligero incremento del carbono orgánico, aunque es bajo para ambas condiciones (testigo / bocachi); el resto de los indicadores es muy similar, con valores adecuados de densidad aparente y altos de respiración. De esta manera se consideró un medio Cumplimiento de las DVGSS.

Cuando se usó la solución Madre de Microorganismos (Tabla VII-3), se aprecia una respuesta bastante llamativa para la productividad (aumentó mayor de 80%), y leves incrementos en el caso del carbono orgánico y respiración (10 y 20%, respectivamente); mientras que en el caso de la densidad aparente se ven resultados muy similares y no limitantes. Con estos resultados se considera un Alto Cumplimiento de las DVGSS.

Tabla VII-2. Comparación de indicadores de la práctica de manejo sustentable de uso de Bocashi (B) con los valores de la parcela testigo.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad	Testigo	1244	1225		=
Carbono Orgánico (%COS)	Testigo	1,02	1,21		+
Densidad Aparente (Mg/m ³)	Testigo	1,27	1,26		=
Respiración de suelo (mg C-CO ₂ 1 kg ⁻¹ suelo por semana ⁻¹)	Testigo	1090,7	1035,33		=
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Medio Cumplimiento

Tabla VII-3. Comparación de indicadores de la práctica de manejo sustentable de uso de Solución Madre de Microorganismos (SM) con los valores de la parcela testigo.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad	Testigo	1244	2263		+
Carbono Orgánico (%COS)	Testigo	1,02	1,11		=/+
Densidad Aparente (Mg/m ³)	Testigo	1,27	1,29		=
Respiración de suelo (mg C-CO ₂ 1 kg ⁻¹ suelo por semana ⁻¹)	Testigo	1090,7	1210		=
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Alto Cumplimiento

Cuando se combinan los dos bioinsumos (B+SM) solo se aprecia un efecto ligeramente positivo en el contenido de carbono orgánico, incrementándose en un 10%. sin embargo, los otros indicadores se mantienen muy similares bajo las dos opciones de manejo (testigo / B+SM); de esta manera, se considera que se tiene un bajo cumplimiento de las DVGSS

Tabla VII-4. Comparación de indicadores de la práctica de manejo sustentable de uso de Bocashi + Solicitud Madre de Microorganismos (B+SM) con los valores de la parcela testigo.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad	Testigo	1244	1225		=
Carbono Orgánico (%COS)	Testigo	1,02	1,12		=/+
Densidad Aparente (Mg/m ³)	Testigo	1,27	1,23		=
Respiración de suelo (mg C-CO ₂ 1 kg ⁻¹ suelo por semana ⁻¹)	Testigo	1090,7	971,33		=
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Bajo Cumplimiento

La aplicación del protocolo de evaluación del manejo sostenible de suelos en este sitio piloto con varias prácticas, permitió determinar cual de ellas tiene mejor resultado, como el uso de la solución madre de microorganismos. Es importante además destacar que a pesar de no cumplirse en algunos casos las DVGSS, hubo una disminución de agroquímicos en todos los tratamientos (insecticidas y herbicidas) sin afectar el rendimiento de los cultivos o inclusive en un caso incrementándose.

Capítulo VIII. Evaluación y monitoreo de práctica de nivelación de suelos en lotes de producción bajo riego

Diego Gabriel Salas ⁽¹⁾

1 AER Añatuya-EEA Quimilí, Santiago del Estero (INTA)

Ubicación

El sitio de estudio se encuentra en Ruta Nacional 34 km 558, paraje de Cañitas Puerta (entre las localidades de Colonia Dora e Icaño), departamento Avellaneda, provincia de Santiago del Estero. Coordenadas geográficas -28,642291, -62,914150. Esta área se ubica dentro de la Estación Hídrica N° 5. Ver Figura VIII-1.

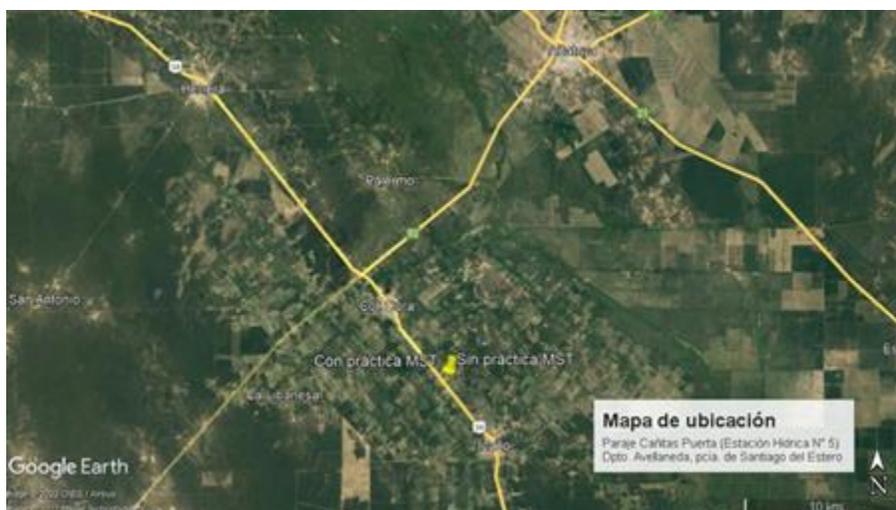


Figura VIII-1. Mapa de ubicación de la Estación Hídrica N° 5. Año 2020.

Breve descripción del Área agroecológica y sus principales procesos de degradación de tierras

Al no disponerse de datos climáticos de la zona de Colonia Dora, este sector de la zona de riego, se lo puede asimilar en muy buena medida, a las características generales de la zona de Añatuya, en el contiguo departamento de General Taboada, la cual se caracteriza por ser templado-cálido y semiárido. La temperatura promedio en julio de 12,9 °C (mes más frío), y en enero de 27,2 °C (mes más cálido), y medias extremas de -5 °C y 42,6 °C en los meses mencionados respectivamente. Las temperaturas diarias extremas pueden llegar a descender por debajo de -5 °C en julio, y superar los 45 °C en enero. El promedio anual es de 21,2 °C.

Las precipitaciones se concentran fuertemente en el semestre cálido, abarcando los meses de octubre a abril (88%), siendo los promedios del mes más seco, julio con 9 mm, y del más lluvioso, enero con 110 mm. La precipitación media anual es de 656 mm, con una amplia variación interanual de +/- 100 mm.

La demanda de agua por evapotranspiración supera en todos los meses del año el aporte de las lluvias, siendo la potencial media anual de 1443 mm.

Los vientos predominantes son de los sectores NE y SE, siendo los promedios del mes más ventoso (septiembre) con 12 km/h, y de 8 km/h en el mes menos ventoso (mayo).

La zona de riego de Colonia Dora se encuentra en la Llanura Aluvial del Río Salado, en una extensa área de aproximadamente 8.900 km², la cual se encuentra en mayor o menor medida influenciada por el curso del río Salado, de pendientes muy suaves, y en gran parte sujeta a anegamientos periódicos durante determinados meses del año debido a que el escurrimiento de las aguas no se encuentra definido o encauzado. Este problema motiva además el ascenso de la capa freática afectando así la zona de desarrollo radicular.

En las márgenes del río Salado se encuentra una miscelánea de suelos por la continua deposición de materiales finos.

Los aportes externos son provenientes de las zonas circunvecinas y del desborde del río Salado. La topografía es en general plana.

En las zonas afectadas por los desbordes periódicos, se acentúa la invasión por vinal (*Prosopis ruscifolia*).

La producción es básicamente agrícola. En términos generales, la superficie cultivada corresponde a un 70% de alfalfa para corte, y eventualmente semillas; 20% a algodón; y un 10% a cultivos hortícolas (cucurbitáceas, cebolla, etc.), maíz, sorgo o avena. Los rendimientos son muy dispares entre zonas e interanualmente, pero los datos observados arrojan cifras de 450-600 fardos/ha/año (20-25 kg/fardo), 1500-2000 kg/ha de algodón en bruto, 2000-4000 kg/ha de cucurbitáceas, 1500-2000 kg/ha de maíz. Cabe destacar que la ganadería se realiza en un mínimo porcentaje.

El riego se lleva a cabo con agua derivada del río Dulce, a través del canal de Jume Esquina, que transfiere agua en forma permanente al río Salado. La distribución se realiza por medio de una red de canales secundarios y terciarios que nacen a partir del Dique Nivelador o directamente del río.

El riego se realiza “por manto” o en melgas; se aplica en general una sola vez al año, a veces fraccionado en dos turnos, el primero durante marzo y el segundo en los meses de julio a agosto, aunque también existen años en que no se llegan a regar determinadas zonas. Normalmente se realiza sin la adecuada preparación de la tierra.

La Estación Hídrica N° 5, nombre asignado a la zona de riego, es un *área con problemas de drenaje, ya sea a nivel zonal o de predio, acentuados por los derrames e infiltraciones de los canales y del río que agravan la salinización de los suelos, variados problemas de infraestructura (trazado de canales, eficiencia, etc.), y la deficiente o escasa sistematización de los lotes de riego, al punto que en algunos sectores se abandonaron parcelas de cultivos. En la Figura VIII-2. Se puede observar la salinización de los lotes de producción.*



Figura VIII-2. Imagen satelital de los lotes experimentales, con y sin aplicación de prácticas de MST. Año 2020.

En la zona se observan distintos tipos de explotaciones con características diferenciales en cuanto a tipos de cultivos, tamaño de los predios, infraestructura, etc., predominando en un 70% de los casos, unidades de producción de menos de 100 has totales, explotadas por agricultores familiares.

Práctica de Manejo Sostenible de Tierras a evaluar

La práctica de MST que se desea evaluar, es la *nivelación de suelos en lotes de producción bajo riego tradicional por manto*.

La nivelación de suelos consiste en la realización de movimientos de tierra con la finalidad de lograr una superficie regable con una mejora en su topografía, tratando de lograr un micro relieve de mayor homogeneidad plani-altimétrico.

Para alcanzar ese objetivo, es que se nivelan sectores de la superficie de un lote que presenten alturas por sobre un nivel proyectado, mediante cortes, y por otra parte se procede a la realización de rellenos, en aquellos sectores por debajo de ese mismo nivel proyectado.

Mediante esta labor, se “decapita” el horizonte superficial del suelo, y por otra parte, se cubren sectores de relleno, existiendo una variabilidad de situaciones, en la medida que se mueven diferentes volúmenes de suelo, dependiendo de la topografía natural del terreno, y del nivel proyectado.

La metodología de trabajo empleada en el lote bajo estudio, se aplicó durante los años 2008 y 2009, y consistió en una primera instancia, en un relevamiento plani-altimétrico realizado mediante el empleo de un nivel óptico, producto del cual se obtuvo un plano de cortes y rellenos, en base a un nivel proyectado.

Luego, en otra instancia se procedió a la realización de los cortes y rellenos proyectados, mediante el empleo de una pala niveladora de tres puntos accionada por un tractor, obteniéndose un lote con una superficie nivelada. Figura VIII-3.

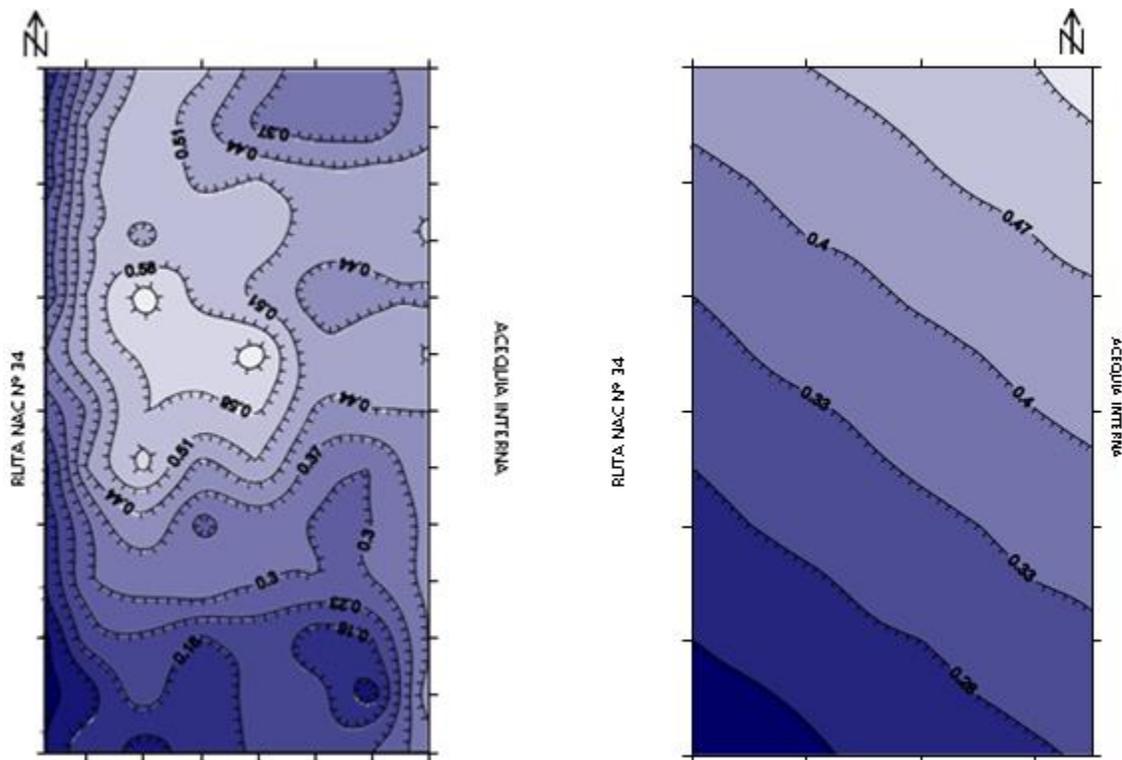


Figura VIII-3. A la izquierda, lote sin nivelación de suelo, y a la derecha, el mismo lote luego de aplicada la práctica de MST (nivelado). Años 2008-2009.

El trabajo realizado por el tractorista se consideró satisfactorio, permitiendo en una tercera instancia, proceder a una práctica de riego tradicional, habiéndose logrado una mejora observable en la eficiencia del riego, manifestado por una aplicación de mayor homogeneidad de la lámina de agua aplicada y reducción de los tiempos operativos.

Ahora bien, en última instancia, y desde el punto de vista productivo, la finalidad de las prácticas de nivelación y riego, apuntan al logro de cultivos de mayor rendimiento, y mejor calidad, aunque también se obtienen otros impactos directos e indirectos sobre diferentes dimensiones del sistema, a saber:

- Aumento de la superficie regable por lote y por finca
- Reducir la necesidad de agua de riego
- Reducir la necesidad de mano de obra para riego
- Reducir los costos de riego

- Contribuir a una mejora en la gestión operativa del riego en la zona
- Reducir los procesos de salinización de suelos
- Posibilitar algunas prácticas de recuperación de suelos salinizados
- Posibilitar la implantación de cultivos alternativos y de mayor rentabilidad

En las Figuras VIII-4 y VIII-5 se observa el estado de los cultivos de alfalfa, de un lote contiguo al lote nivelado (sin práctica de MST), y el lote nivelado (con práctica de MST).



Figura VIII-4. Lote de producción de alfalfa bajo riego tradicional, sin aplicación de práctica de MST. Fecha julio de 2022.



Figura VIII-5. Lote de producción de alfalfa bajo riego tradicional, con aplicación de práctica de MST. Fecha julio de 2022.

Transcurridos 13 años desde la realización de la práctica de nivelación, considerada como una práctica de MST, se consideró oportuno evaluar algunos indicadores de suelo para trazar una línea de base para eventuales mediciones futuras, y realizar una comparación con un lote testigo sin práctica de nivelación.

Por otra parte, durante este período de tiempo podría haberse producido la estabilización de la actividad biológica normal del suelo, luego del disturbio ocasionado por el movimiento de tierra.

El Protocolo de Evaluación del Manejo Sostenible de Suelos y Agua de FAO prevé la medición de los siguientes indicadores obligatorios:

- Productividad
- Carbono orgánico del suelo
- Densidad aparente
- Respiración edáfica

Para cumplir con estos indicadores obligatorios en cada sitio se aplicó el mismo protocolo que se usó en el PE-i040 diseñado para tierras agropecuarias.

En la Tabla 1. Se presentan los resultados de los indicadores de suelo medidos para los diferentes sitios (nivelado, y no nivelado).

Tabla VIII-1. Indicadores de suelo medidos en el sitio nivelado (TA-QU-110 (P)) y el nonivelado (TA-QU-110)

Sitio	Prof. (cm)	Carbono orgánico (%)	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g cm ³)	Respiración (C-CO ₂ kg ⁻¹ semana ⁻¹)
TA-QU-110	0-10	1,5	2,60	1,14	517,8
	10-30	0,6	1,10	1,31	243,0
TA-QU-110 (P)	0-10	1,4	2,40	1,16	595,1
	10-30	0,6	1,15	1,27	347,0

Se puede observar que los valores de C orgánico prácticamente fueron similares entre el tratamiento testigo y la parcela nivelada, lo mismo que para el caso de la densidad aparente. Para el caso de la respiración de suelo se puede observar un incremento en la parcela nivelada (Figura VIII-6), posiblemente debido a que el agua ingresó al suelo en forma más eficiente y esto pudo haber favorecido a la actividad microbiológica. En la profundidad de 0-10 cm el incremento en la respiración de suelo fue del 15% y en la profundidad de 10-30 cm fue del 70% debido al uso de la práctica conservacionista.

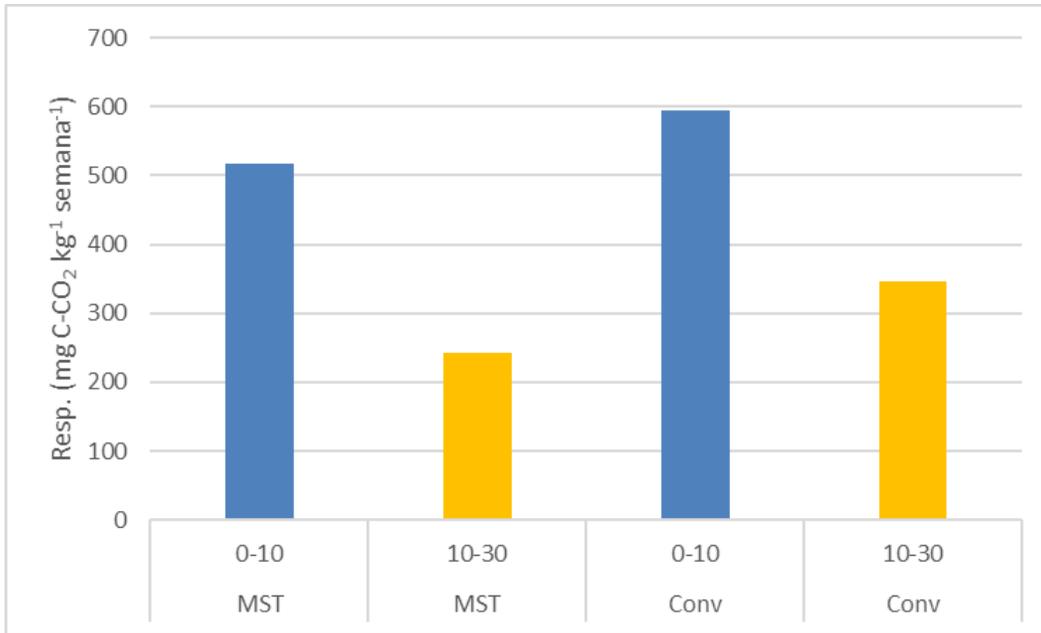


Figura VIII-6. Respiración de suelo por tratamiento y profundidad (0-10 y 10-30 cm). MST: práctica conservacionista (Nivelación de suelo) y conv: manejo convencional.

Con respecto a la producción de forraje de cada uno de los tratamientos, el lote sin nivelar tuvo un rendimiento anual de 11500 kg/ha de heno de alfalfa enfardada y para el caso del tratamiento nivelado se obtuvo un rendimiento de 13800 kg/ha de heno de alfalfa enfardado (Figura VIII-7), es decir que hubo un incremento del rendimiento del 20% debido a la mejora en la eficiencia del uso del agua.

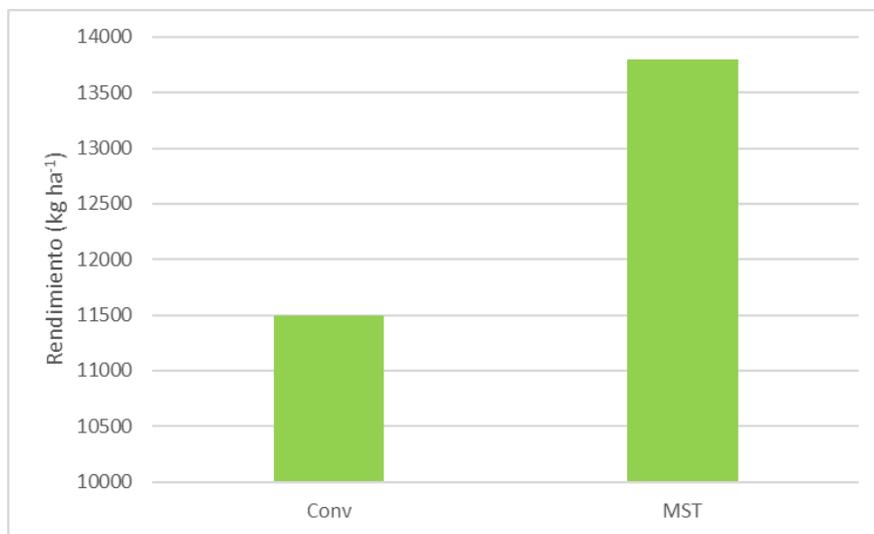


Figura VIII-7. Rendimiento de la pastura de alfalfa en kg ha⁻¹ por tratamiento. MST: manejo conservacionista; conv: manejo convencional.

Esta mayor producción de forraje se obtuvo por una mayor eficiencia del uso del agua en el terreno y además a la posibilidad de aprovechar una mayor superficie cultivable por lote, y poder hacer un riego parejo en toda esa superficie.

Conclusiones generales

Resumiendo, con respecto a los indicadores de manejo, se observa que la productividad y la respiración edáfica es superior en el sitio donde se aplicó la práctica de MST (TA-QU-110 (P), con respecto a la situación testigo, sin nivelación de suelo (TA-QU-110). Con respecto al contenido de C y la densidad aparente no se observaron cambios, aunque en un mayor plazo de tiempo se esperaría que el C se incremente debido a la mayor producción de biomasa vegetal.

En este caso en particular, hubiese sido interesante incluir un indicador de salinidad de suelo como la conductividad eléctrica. Sin embargo, con los resultados obtenidos en relación a la productividad y respiración basal de suelo se considera un Medio Cumplimiento de las DVGSS.

Tabla VIII-2. Comparación de indicadores de la parcela con práctica de manejo sustentable (nivelación) con los valores de la parcela testigo.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad	Testigo	13800	11500		+
Carbono Orgánico (%COS)	Testigo	1,00	1,05		=
Densidad Aparente (Mg/m³)	Testigo	1,22	1,22		=
Respiración de suelo (mg C-CO₂ 1 kg⁻¹ suelo por semana⁻¹)	Testigo	942,1	760,8		+
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Medio Cumplimiento

Capítulo IX. Pastoreo Racional Voisin (PRV) en el centro de la Provincia del Chaco

Osurak, Javier; Caballero, Enzo; Lértora, Raúl; Goytía, Yanina; Roldán, Florencia; Rojas, Julieta

Ubicación

Departamento Quitilipi, Colonia Rural El Palmar. Coordenadas: 26°26'39.82"S, 60°10'24.70"O; 26°26'45.20"S, 60°10'23.56"O

Área agroecológica

El trabajo se realizó dentro del Departamento Quitilipi, en la Provincia del Chaco, Argentina. La temperatura media anual del Departamento es de 21-22°C, siendo la media del mes de julio de 15°C y la del mes de enero de 26-28°C. La precipitación media anual es de 900-930 mm con una marcada concentración en primavera- verano, el período seco es entre junio y septiembre, con un marcado déficit hídrico en verano. La altitud es de 85-90 msnm con pendiente leve NO-SE.

Su vegetación natural está compuesta por bosques altos cerrados, muchos de los cuales se han sometido a deforestación; y pastizal, gramillar o pajonal en terrenos más bajos donde dominan las arcillas lacustres. También se encuentran áreas de palmares.

En el departamento se encuentra una amplia diversidad de tipos de suelo: suelos de loess como material originario, aluviales locales de textura media y pesada y arcillas lacustres en relieves cóncavos. Existen manchones de suelos salinos o con tendencia a salinizarse, en general confinados a relieves deprimidos (Ledesma, 1981). Los sistemas de producción predominantes son agrícolas y ganaderos, con grandes problemas de degradación como erosión hídrica, erosión eólica en suelos arenosos y compactación superficial por el bajo nivel de rotación y descanso y el exceso de uso de maquinaria pesada o labranza. Por otra parte, existe gran carga de agroquímicos en los planteos agrícolas, principalmente herbicidas en agricultura bajo siembra directa.

Principales procesos de degradación de tierras

Los principales procesos de degradación de tierras que ocurren en sistemas de pastoreo continuo son la *pérdida de biodiversidad*, *disminución de la cobertura vegetal*, *la compactación de suelos* y *la alteración del ciclo hidrológico*. Este tipo de sistema, al mantener los animales de

forma permanente a lo largo de todo el año en el mismo potrero, impide la recuperación de las matas de las especies forrajeras, por el consumo continuo y selectivo del rebrote, provocando pérdida de la diversidad de especies nativas y mayor presencia de malezas. Por otra parte, el pisoteo animal continuo disminuye la cobertura vegetal del suelo y el aporte de materia orgánica, provocando manchones de suelo desnudo (peladales), el cual se compacta y disminuye su fertilidad física, afectando negativamente la capacidad de almacenaje y suministro de agua y nutrientes al suelo y al ciclo hidrológico en general. Asimismo, promueve procesos de erosión eólica e hídrica.

La oferta forrajera baja influye en la sustentabilidad del paisaje y también en la rentabilidad de la ganadería, principalmente en el caso de pequeños y medianos productores, que necesitan especialmente en períodos de sequía invernal, tener alta disponibilidad para mantener la condición corporal de los animales. Por otra parte, en regiones agrícolas donde existe producción mixta, muchos lotes tienen entre 50 y 80 años bajo producción agrícola y se encuentran muy degradados por la extracción permanente de nutrientes de los cereales u oleaginosas predominantes (maíz, soja, algodón, girasol) y la baja reposición. Se conoce que la implantación de pasturas y la promoción de pastizales naturales, son prácticas de manejo que permiten reponer la fertilidad química, física y biológica del suelo del suelo.

Práctica de Manejo Sostenible de Tierras a evaluar

La práctica de manejo sostenible de tierras (MST) a evaluar la mejora de la gestión de los pastos a través del Pastoreo Racional Voisin (PRV), que es un sistema ganadero holístico donde se utiliza alta carga animal por poco tiempo (1 a 4 días dependiendo de la temporada). Consiste en dividir el campo en parcelas que varían en tamaño, donde cada día se cambian de lugar a los animales, para que las parcelas desocupadas puedan recuperar la calidad y a su vez lograr la implantación natural de forrajeras nativas como resultado de la regeneración del suelo y el descanso de la parcela. En este planteo se elimina el uso de todo tipo de agroquímicos de síntesis: herbicidas, insecticidas, fertilizantes y se minimiza el uso de maquinaria pesada promoviendo la tecnología de procesos ecológicos y la menor dependencia de insumos externos al predio. También se elimina el uso de antibióticos en los animales como una estrategia para fomentar la aparición de escarabajos estercoleros. Todas las prácticas tienen como objetivo estimular la biocenosis o la vida en el suelo.

La evaluación se realizó en dos lotes de producción con diferentes períodos de tiempo del inicio de la práctica desde que se destinaron al PRV: una con 3 años de rotación de animales desde que se comenzó la práctica (PRV A) y otra con 2 años desde su inicio (PRV B), ambos se

compararon con un lote contiguo destinado a pastoreo continuo (PCo), correspondiente al mismo Subgrupo de suelo. Se considera que actualmente los lotes se encuentran en el 50-60% del potencial al que se puede llegar con PRV. Al comenzar el PRV se pasó una rastra de disco y se sembró avena en suelos con más de 20 años de ganadería. Se presentan los datos de suelo y transectas tomados en marzo de 2022.

El suelo presente es un *Argiustol Údico* que se encuentra en lomas medias tendidas de relieve normal, de textura arcillo limosa, con gran tendencia a compactarse por el manejo intensivo, cuyo horizonte A llega a 34 cm, seguido de un horizonte Bt hasta los 72 cm de profundidad. En cada sitio se establecieron 3 transectas de 15 m de longitud, separadas por 10 m entre sí, donde se relevaron datos de vegetación y se tomaron 2 muestras de suelo compuestas por 3 submuestras, a 0-10 y 10-30 cm, tomadas a 1 m de distancia del punto central de cada transecta.



Figura IX-1. Imagen satelital de los puntos evaluados de PRV con tres años (PRV A), dos años (PRV B) y pastoreo continuo (P Co).



Figura IX-2. Sistema de PRV con 3 años (PRV A) - Marzo 2022.



Figura IX-3. Sistema PRV con 2 años (PRV B) - Marzo 2022.



Figura IX-4. Sistema de pastoreo continuo (P Co) - Marzo 2022.

Resultados de los indicadores de suelo

Tabla IX-1. Indicadores de suelo medidos para los sitios evaluados.

Sitio	Profundidad (cm)	Carbono orgánico (%)	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g.cm ⁻³)	Respiración (mg C. 1 kg suelo seco)	Stock CO (t. ha ⁻¹) profundidad constante	Stock CO (t. ha ⁻¹) masa equivalente de suelo 3893 t
PRV A 2022	0 - 10	1,27	2,18	1,301	840	44,68	43,79
	10 – 30	1,07	1,84	1,323	290		
PRV B 2022	0 - 10	1,58	2,72	1,145	730	55,85	55,86
	10 – 30	1,38	2,37	1,374	750		
P Co	0 - 10	0,82	1,41	1,348	1390	26,06	25,30
	10 – 30	0,58	1,00	1,297	1060		

PRV A: Pastoreo racional Voisin con 3 años de rotación de animales desde que se comenzó la práctica; PRV B: Pastoreo racional Voisin con 2 años desde su inicio la práctica; PCo: pastoreo continuo tradicional.

Con respecto a los indicadores de suelo, el que se incrementó en mayor medida debido a la mejora en la gestión del pasto fue el C orgánico que en promedio aumentó un 100% en la profundidad de 0-30cm (Figuras IX-5 y IX-6).

La densidad aparente presentó valores cercanos a 1.3 g.cm⁻³ en todos los tratamientos y estratos, salvo en el caso de la profundidad entre 0-10 cm para el PRVB, donde se observaron valores un poco menores (1.5 g.cm⁻³) (Figura IX-7).

La respiración microbiana, aunque se mantuvo en valores altos, disminuyó debido a la mejora del manejo del pasto, esto quizás se deba a que al incrementarse la cobertura del suelo y el sombreado del mismo puede haber un descenso de la temperatura y eso puede llegar a disminuir la respiración edáfica (Figura IX-8).

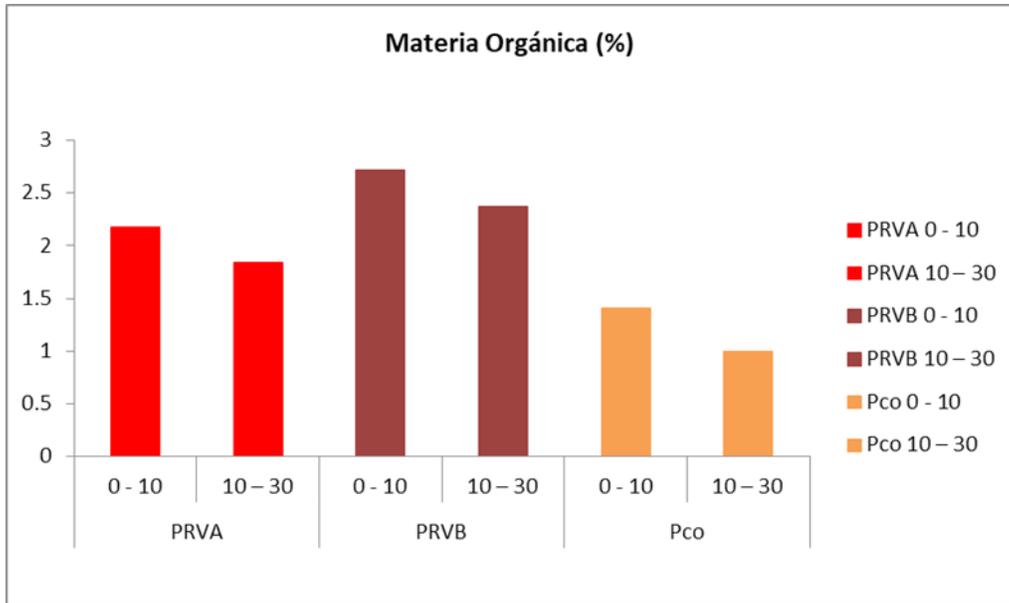


Figura IX-5. Materia Orgánica (MO) (%) en los sitios evaluados - Marzo 2022. PRV A: Pastoreo racional Voisin con 3 años de rotación de animales desde que se comenzó la práctica; PRV B: Pastoreo racional Voisin con 2 años desde su inicio la práctica; PCo: pastoreo continuo tradicional.

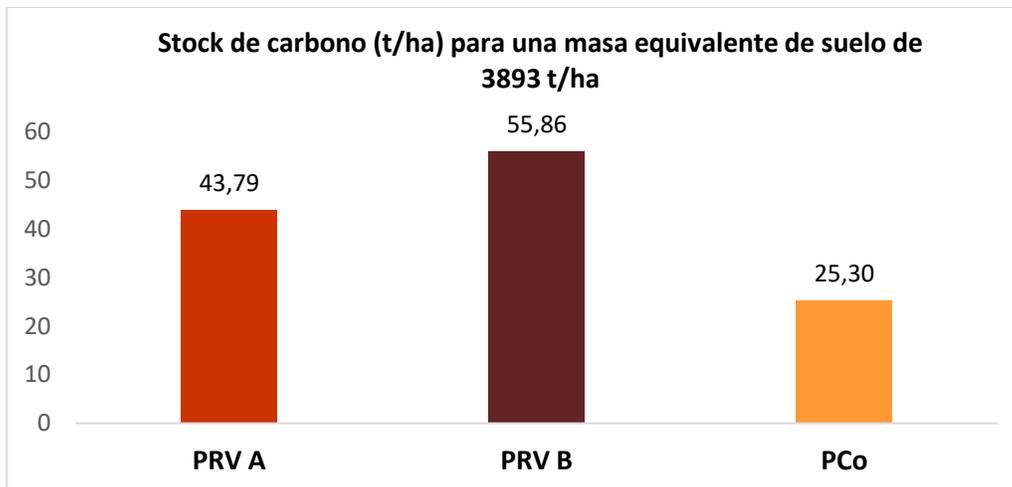


Figura IX-6. Stock de carbono en los sitios evaluados - Marzo 2022. PRV A: Pastoreo racional Voisin con 3 años de rotación de animales desde que se comenzó la práctica; PRV B: Pastoreo racional Voisin con 2 años desde su inicio la práctica; PCo: pastoreo continuo tradicional.

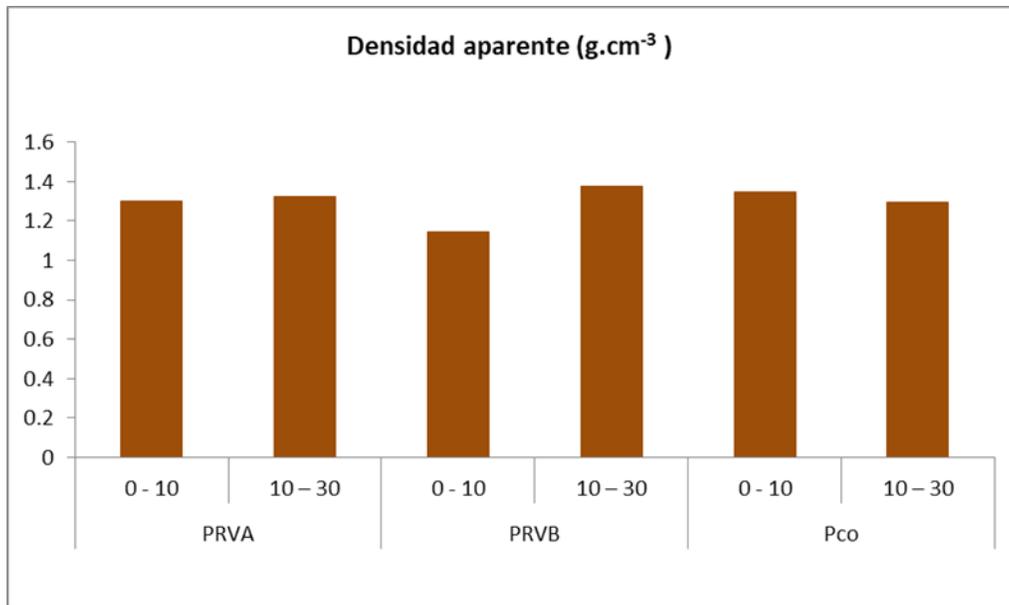


Figura IX-7. Densidad aparente (g.cm^{-3}) en los sitios evaluados - Marzo 2022. PRV A: Pastoreo racional Voisin con 3 años de rotación de animales desde que se comenzó la práctica; PRV B: Pastoreo racional Voisin con 2 años desde su inicio la práctica; PCo: pastoreo continuo tradicional.

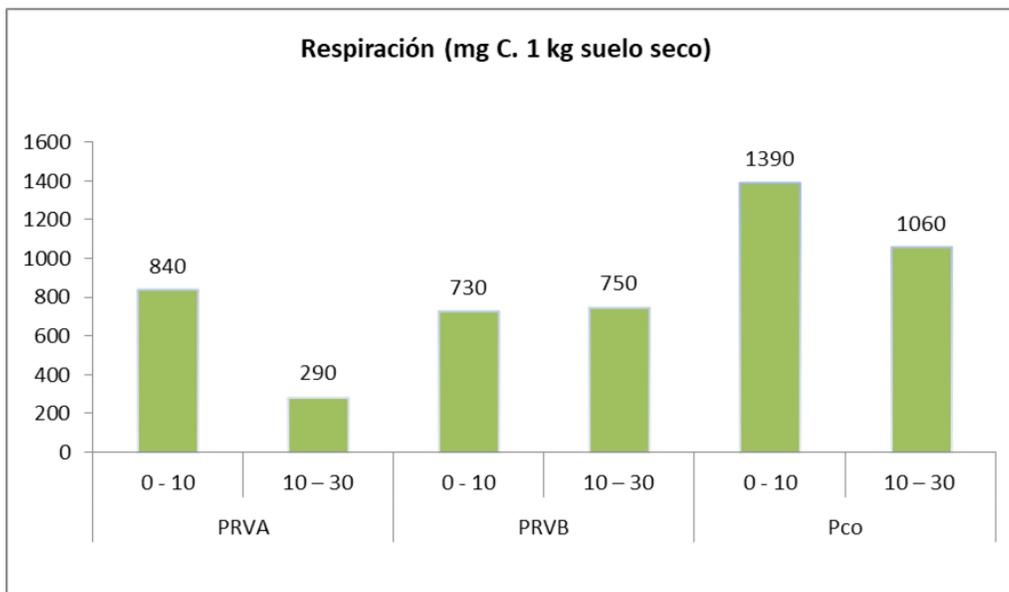


Figura IX-8. Respiración edáfica ($\text{mg C. 1 kg suelo seco}$) en los sitios evaluados - Marzo 2022. PRV A: Pastoreo racional Voisin con 3 años de rotación de animales desde que se comenzó la práctica; PRV B: Pastoreo racional Voisin con 2 años desde su inicio la práctica; PCo: pastoreo continuo tradicional.

Productividad y estado de la cobertura vegetal

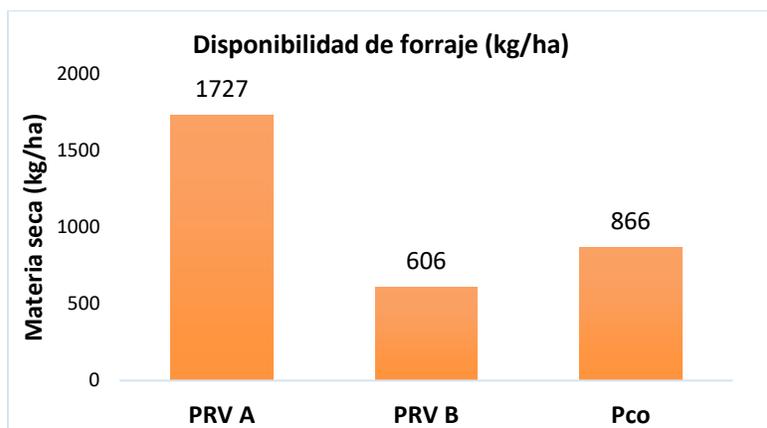


Figura IX-9. Disponibilidad de forraje medida en cada sitio - Marzo de 2022. PRV A: Pastoreo racional Voisin con 3 años de rotación de animales desde que se comenzó la práctica; PRV B: Pastoreo racional Voisin con 2 años desde su inicio la práctica; PCo: pastoreo continuo tradicional.

Tabla IX-2. Cobertura basal, altura de plantas y suelo desnudo en las parcelas evaluadas.

Sitio	Cobertura basal (%)	Altura de plantas (cm)	Suelo desnudo (%)
PRV A 2022	75	25,19	9,72
PRV B 2022	68,75	26,62	34,88
PCo	43,2	25	36,84

PRV A: Pastoreo racional Voisin con 3 años de rotación de animales desde que se comenzó la práctica; PRV B: Pastoreo racional Voisin con 2 años desde su inicio la práctica; PCo: pastoreo continuo tradicional.

Los valores de producción de materia seca de la pastura se encuentran por debajo del promedio nacional de la Argentina que es de 2800 kg ha⁻¹ (OECD DATA, 2018). Sin embargo luego de 3 años de la mejora en la gestión del pasto se pudo observar un incremento de la productividad de la pastura acercándose a ese valor promedio nacional.

Con respecto a la diversidad de especies, en PRV A se encontraron 10 especies, en PRV B 12 especies y en el PCo 6 especies, indicando mayor diversidad de especies en los PRV respecto a un manejo tradicional. En la tabla siguiente se detalla el número de plantas observadas de cada especie en las 3 transectas evaluadas para cada sitio en 2022.

Tabla IX-3. Número de plantas observadas por especie en cada sitio.

Clase	Nombre/género del ejemplar hallado	PRV A	PRV B	P Co
Liliópsidas	Gramínea indeterminada. (panoja)	2	2	3
	Gramínea indeterminada (lígula entera)		1	1
	<i>Setaria parviflora</i>		2	
	<i>Eragrostis sp.</i>	3	2	2
	<i>Pterocaulon sp.</i>	3	2	
	<i>Chloris sp.</i>	2	3	
	<i>Desmanthus depressus</i>	1	2	
	<i>Digitaria sp.</i>	1		2
	<i>Eleusine tristachya</i>		2	
Magnoliópsidas	<i>Parthenium hysterophorus</i>	2		
	<i>Eupatorium sp.</i>		1	1
	Malvácea	2		
	<i>Desmanthus virgatus</i>	1		
	<i>Rhynchosia (folíolos anchos)</i>	1		
	<i>Verbena sp.</i> (verbena)		1	
	<i>Rhynchosia senna</i>		1	
	Leguminosa indeterminada			1
	Especie indeterminada		1	
Cantidad de plantas totales		18	20	10

Conclusiones generales

El mayor stock de carbono, la mayor disponibilidad de forrajes y cobertura basal, junto a un mayor número de especies presentes en el PRV indican que el pastoreo racional puede ser una herramienta de manejo eficiente del pasto que fomenta la regeneración del paisaje y el suelo a través de los cambios en la cobertura y la conservación de la materia orgánica, reduciendo a la

vez la dependencia de insumos externos y estableciendo las condiciones para el equilibrio del agroecosistema.

Al comparar los valores de los indicadores del manejo sustentable utilizando el PRV durante 3 años, con los valores de referencia del testigo (Tabla IX-4), se pudo observar un aumento de la productividad como el C orgánico del suelo. Los valores de densidad aparente indican que no hay compactación en ninguno de los tratamientos; y finalmente la respiración a pesar de ser menor al tratamiento convencional, los mismos se mantuvieron dentro de valores medios a altos; concluyendo que a los 3 años de aplicación del PRV se tiene un Medio Cumplimiento de las Directrices Voluntarias de Gestión Sostenible de Suelos (DVGSS).

Tabla IX-4. Comparación de indicadores de la parcela con práctica de manejo sustentable aplicada por 3 años (PRVA) con los valores de la parcela testigo.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad (kg/ha)	Testigo	1727	866		+
Carbono Orgánico (%COS)	Testigo	1,17	0,7		+
Densidad Aparente (Mg/m³)	Testigo	1,31	1,32		=
Respiración de suelo (mg C-CO₂ 1 kg⁻¹ suelo por semana⁻¹)	Testigo	565	1225		-
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Medio Cumplimiento

Al comparar los valores de los indicadores de suelo en el sitios con 2 años de PRV contra el testigo, se apreció una buena respuesta en el contenido de COS y valores de densidad aparente en rangos normales; sin embargo, los valores de respiración edáfica y productividad fueron menores después de 2 años de aplicado el PRV; concluyendo que en este caso hay un Bajo Cumplimiento de las DVGSS (Tabla IX-5).

Estos resultados indican que posiblemente se tiene poco tiempo de aplicación del PRV para observar resultados más contundentes de los indicadores.

Tabla IX-5. Comparación de indicadores de la parcela con práctica de manejo sustentable aplicada por 2 años (PRVB) con los valores de la parcela testigo.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad (kg/ha)	Testigo	606	866		-
Carbono Orgánico (%COS)	Testigo	1,48	0,7		+
Densidad Aparente (Mg/m ³)	Testigo	1,26	1,32		=
Respiración de suelo (mg C-CO ₂ 1 kg ⁻¹ suelo por semana ⁻¹)	Testigo	740	1225		-
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Bajo Cumplimiento

Capítulo X. Cultivos de cobertura en agricultura extensiva en la región semiárida central argentina

Francisco Murray¹; Juan Cruz Colazo^{1,2}; Marcelo Bongiovanni²

1-INTA San Luis, 2- FICA-UNSL.

Ubicación

Provincia de San Luis, Departamento Chacabuco, Localidad de Tilisarao. Coordenadas -32,671, -65,246.

Área agroecológica

El sitio se encuentra en un ecotono entre Chaco Árido y Espinal, con un clima semiárido templado con temperaturas medias estacionales de 8 a 23 °C, 690 mm de lluvia anual concentrada en noviembre-marzo, una evapotranspiración potencial de 800 mm, vientos predominantes del N, S y SO de hasta 15 km/h de velocidad media y un período libre de heladas de 240 días. Se ubica a 720 msnm en una planicie de sedimentos fluvio-eólicos y relieve ondulado, dentro de una gran depresión enmarcada por las sierras de San Luis y Comenchingones. Predominan Haplustoles profundos poco desarrollados de texturas francas a franco-arenosas en las lomas, con baja capacidad de retener humedad, materia orgánica moderada, y muy susceptibles a procesos de erosión eólica severa. Cubierto originalmente por bosques de *Prosopis flexuosa*, *Aspidosperma quebracho-blanco* y *Prosopis caldenia*, en la actualidad su extensión se redujo significativamente, en muchos casos degradados por fuego y tala selectiva o relictos aislados. En su lugar predominan cultivos anuales extensivos de maíz y soja, y en menor medida sorgo, girasol, maní y cereales de invierno. La cría y recría bovina también es una actividad tradicional en la zona, por lo que en muchos casos los cultivos de grano se destinan para consumo animal mediante sistemas de engordes a corral o pastoreo directo, y también se cultivan como forrajeras alfalfa, pasto llorón, centeno y sorgo forrajero.

Descripción de los principales procesos de degradación de tierras

La agricultura en la zona se inicia en la década de 1920-30, con un sistema de secano con rotación de lotes con cultivo y ganadería extensiva. Hasta el año 2000 predominan cultivos de cosecha, primero trigo, y luego maíz, sorgo, y girasol, con verdeos de verano e invierno para uso

ganadero, más alfalfa en algunos casos. Este uso continuo con laboreos intensivos para la implantación de los cultivos determinó la pérdida de materia orgánica, nutrientes y la estructura de los suelos, con procesos de formación de pisos de arado y voladuras de suelo generalizadas en los períodos secos a nivel regional. A partir de la campaña 2000-2001 en algunos lotes se introduce la tecnología de siembra directa sobre rastrojos, con variedades transgénicas de mayor rendimiento y agroquímicos, pasando a un sistema de agricultura permanente, principalmente con rotación de maíz y soja. Por la concentración estival de las lluvias, esto implica la supresión de la vegetación durante todo el período otoño-invernal para asegurar la disponibilidad de agua edáfica. En este contexto, la pérdida progresiva de rastrojo en superficie y discontinuidad de aportes de materia orgánica al suelo puede dar lugar a procesos de erosión hídrica y eólica, compactación y pérdida de macro-porosidad. Todo esto compromete la infiltración y disponibilidad de agua para los cultivos, condicionando menores rendimientos y eficiencia de utilización de los recursos.

Práctica de Manejo Sostenible de Tierras a evaluar:

La práctica a evaluar se denomina “cultivos de cobertura” (CC), también llamados “cultivos de servicio”. Se siembran en el otoño cubriendo el bache invernal entre dos cultivos de cosecha estivales, sin ser incorporados al suelo (a diferencia de los abonos verdes), ni henificados y con nulo o muy leve pastoreo (a diferencia de los verdeos), y son disecados con herbicida en primavera previo a la temporada de lluvias (Figura X-1). De esta manera, la biomasa aérea queda en superficie generando una cubierta que contribuye con la reducción de la erosión, atenuación de la temperatura del suelo, control de malezas, y aporte de nutrientes, entre otros. Mientras que su biomasa de raíces impacta positivamente sobre la estructura (macroporosidad y construcción de materia orgánica), la dinámica hídrica, la captura de nutrientes principalmente móviles, y la biota del suelo. La selección de la especie, el estado fenológico y el momento del secado son los aspectos de manejo más importantes que determinan los beneficios y costos asociados al agua remanente en el suelo para el cultivo de cosecha sucesor. Asimismo, dada la variabilidad de las lluvias entre años, es una práctica que sólo se realiza eventualmente en aquellas temporadas en que se dispone de excesos de humedad en el suelo al momento de siembra, que permitan el crecimiento del CC durante la época seca invernal.

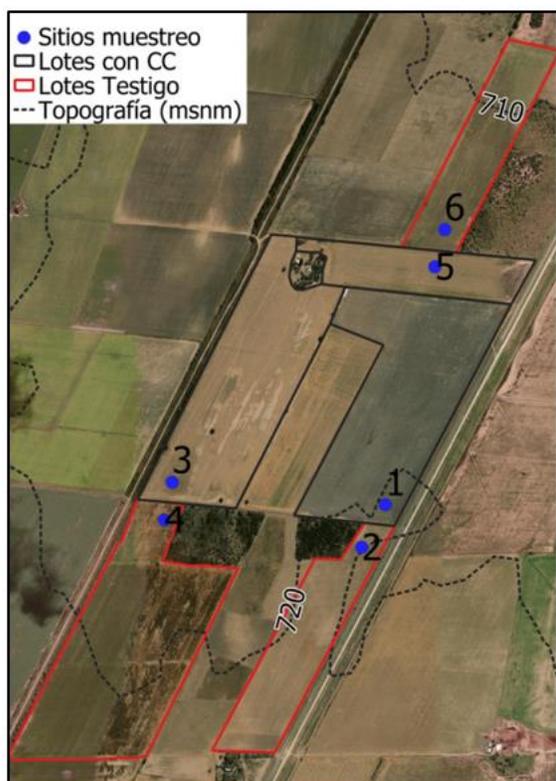


Figura X-1. Cultivos de cobertura en otoño-invierno, luego del cultivo de cosecha estival, en sistemas de agricultura continua donde se aplica la tecnología de siembra directa sobre rastrojos (izquierda: cultivo antecesor soja, derecha: cultivo antecesor maíz).

Esta biomasa acumulada protege de la erosión y malezas, a la vez que incorpora raíces y materia orgánica al suelo. Si bien en los años húmedos también atenúa las pérdidas de agua en profundidad y el riesgo de salinización secundaria por ascenso de napas, en años secos puede afectar negativamente las reservas de agua y rinde del próximo cultivo estival, por lo que resulta clave su secado con herbicidas a fin del invierno. En la imagen de la izquierda se puede observar de fondo la vegetación leñosa original remanente, y las sierras centrales de San Luis.

En la Figura X-2 se observa el muestreo de indicadores de suelo (densidad aparente, respiración microbiana, y contenido de carbono-materia orgánica) y productividad (NDVI promedio 2017-2022 y rinde de cosecha) se realizó en forma apareada CC-testigo, en lotes no experimentales (Figura X-2). En la Tabla X-1 se muestra la descripción de la rotación estacional de cultivos de cada año en los lotes. En el caso de los cultivos de cobertura, se trata de lotes donde se realiza esta práctica de manera eventual hace 8-9 años (lotes 1, 3 y 5), utilizando diversas especies invernales. Los cultivos se manejan siguiendo el paquete tecnológico asociado a la siembra directa (herbicidas, genética y fertilización), alternando soja/maíz entre años. En el caso de los lotes testigo, en un caso se realiza desde hace 10 años un sistema de cultivo también alternando soja/maíz y con tecnología de siembra directa similar al anterior (lote 4), pero con un barbecho químico que permanece limpio de malezas y sólo cubierto con los rastrojos en superficie durante el invierno, sin CC. En los otros dos casos (lotes 2 y 6), se realiza históricamente un sistema de cultivo tradicional con laboreos intensivos mediante arado de rastra, con cultivos de cosecha o verdeos destinado a pastoreo directo, usualmente asociado a menores rindes, más malezas y pisoteo animal.

Tabla X-1. Rotación estacional de cultivos en cada año. S:soja; M:maíz; CC: cultivo de cobertura, a:centeno, b: cebada, c: triticale, d:melilotus; e:trigo.



Fecha	Lotes con CC			Testigo		
	1	3	5	2	4	6
Inv 2013	-	-	CCc			
Ver 2014	S	S	M			
Inv 2014	CCab	CCbc	-			
Ver 2015	M	S	S			
Inv 2015	-	CCe	CCe			
Ver 2016	S	M	M			
Inv 2016	CCa	-	-	n/a	n/a	n/a
Ver 2017	M	S	S			
Inv 2017	CCab	-	CCb			
Ver 2018	S	M	M			
Inv 2018	-	-	CCa			
Ver 2019	M	S	S			
Inv 2019	-	CCa	CCa			
Ver 2020	S	S	M	MP	S	MP
Inv 2020	CCa	-	-	-	-	-
Ver 2021	M	M	S	MP	M	MP
Inv 2021	CCabc	-	CCad	-	-	-
Ver 2022	S	SG	M	MP	S	MP
Frec. CC	5/9	3/9	6/9	0	0	0
Inicio	8 años	8 años	9 años	-	-	-
Último	1 año	3 años	1 año	-	-	-

Figura X-2 Ubicación de los sitios muestreados en lotes con cultivos de cobertura (“CC”) y lotes testigo pareado. Todos con siembra directa excepto en MP en que se remueve el suelo con arado. “-”: no se realizaron cultivos en ese período invernal. “n/a”: sin datos disponibles, se estima un manejo tradicional, similar al de los últimos años.

Principales resultado

En los lotes que tuvieron cultivos de cobertura (CC) se observó un mayor contenido de carbono orgánico total, por mayores contenidos en profundidad (10-30 cm, Figura X-3), coincidentes con una mayor productividad de la vegetación estimada mediante NDVI (Tabla X-2). Estos resultados coinciden con los reportados por Blanco-Canqui (2022), quien encontró un incremento del stock de carbono relacionado con la biomasa aportada por el cultivo y los años de ésta práctica. No se observaron diferencias importantes en densidad aparente y respiración, coincidiendo parcialmente con la revisión realizada por Blanco-Canqui y Ruis (2020), en la que no se encontró efecto de los CC sobre propiedades físicas de suelo como la densidad aparente.

Tabla X-2: indicadores de suelo y productividad de lotes apareados con cultivo de cobertura (cc) y testigo. El NDVI promedio (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) se estimó para el período invierno 2017- verano 2022 (últimos 5 años).

Par	Trat.	Prof. (cm)	DA (tn m ⁻³)	Resp. (mg C-CO ² 1 kg ⁻¹)	C (%)	SOC (tn ha ⁻¹)	MO (%)	NDVI Prom.
Lotes 1-2	cc	0-10	1,41	275	0,47	6,63	0,80	0,398 (+36%)
Lotes 1-2	cc	10-30	1,39	214	0,46	12,79	0,79	
Lotes 1-2	cc	Tot 0-30	1,40	234	0,46	19,42	0,80	
Lotes 1-2	testigo	0-10	1,16	288	0,86	10,00	1,49	0,293
Lotes 1-2	testigo	10-30	1,44	237	0,35	10,08	0,60	
Lotes 1-2	testigo	Tot 0-30	1,35	254	0,52	20,08	0,90	
Lotes 3-4	cc	0-10	1,35	277	0,63	8,51	1,09	0,411 (+11%)
Lotes 3-4	cc	10-30	1,48	120	0,44	13,02	0,76	
Lotes 3-4	cc	Tot 0-30	1,44	172	0,50	21,53	0,87	
Lotes 3-4	testigo	0-10	1,33	236	0,43	5,72	0,74	0,369
Lotes 3-4	testigo	10-30	1,33	113	0,33	8,78	0,57	
Lotes 3-4	testigo	Tot 0-30	1,33	154	0,36	14,50	0,63	
Lotes 5-6	cc	0-10	1,39	234	0,72	10,01	1,24	0,366 (+8%)
Lotes 5-6	cc	10-30	1,49	255	0,71	21,16	1,22	
Lotes 5-6	cc	Tot 0-30	1,46	248	0,71	31,17	1,23	
Lotes 5-6	testigo	0-10	1,39	270	0,74	10,29	1,28	0,337
Lotes 5-6	testigo	10-30	1,44	217	0,3	8,64	0,52	
Lotes 5-6	testigo	Tot 0-30	1,42	234	0,45	18,93	0,77	

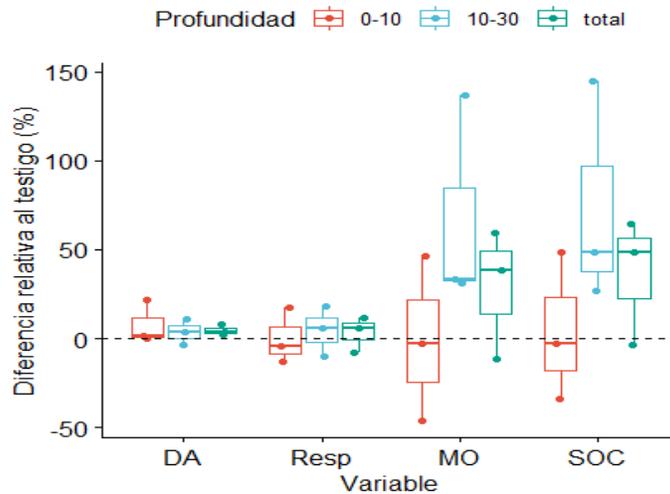


Figura X-3. Comparación de lotes con cultivos de cobertura y testigo, en densidad aparente (“DA”), respiración microbiana (“Resp”), materia orgánica (“MO”) y carbono orgánico (“SOC”).

Con respecto al C, la variable donde se observaron mayores cambios, el valor promedio de C para la profundidad de 10-30 cm se incrementó en un 27% debido al uso del cultivo de cobertura (Figura X-4).

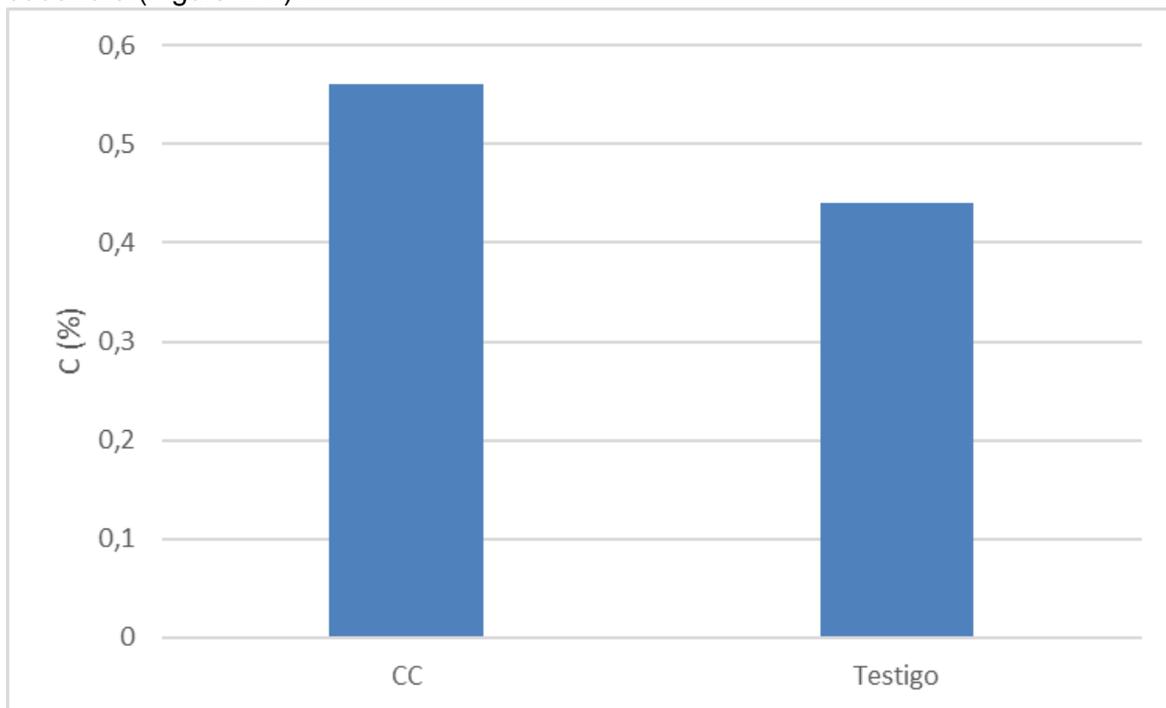


Figura X-4. Concentración de C en porcentaje por tratamiento para la profundidad de 0-30 cm.

Por último, con respecto a la producción de los cultivos, para el caso de la soja los rindes en grano promedio registrados en 10 años para los lotes 1, 2, y 4 (con CC), fueron de 2366 kg ha⁻¹, mientras que el rendimiento sin CC fue en promedio de 1918 kg ha⁻¹. Es decir que para el caso

del cultivo de soja se observó un incremento del 23,3% por el uso del CC. Para el caso del cultivo de maíz, el rendimiento promedio con CC fue de 4266 kg ha⁻¹ y sin CC fue de 4520 kg ha⁻¹. Es decir que hubo un leve descenso del 5,6% debido al uso del CC (Figura X-5).

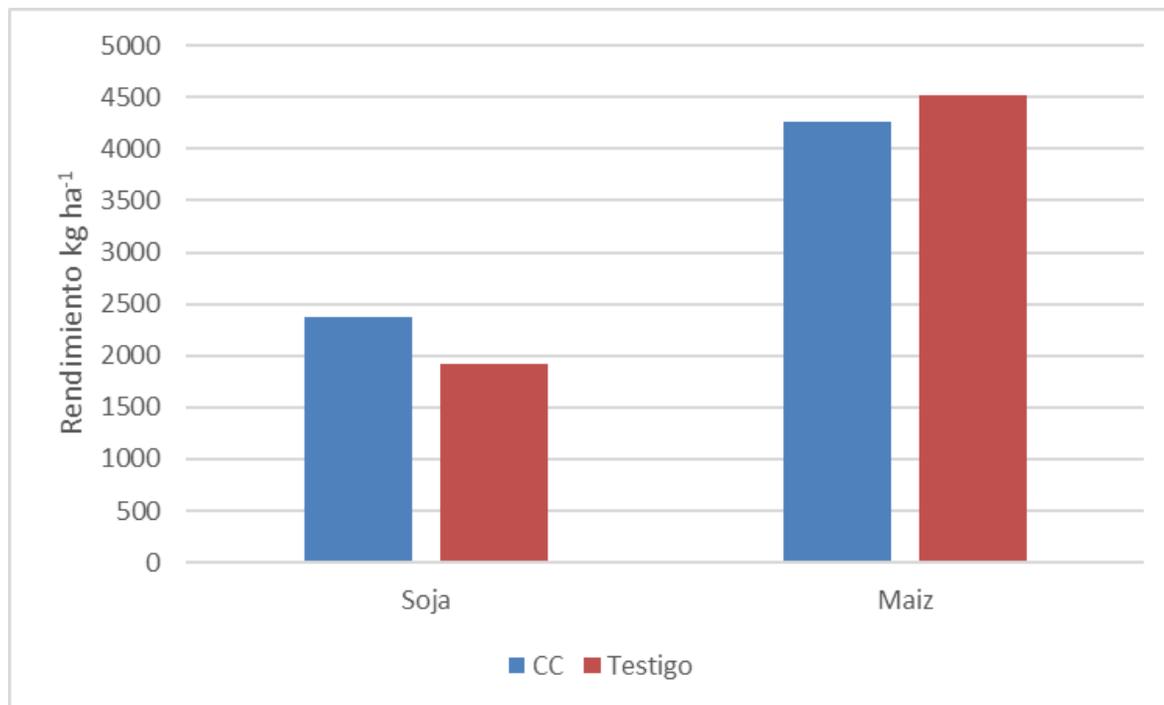


Figura X-5. Rendimiento de soja y maíz por tratamiento. CC: cultivo de cobertura.

A pesar de las diferencias que se puedan ver por el uso del CC, los rendimientos se mantuvieron dentro de los valores normales de rendimientos para la zona (MAGyP, 2020).

Conclusiones finales

El uso del CC como práctica conservacionista es una alternativa positiva para el control de la degradación de suelo que en estas zonas arenosas y de bajas precipitaciones anuales se genera principalmente a través de la erosión eólica. Este manejo conservacionista permitió un incremento de los niveles de C orgánico del suelo, incrementado en promedio la producción de soja y manteniendo casi en los mismos valores la producción de maíz. Por lo tanto es una práctica muy favorable para esta zona determinada.

Al comparar los valores medidos en el tratamiento conservacionista con cultivos de cobertura (CC) con respecto a parcelas testigo sin CC (Tabla X-3), se puede observar que los rendimientos de soja aumentaron, mientras que los de maíz se mantienen similares. Por otra parte, el COS se incrementó con los CC, aun cuando las respuestas en relación a la densidad aparente no fueron

promisorias (mayores valores con CC). En el caso de la respiración edáfica los valores son prácticamente muy similares y bajos para ambos casos, posiblemente porque el muestreo se realizó en invierno; concuyendo así que se tiene un Medio Cumplimiento de las Directrices Voluntarias para la Gestión Sostenible de los Suelos (DVGSS).

Tabla X-3. Comparación de indicadores de la parcela con práctica de manejo sustentable de Cultivos de cobertura (CC) con los valores de las parcelas testigo.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad Soja (kg/ha)	Testigo	2366	1918		+
Productividad Maíz (kg/ha)	Testigo	4266	4520		= / -
Carbono Orgánico (%COS)	Testigo	0,57	0,42		+
Densidad Aparente (Mg/m ³)	Testigo	1,42	1,35		-
Respiración de suelo (mg C-CO ₂ 1 kg ⁻¹ suelo por semana ⁻¹)	Testigo	229	227		=
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Medio Cumpolimiento

Capítulo XI. Uso de cultivos de cobertura en agricultura

Aranza Rodríguez⁽¹⁾, Victoria Benedetto⁽¹⁾, Gloria Rótolo⁽¹⁾, Cecilia Caruso⁽¹⁾, Cristian Pérez⁽¹⁾

1.EEA INTA Oliveros

Ubicación: el ensayo se llevó a cabo en el campo de producción de la EEA INTA Oliveros. La misma está ubicada al sureste de la provincia de Santa Fe, en el departamento Iriondo, localidad de Oliveros. Ubicación geográfica -32.56 y -60.88.

Breve descripción del Área agroecológica o Bioma (clima, relieve, suelo, vegetación, sistemas de producción).

La región pampeana argentina, por sus características edáficas y climáticas, es una de las áreas geográficas más propicias del mundo para la producción agropecuaria. Se extiende desde los 32° a 35° de latitud sur y de 58° a 61° de longitud oeste, comprendiendo partes de cinco provincias: Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos, Córdoba y La Pampa. Posee suelos del orden de los Molisoles y precipitaciones medias anuales de 1000 mm (Álvarez y Grigera, 2005). Los principales cultivos son maíz (*Zea mays, L.*) y soja (*Glycine max, L. Merr.*), con 91% de la superficie sembrada del país y trigo (*Triticum aestivum, L.*) que representa el 59% (Min. Agroindustria, 2021). Además, es de destacar que durante el período invernal encontramos parte de su superficie con barbecho, donde no se realiza ningún cultivo, quedando el suelo cubierto con restos de cosecha ya que generalmente la vegetación espontánea se controla con productos químicos. En cuanto a la ganadería, la región pampeana concentra el 11 % de las cabezas de ganado, y el 8 % de las EAPs, de las cuales sólo el 1 % representan sistemas de producción mixtos (INDEC, 2019). Estas prácticas, enmarcadas en el actual modelo agrícola lineal y altamente dependiente de insumos, han llevado a un deterioro del ambiente y los recursos naturales (Andrade, 2017). La EEA INTA Oliveros (Santa Fe) se encuentra inserta dentro de la región Pampeana, fisiográficamente conocida como Pampa ondulada. La localidad cuenta con un régimen de precipitaciones de 1076 mm, siendo su temperatura anual máxima media y mínima media de 24.9°C. y 12.6°C respectivamente, según datos históricos de la estación meteorológica de la EEA Oliveros. Los suelos son Argiudoles típicos, con drenaje bueno a moderado y textura franco limosa. La unidad cartográfica dominante corresponde a una consociación 100 % serie Maciel (MEL). La capacidad productiva es alta, siendo suelos de clase

I, con un índice de aptitud productiva de 0.82 (Geointa, 2020). La serie Maciel es un suelo profundo, desarrollado en áreas bien drenadas, sobre paisajes muy suavemente ondulados, en los departamentos Iriondo y San Jerónimo de la provincia de Santa Fe. No presenta limitaciones para su uso con cultivos agrícolas y su productividad depende del manejo que se efectúe. Dada esta caracterización, desde el año 2018, se viene manejando un sistema de producción diseñado bajo principios de Agricultura circular, siendo la regeneración de los recursos naturales uno de los principales (de aquí en más se referirá como agricultura circular/regenerativa). El objetivo de este enfoque es mejorar y preservar los recursos naturales (de Boer y van Ittersum, 2018; Schreefeln et al., 2020). A partir del año 2021 se incorporaron al ensayo 3 tratamientos que siguen los principios de la Agroecología, entendiendo a la misma como “ el manejo ecológico de los recursos naturales a través de formas de acción social colectiva, desde los ámbitos de la producción y la circulación alternativa de sus productos, pretendiendo establecer formas de producción y consumo que contribuyan a encarar la crisis ecológica y social, y con ello a restaurar el curso alterado de la coevolución social y ecológica”(Sevilla, 2006) .

Descripción de los principales procesos de degradación de tierras.

La degradación de las tierras es el resultado de uno o varios procesos simultáneos que ocasionan la pérdida total o parcial de los servicios ecosistémicos de los suelos, de su biodiversidad y de su capacidad productiva. Sus causas se deben principalmente al manejo ganadero y agrícola inapropiado, como así también la sobreexplotación de los bosques, con la consiguiente disminución de la calidad de vida de la población rural (PAN, 2001; Guía de prácticas de manejo sustentable de tierras y conservación de suelos – NEA)

Entre los principales procesos de degradación de tierras se encuentran la erosión hídrica y eólica y los procesos físicos, químicos o biológicos, que impactan negativamente en los suelos. La principal causa de la degradación de tierras en la Región Pampeana es la disminución en el contenido de materia orgánica los que, en algunos casos, dependiendo del tipo de suelo y la textura, presentan el 50% de sus niveles originales (Lavado et al. 2006). Esta disminución sin duda afecta a la capacidad productiva de los suelos modificando su fertilidad química: contenido de nutrientes, la acidez, CIC y su fertilidad física: estabilidad estructural, compactación, limitaciones al desarrollo radical y disponibilidad de nutrientes, disminución importante de la capacidad de infiltración con mayor riesgo de erosión y/o encharcamiento.

Nombre de la práctica de MST a evaluar y descripción de la misma.

Las prácticas de manejo evaluadas fueron el uso de *Agricultura circular/regenerativa* y la *agroecología*. Para tal motivo se tomaron muestras de suelo en 6 parcelas experimentales de 24 mts por 35 mts. Las parcelas responden a diferentes tratamientos con tres repeticiones cada uno. Los tratamientos establecidos se basan en la rotación agrícola de 3 años característica de la zona: Maíz, Soja y Trigo/Soja de segunda ocupación. Los tratamientos del 1 al 3 forman parte del trabajo de Tesis Doctoral de Aranza Rodríguez iniciado en 2018, en donde se siguen criterios de agricultura circular/regenerativa. El tratamiento 1 (BQ), se maneja en base a la agricultura convencional, modelo que actualmente se lleva a cabo en la región, con alta utilización de insumos externos y barbechos químicos (testigo). El tratamiento 2 (CC) incluye cultivos de cobertura antes del maíz y soja y reducción paulatina del uso de insumos externos y el tratamiento 3 (CC+P) incorpora, además, el pastoreo del cultivo de cobertura. Mientras que los tratamientos 4 al 6 siguen el paradigma de la agroecología, sin utilización de agroquímicos y con uso de bioinsumos. (Figura XI-1).



Figura XI-1: distribución de los tratamientos 1 a 3 (Agricultura Circular/Regenerativa), 4 a 6 (Agroecología).

Tratamiento 1: Agricultura convencional, rotación característica de la región (Sj1-Tr/Sj2-Mz), siembra directa con uso exclusivo de agroquímicos (1-Conv).

Tratamiento 2: Agricultura circular/regenerativa. Rotación con cultivos de cobertura, siembra directa y reducción del uso de agroquímicos (2-CC).

Tratamiento 3: Agricultura circular/regenerativa. Rotación con cultivos de cobertura e incorporación de pastoreo de CC, siembra directa y reducción del uso de agroquímicos (3-CC+P).

Tratamiento 4: Agroecología. Rotación, labranza, sin uso de agroquímicos y utilización de bioinsumos. Utilización de malezas OIP como CC (4-AE+barbecho enmalezado).

Tratamiento 5: Agroecología. Rotación, labranzas oportunas y estratégicas, sin uso de agroquímicos y uso de bioinsumos. Utilización de CC y pastoreo (5-AE+CC+P+LE).

Tratamiento 6: Agroecología. Rotación, siembra directa, sin uso de agroquímicos y utilización de bioinsumos. Utilización de CC y pastoreo (6-AE+CC+P+SD)

Principales Resultados

En la tabla XI-1 se detallan los principales resultados obtenidos en el ensayo, tanto para la calidad del suelo como para el rendimiento de los cultivos.

Tabla XI-1: Carbono Orgánico de Suelo (COS), Materia Orgánica (MO), Densidad Aparente (Dap) Desvío estándar de Dap (DE), pH, Respiración Edáfica (Resp. Edáfica), Rendimiento del cultivo antecesor (Soja) y Rendimiento del CC precedente a la soja para cada uno de los tratamientos (Tr) y profundidades (Prof.) analizados.

Tr	Prof. (cm)	COS (%)	MO (%)	Dap (gr.cc ⁻¹)	pH 1:2,5	Resp. Edáfica (mg C-CO ₂ 1 kg ⁻¹)	Rendimiento Soja (Kg.ha ⁻¹)	Rendimiento CC (Kg.ha ⁻¹)
1	0 - 10	1.77	3.05	1.38 - 0.02	5.86 (18.8)	463	3631	-
	10 - 30	1.30	2.24	1.36 - 0.06	6.07 (18.7)	182		
2	0 - 10	1.33	2.92	1.35 - 0.04	5.98 (18.7)	309	2259	9668
	10 - 30	1.69	2.29	1.44 - 0.06	6.13 (18.7)	90		
3	0 - 10	1.79	3.09	1.35 - 0.09	6.01 (18.6)	395	2485	7114
	10 - 30	1.19	2.04	1.37 - 0.05	5.86 (18.7)	233		
4	0 - 10	1.74	2.99	1.18 - 0.09	5.96 (18.9)	860	no se cosechó	2157
	10 - 30	1.42	2.45	1.32 - 0.05	5.88 (18.9)	274		
5	0 - 10	1.61	2.77	1.36 - 0.05	6.00 (18.8)	318	no se cosechó	3724
	10 - 30	1.07	1.84	1.41 - 0.06	5.85 (18.9)	82		
6	0 - 10	1.75	3.02	1.24 - 0.06	5.89 (18.9)	546	no se cosechó	4487
	10 - 30	1.13	1.94	1.35 -	5.91 (18.8)	253		

Nota: Para los tratamientos 4 a 6 que no fueron cosechados debido a la cantidad de malezas, el valor estimado a través de observaciones a campo fue de 500 Kg de Soja.ha⁻¹

Con respecto a los niveles de C del suelo, los mismos fueron similares para todos los tratamientos sin diferencias con el testigo sin prácticas conservacionistas (Figura XI-2), posiblemente en un mayor lapso de tiempo se pueden observar diferencias a favor del uso de los cultivos de cobertura que en zonas de suelo con mayor contenido de arcillas como es esta caso los procesos de secuestro de C en suelo tienden a ser un poco más lentos con respecto a suelos de textura más gruesa (Beltrán et al., 2021).

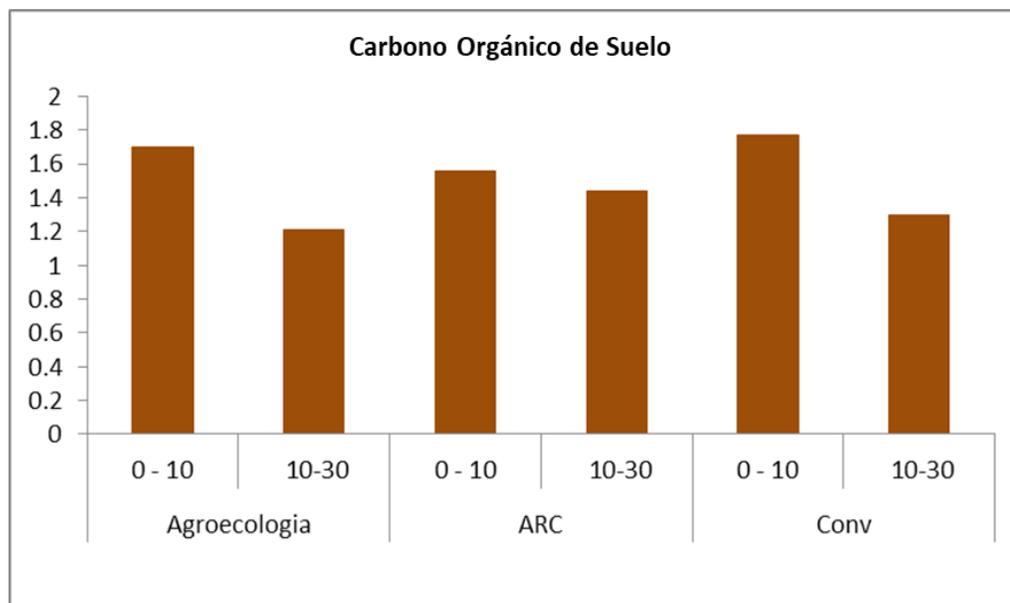


Figura XI-2. Carbono Orgánico del Suelo (%) para los tratamiensos bajo Agroecología, Agricultura Regenerativa / Circular (ARC) y Convencional (Conv)

Con respecto a la densidad aparente (Dap) se aprecia que no existen problemas de compactación en ninguno de los tratamientos ($Dap < 1.4 \text{ g/cc}$); sin embargo, para el caso de los tratamientos bajo agroecología se parecían valores más bajos de Dap (1.26 g/cc) en el horizonte superficial (0-10 cm). (Figura XI-3).

Para el caso de la respiración edáfica, se puede apreciar que los principales efectos se ven a nivel superficial (0-10 cm), siendo la respiración edáfica más alta bajo los tratamientos de Agroecología (Figura XI-4).

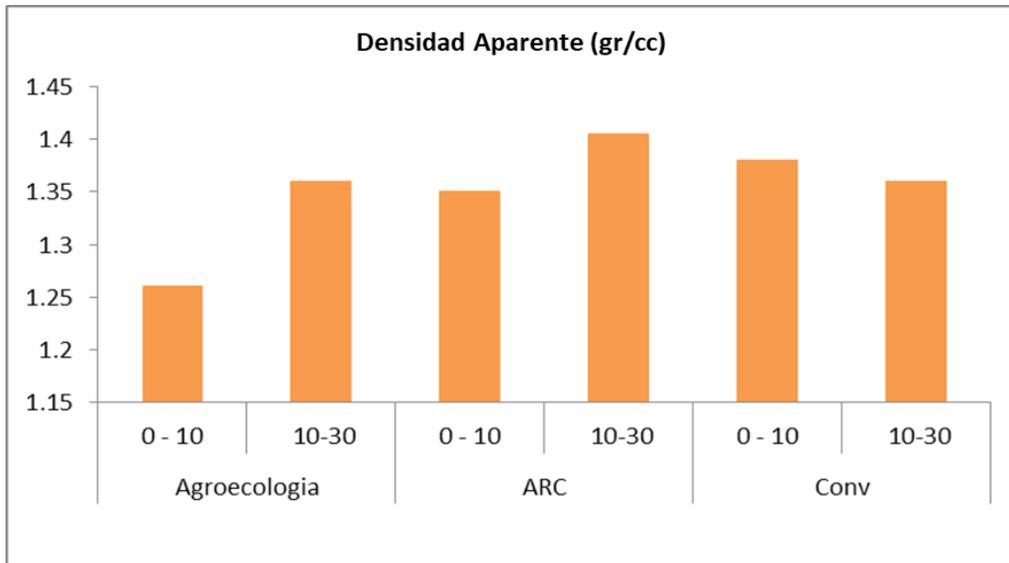


Figura XI-3. Densidad Aparente (g/cc) para los tratamiensos bajo Agroecología, Agricultura Regenerativa / Circular (ARC) y Convencional (Conv)

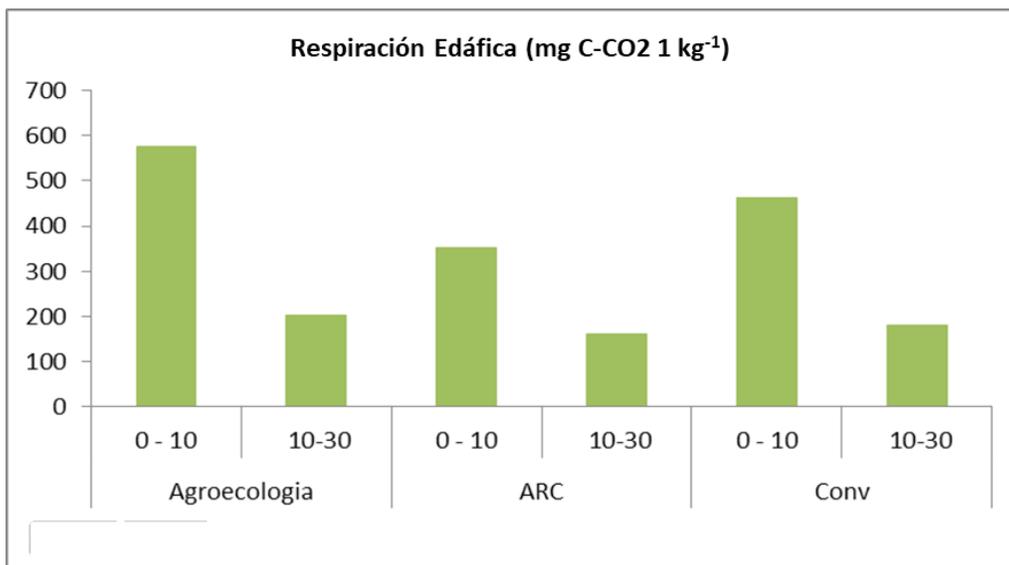


Figura XI-4. Respiración Edáfica (mg C-CO₂ 1 kg⁻¹) para los tratamientos bajo Agroecología, Agricultura Regenerativa / Circular (ARC) y Convencional (Conv)

En el caso del pH se aprecia que los valores están entre 5.8 y 6.1, sin un comportamiento claro relacionado a los diferentes manejos.

Finalmente el evaluar los rendimientos de cada uno de los tratamientos (Figura XI-5), se puede observar que el rinde del tratamiento control fue alrededor de 3600 tn/ha, un poco superior al promedio de la zona que es aproximadamente de 3200 kg ha⁻¹ (MAyGP, 2020). Los tratamientos con ACR en promedio rindieron alrededor de 2400 kg ha⁻¹ (con y sin pastoreo) tuvieron una disminución del rinde del 33%. Los tratamientos con manejos agroecológicos se no se pudieron cosechar por problemas de malezas, por lo que no se pudo obtener esta información.

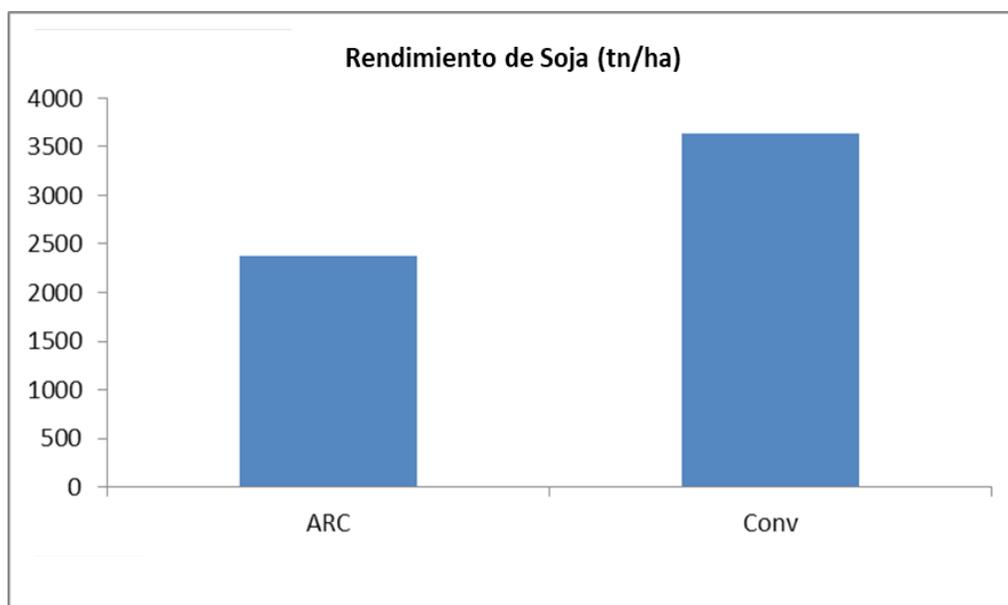


Figura XI-5. Rendimiento promedio para los tratamientos bajo Agricultura Regenerativa / Circular (ARC) y Convencional (Conv). El tratamiento bajo Agroecología no pudo ser cosechado

Conclusiones del capítulo

Los indicadores edáficos evaluados fueron afectados parcialmente por la combinación de las prácticas de manejo conservacionistas evaluadas (agricultura regenerativa / Circular y manejo agroecológico), principalmente para el caso de la densidad aparente (Dap) y la respiración edáfica (RE). En este sentido, es deseable continuar con el monitoreo de estas variables para observar cambios en un mayor plazo de tiempo.

Con respecto a los rendimientos, a pesar de verse disminuidos en este ensayo en los tratamientos con prácticas sustentables, existen variables de manejo que se pueden ajustar para continuar con estas prácticas que protegen al suelo y al ambiente sin afectar el rinde de los cultivos comerciales significativamente. Dentro de estas variables se pueden citar la modificación

de la terminación de los cultivos de cobertura para optimizar la recarga de agua de los suelos antes de la siembra de los cultivos comerciales, el manejo de la densidad de siembra del cultivo de cobertura y la búsqueda de alternativas de control de malezas en planteos agroecológicos como es el control de malezas en forma mecánica con el uso de acondicionadores de campo o rastras diamantadas que generan un remoción del suelo muy superficial matando la maleza y manteniendo en gran medida la estructura del suelo.

Al comparar los indicadores medidos en el caso de la Agricultura Regenerativa / Circular y en el manejo convencional se aprecia solo mejora el indicador de respiración edáfica, por lo que se considera un bajo cumplimiento de las Directrices Voluntarias para la Gestión Sostenible de Suelos (DVGSS) (Tabla XI-2).

Tabla XI-2. Comparación de indicadores de la Agricultura Regenerativa / Circular con los valores del manejo convencional (testigo).

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad Maíz (kg/ha)	Testigo	2372	3631		-
Carbono Orgánico (%COS)	Testigo	1,50	1,54		=
Densidad Aparente (Mg/m ³)	Testigo	1,38	1,37		=
Respiración de suelo (mg C-CO ₂ 1 kg ⁻¹ suelo por semana ⁻¹)	Testigo	1027	645		+
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Bajo Cumplimiento

Para el caso del manejo agroecológico, se observa una mejora en densidad aparente y la respiración edáfica con respecto al manejo convencional, pero es muy importante el control de malezas para no afectar el rinde del cultivo comercial; concluyendo que se con este manejo sostenible se alcanza un Medio Cumplimiento de la DVGSS (Tabla XI-3).

Tabla XI-3. Comparación de indicadores del Manejo Agroecológico con los valores del Manejo Convencional (testigo).

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad Maíz (kg/ha)	Testigo	-	3631		
Carbono Orgánico (%COS)	Testigo	1,45	1,54		=
Densidad Aparente (Mg/m ³)	Testigo	1,31	1,37		+
Respiración de suelo (mg C-CO ₂ 1 kg ⁻¹ suelo por semana ⁻¹)	Testigo	2333	645		+
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Medio Cumplimiento

Capítulo XII. Uso de cultivos de cobertura y Manejo silvopastoril en el norte de la provincia de Buenos Aires

Fernando Jecke ^(1, 2), Gerardo Mujica ⁽³⁾, Emmanuel Zufiaurre ^(2; 4), Fernando Mouselgne ^(1, 2), Brian Mestre ^(2; 4), Patricia Carfagno ⁽⁵⁾, Francisco Becerra ⁽⁵⁾, Romina Romaniuk ⁽⁵⁾, Gabriela Luna ^(2; 4), Francisco Becerra ⁽⁵⁾, Marcelo Beltrán ^(2, 5)

1. Agencia de Extensión Agropecuaria INTA San Antonio de Areco; 2. Universidad Nacional de San Antonio de Areco (UNSADA); 3. Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRN); 4. Centro de Investigación y Transferencia de Noroeste de la Provincia de Buenos Aires CITNOBA; 5. Instituto de Suelos INTA Castelar

Ubicación geográfica de los sitios piloto e importancia productiva de la zona

Los sitios pilotos 10 y 11 se encuentran ubicados en el norte de la provincia de Buenos Aires, dentro de la Ecorregión Pampa, subregión Pampa Ondulada (Figura XII-1).

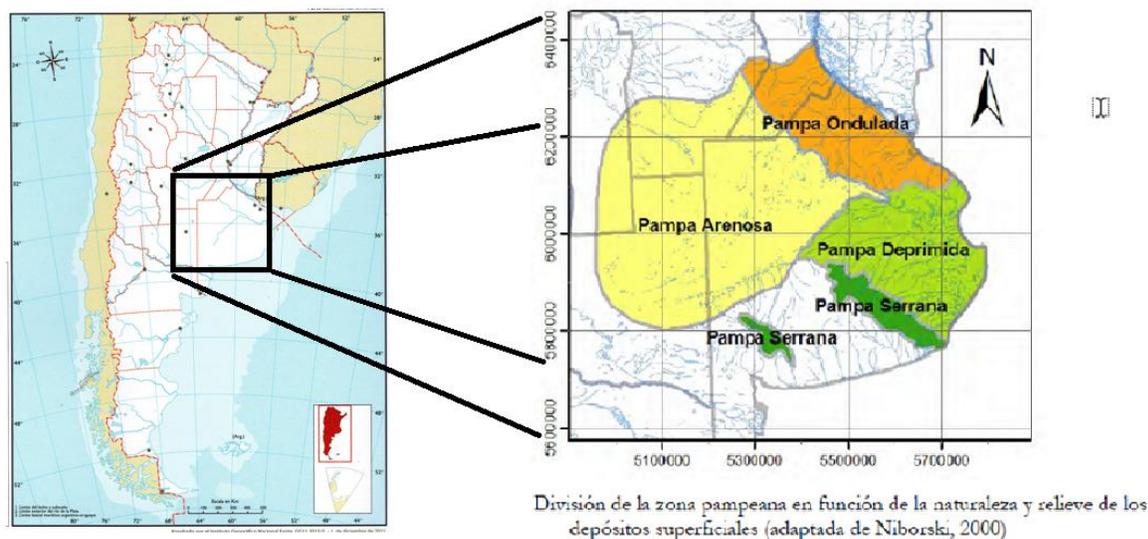


Figura XII-1. Mapa de la República Argentina (derecha) y Región Pampeana ampliada (izquierda)

La zona se encuentra ubicada dentro del núcleo productivo agrícola de la Argentina siendo fundamental su aporte a la producción de alimentos, la seguridad alimentaria, la generación de puestos de trabajo, inversión y generación de divisas para el país. En los últimos se observó un

proceso de agriculturización que hizo que se incrementara la producción de cultivos agrícolas, desplazándose la ganadería a zonas marginales dentro de la pampa ondulada o hacia otras regiones productivas. Los principales cultivos agrícolas de la zona bajo estudio son la soja, el maíz y el trigo, observándose un incremento en la superficie de cultivos gramíneas en el último tiempo debido a diferentes políticas de estado. En la tabla XII-1 se detalla la superficie productiva de los cultivos de grano y forrajes y el stock en total de cabezas de cada producción animal de la provincia de Buenos Aires y la de los partidos donde se encuentran los ensayos (Suipacha, sitio piloto 10 y San Antonio de Areco, sitio piloto 11)

Tabla XII-1. Producción de la provincia de Buenos Aires y zonas de sitios pilotos. Fuente: INTA – MAGyP)

Producción	Buenos Aires	San Antonio de Areco	Suipacha
Superficie total (ha)	30.757.100	85.100	94.390
Cereales (ha)	3.880.253	30.579	9.394
Oleaginosas (ha)	4.510.441	35.553	19.042
Forrajeras (ha)	2.665.266	5.324	9.644
Bovinos (Cabezas)	14.701.452	33.629	70.290
Equinos (Cabezas)	188.174	14.291	781
Porcinos (Cabezas)	814.302	18.466	1.167
Ovinos (Cabezas)	935.218	372	483

Características generales del relieve y climáticas

La región se caracteriza por su relieve predominantemente ondulado, cortado por cañadas, arroyos y ríos. Las pendientes de las vertientes por lo general son inferiores al 2 %, aunque en

algunos sectores de esta subregión, estas pueden superar el 3 %. La temperatura media anual correspondiente al área bajo estudio (período 1967-2021) es de 16.5°C, produciéndose las temperaturas medias mensuales más bajas en junio y julio (10.2 y 9.6°C), mientras que las medias mensuales más altas ocurren de diciembre a marzo (22.3, 23.4, 22, 20.3 °C). Por su parte, la precipitación media anual regional (período 1882-2021) es de 1084 mm, ocurriendo el 75% de las mismas en primavera-verano.

Problemáticas y principales riesgos de la zona

Con respecto a la producción agrícola, debido a la agriculturización y la intensificación en forma no sustentable de los sistemas productivos, los suelos de la región se encuentran bajo presión generando procesos de erosión y pérdida de calidad y productividad (Gaitán et al., 2017). Si bien el empleo de la siembra directa disminuyó la problemática de la erosión de los suelos y pérdida de la materia orgánica (MO), en la actualidad se siguen observando suelos erosionados, sumándose problemas de compactación y pérdidas de la fertilidad (Lavado y Taboada, 2009). Dentro de las prácticas conservacionistas, el uso de cultivos de cobertura (CC) es una herramienta de manejo que los productores están adoptando cada vez en mayor medida. El uso de CC presenta múltiples beneficios como el incremento del carbono (C) y la fertilidad química del suelo (Beltrán et al., 2018; Beltrán et al., 2021), el control de la erosión, mejoras físicas, el incremento de la actividad microbiana, el control de malezas resistentes (Álvarez et al., 2017; Romainuk et al., 2018; Rimsky-Karsakov et al., 2015) y en algunos casos genera un incremento de rendimiento de los cultivos comerciales (Scianca, 2010). Por lo tanto, el objetivo del muestreo del sitio piloto de San Antonio de Areco fue el de evaluar y corroborar el efecto de los CC sobre el stock de C en suelo, la densidad aparente, la actividad microbiana del suelo y el efecto sobre los cultivos comerciales (soja y maíz). Así mismo, se evaluó el efecto del CC sobre la biodiversidad del suelo.

Con respecto a la ganadería, el sitio piloto silvopastoril busca explorar la problemática de la huella de C de las producciones ganaderas. En los últimos años debido al cambio climático y la necesidad de su mitigación, se empezó a estudiar con mayor detalle la huella de C de las explotaciones ganaderas, principalmente debido a las emisiones de metano por parte del animal y la forma de contrarrestar estas emisiones con secuestro de C a través de la plantación de árboles (Peri et al., 2017; Gandara et al., 2021). Existen experiencias, principalmente en el norte del país donde ya se utiliza en forma comercial los sistemas que integran el ganado con el árbol (silvopastoril) como herramienta de mitigación del cambio climático (Peri et al., 2018; Esquivel et

al., 2004). El objetivo del muestreo de este sitio fue el de evaluar el sistema silvopastoril en la zona norte de Buenos Aires donde en la actualidad no está muy difundido y puede ser una herramienta muy positiva para mejorar las huellas de C de los establecimientos mediante el secuestro de C en los tejidos del árbol y en el suelo y mejorar la calidad del mismo.

En ambos sitios pilotos además se analizó la fauna del suelo, o fauna edáfica, que representa aproximadamente un cuarto de los 1,5 millones de especies totales descritas en el mundo (Decaëns, 2010). Esta fauna cumple un rol clave en los ecosistemas que habita, manteniendo la estructura y la fertilidad del suelo al acelerar los procesos de descomposición de la materia orgánica y el reciclado de nutrientes (Lavelle *et al.*, 1997). Gran parte de estos organismos actúan como ingenieros del ecosistema que habitan y afectan las propiedades físicas y químicas de los suelos, sobre todo, al crear macroporos y redistribuir la materia orgánica. Otros, son trituradores que deshacen la materia orgánica, y un buen número de estos grupos son depredadores. Además, debido a su biomasa, generalmente alta, forman un importante componente de la red alimenticia en el suelo (Bignell *et al.*, 2012). Por otro lado, los cambios de uso del suelo en un agroecosistema, así como los manejos que se llevan a cabo, alteran el entorno físico y químico del suelo en el que vive la fauna edáfica, afectando así a los organismos que la componen (Kladivko, 2001). Los manejos agropecuarios modifican el contenido de agua del suelo, la temperatura, la aireación y el grado de mezcla de los residuos de cultivos dentro de la matriz del suelo en un lote, y estos cambios, a su vez, afectan la riqueza, abundancia y diversidad de organismos de diferentes maneras (Postma-Blaauw *et al.*, 2012). Para la Región Pampeana en particular, se ha encontrado que la intensidad antrópica de uso del suelo afecta negativamente la composición de la comunidad de fauna edáfica (Díaz Porres *et al.*, 2014). Debido a su rol en los procesos del ecosistema, sumado a su sensibilidad ante los manejos agropecuarios que se llevan a cabo en un lote -por su reducida capacidad para desplazarse a zonas con condiciones diferentes-, las comunidades edáficas frecuentemente son consideradas como indicadores fiables del estado biológico del suelo (Swift *et al.*, 2004; Domínguez *et al.*, 2010; Bedano *et al.*, 2019). En general, la fauna edáfica se clasifica en tres grupos según el tamaño corporal: microfauna (< a 0,2 mm), mesofauna (entre 0,2 y 2 mm) y macrofauna (> a 2 mm) (Decaëns 2010). El estudio de la macrofauna y su relación con el uso y manejo del suelo se ha transformado en los últimos tiempos en una herramienta poderosa para evaluar cambios en el suelo por parte de los productores o técnicos agropecuarios, ya que permite construir una aproximación válida de la capacidad del suelo para sostener su funcionamiento ecosistémico en un determinado sitio (Bedano y Domínguez, 2017).

Características específicas de cada sitio piloto

En los sitios piloto 10 y 11 se evaluaron los indicadores sugeridos por el manual de evaluación de la FAO sobre prácticas sustentables de manejo. A continuación se detallan los principales resultados.

Sitio 10. Ensayo silvopastoril

Ubicación y coordenadas geográficas:

El sitio piloto se encuentra dentro del establecimiento La Negra ubicado entre los Partidos de Suipacha y Carmen de Areco (Provincia de Buenos Aires) siendo las coordenadas geográficas las siguientes $34^{\circ}37'43,6''$ S y $59^{\circ}48'44,6''$ W (Figura XII-2). La Negra es un típico establecimiento ganadero dedicado a la cría bovina de la raza *Aberdeen angus*, con un plantel de 6000 vacas en producción y entre 4-5 mil terneros destetados por año. En los mejores suelos se realizan pasturas de festuca (*festuca ssp.*) y trébol blanco (*trifolium repens*), en los suelos con problemas de hidromorfismo y salinidad las pasturas son de agropiro y lotus y también se maneja el pastizal natural en las zonas más bajas. El campo es un establecimiento privado donde los dueños ceden parte de un lote para que el INTA establezca el sitio piloto cuyo manejo se realizará en forma compartida según los objetivos del INTA y el manejo en general del productor.

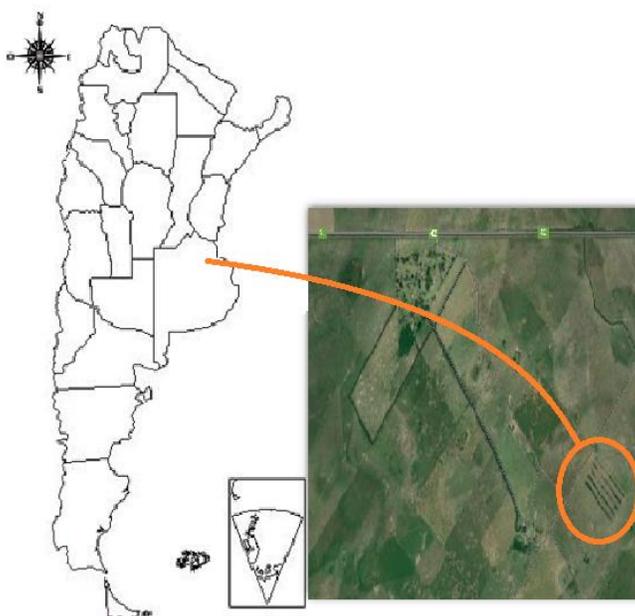


Figura XII-2. Ubicación del ensayo silvopastoril dentro de la República Argentina.

El suelo del sitio piloto es clasificado como un Argiudol acuico, fino, illítico, térmico (Soil Taxonomy, 2017), perteneciente a la serie Gouin. Es un suelo profundo y oscuro con aptitud agrícola, que se lo encuentra en una planicie suavemente ondulada en posición de lomas bajas y planos levemente deprimidos de la Subregión Pampa Ondulada alta, moderadamente bien drenado y evolucionado sobre sedimentos loésicos pampeanos franco limosos finos, no alcalino, no salino con pendiente de 0,5-1 %. Una descripción más detallada del perfil típico hasta el límite inferior del horizonte Bt (aproximadamente 1 metro de profundidad) se encuentra en la Tabla XII-2.

Tabla XII-2. Descripción del perfil típico de la serie Gouin hasta el horizonte Bt.

A 0-25 cm; gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco; franco limoso; bloques subangulares medios moderados; duro; muy friable en húmedo; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; límite inferior claro, suave.	%MO: 3.67; %Carbono total: 2.13; %Nitrógeno: 0.22; Rel C/N: 10; pH pasta: 5.6; pH H2O: 5.6; Ca: 14.0; Mg: 3.3; Na: 0.3; K: 0.6
AB 25-42 cm; pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; pardo amarillento (10YR 5/4) en seco; franco limoso; bloques subangulares medios moderados; muy duro; friable; ligeramente plástico, adhesivo; escasos barnices ("clay skins"); krotovinas comunes; ligeramente poroso; límite inferior abrupto, ondulado.	%MO: 1.31; %Carbono total: 0.76; %Nitrógeno: 0.089; Rel C/N: 9; pH pasta: 5.6; pH H2O: 5.8; Ca: 9.7; Mg: 2.2; Na: 0.3; K: 0.8

Bt1	42-75 cm; pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo; pardo (7,5YR 5/4) en seco; arcillo limoso; prismas regulares gruesos fuertes que rompe en prismas medios moderados; extremadamente duro; muy friable; muy plástico, adhesivo; abundantes barnices ("clay skins"); moteados comunes, finos y precisos; escasas concreciones de Fe-Mn; límite inferior claro, suave.	%MO: 0.63; %Carbono total: 0.37; %Nitrógeno: 0.056; Rel C/N: 7; pH pasta: 5.9; pH H2O: 6.2; Ca: 16.0; Mg: 6.2; Na: 0.5; K: 2.2
Bt2	75-115 cm; pardo (7,5YR 5/4) en húmedo; pardo claro (7,5YR 6/4) en seco; franco arcillo limoso; prismas regulares medios moderados que rompe en prismas finos y bloques angulares; muy duro; firme; plástico, adhesivo; barnices ("clay skins"), comunes; moteados comunes, medios, precisos; concreciones de Fe-Mn comunes; límite inferior claro, suave.	%MO: 0.38; %Carbono total: 0.22; %Nitrógeno: 0.042; Rel C/N: 5; pH pasta: 6.1; pH H2O: 6.4; Ca: 14.1; Mg: 7.1; Na: 0.5; K: 2.4

Diseño del ensayo

En el año 2017 se implantaron 4 ha de un sistema silvopastoril (SSP) con 5 fajas de 6 líneas cada una y 40 mts de pastura entre cada faja. Allí se investigan clones y material seminal de *Eucaliptus*, típicamente utilizado en la zona para forestería, y el comportamiento animal frente al estrés térmico, el engorde de terneros y el porcentaje de preñez de las vacas, en comparación con el sistema tradicional de producción a cielo abierto (SCA) (Figuras XII-3 y XII-4).



Figura XII-3. Imagen satelital del sitio piloto silvopastoril, con sus dos tratamientos, sistema cielo abierto (SCA) y sistema silvopastoril (SSP).



Figura XII-4. Fotos generales del ensayo SSP ubicado en el establecimiento “La Negra”.

Resultados y Discusión

En la tabla XII-3 se muestran los resultados comparativos entre el pastoreo a cielo abierto y el sistema silvopastoril.

Tabla XII-3. Porcentaje de carbono(C) en % y Densidad aparente (DAP) en g cm³ por tratamiento y profundidad

Tratamiento	Prof. (cm)	C (%)	DAP
CA	0-10	2,42 a	1,37 a
SSP	0-10	2,73 a	1,39 a
CA	10-30	1,8 a	1,28 a
SSP	10-30	1,67 a	1,24 a

CA: Cielo abierto; SSP: Sistema silvopastoril

En relación al Carbono Orgánico de Suelo (COS), se aprecia que los contenidos son ligeramente superiores en el suelo superficial del Sistema Silvo Pastoril, aun cuando no se presentaron diferencias estadísticamente significativas; siendo bastante similares en el estrato entre 10 y 30 cm (Figura XII-5). Sin embargo, los stock de carbono a los 30 cm de profundidad son muy similares (Tabla XII-4).

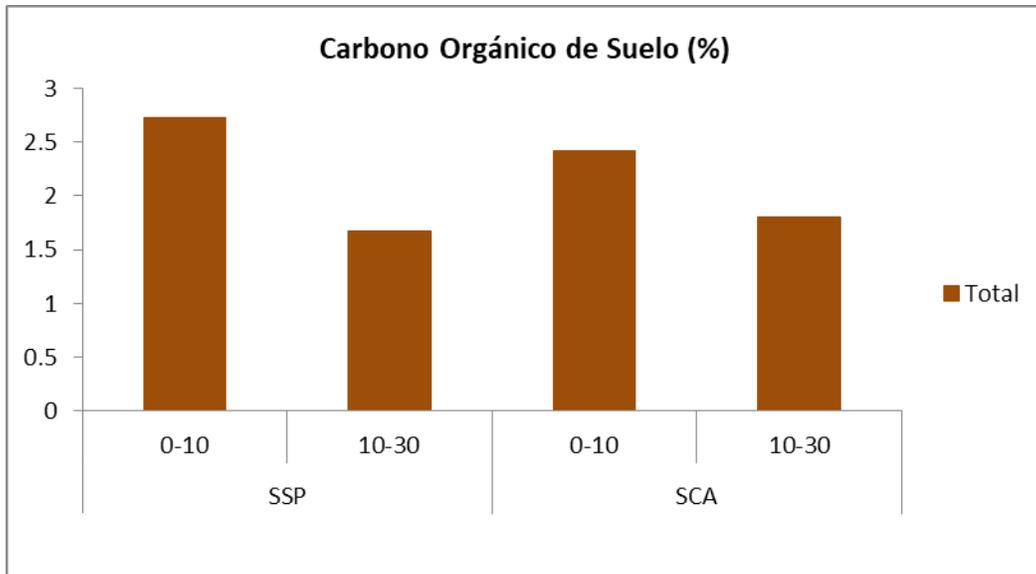


Figura XII-5. Contenidos de Carbono Orgánico de suelo (%) de los sitios piloto ubicado en el establecimiento “La Negra” (SSP: Sistema Silvopastoril; SCA: Sistema Cielo Abierto)

En relación a la densidad aparente (Dap), los dos sitios presentaron valores muy similares para entre sí en ambos estratos, con una Dap alrededor de 1.38 g/cm³ en el estrato superficial y 1.5 en el estrato de 0 a 30 cm.

En el caso de la respiración Edáfica se aprecia claramente cómo el sistema silvo pastoril favorece una mayor respiración con respecto al sistema de cielo abierto con diferencias significativas (Figura XII-6).

Tabla XII-4. Stock de carbono en t ha⁻¹ por profundidad (cm) y tratamiento

Prof.	Pastura	SSP
0-10	33,7	37,4
10-30	45,9	42,5
0-30	79,6	80,0

CA: Cielo abierto; SSP: Sistema silvopastoril

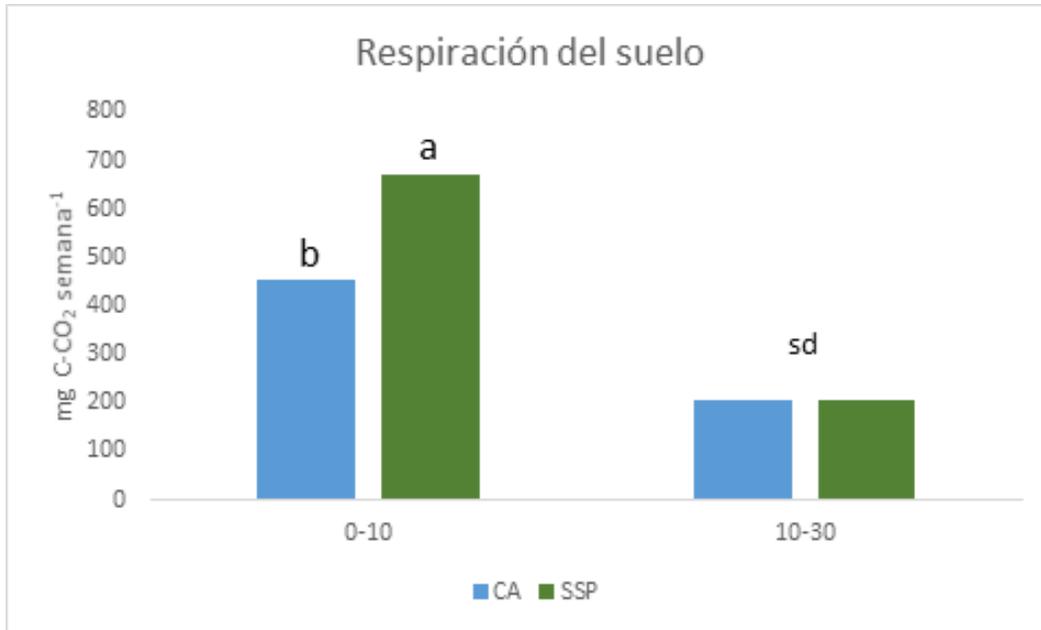


Figura XII-6. Respiración del suelo para las profundidades de 0-10 y 10-30 cm. CA: cielo abierto; SSP: sistema silvopastoril. Distintas letras determinan diferencias significativas con un valor $p < 0,05$. sd: sin diferencias significativas.

Con respecto a la biodiversidad edáfica, en las muestras de suelo (0 a 10 cm) el grupo más abundante fueron las "larvas" (38%), seguido por las arañas (22%) y las lombrices (20%) (Fig. XII-7a). Registramos que la abundancia media en los monolitos del lote con SSP (16,4 ind/monolito) fue un 34% mayor con respecto a la abundancia media en los monolitos del lote con SCA (12,2 ind/monolito). Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($W= 9,5$; $p= 0,6$; Figura XII-5b; Tabla XII-5).

Monolitos suelo mineral	Trampas de caída
a)	c)

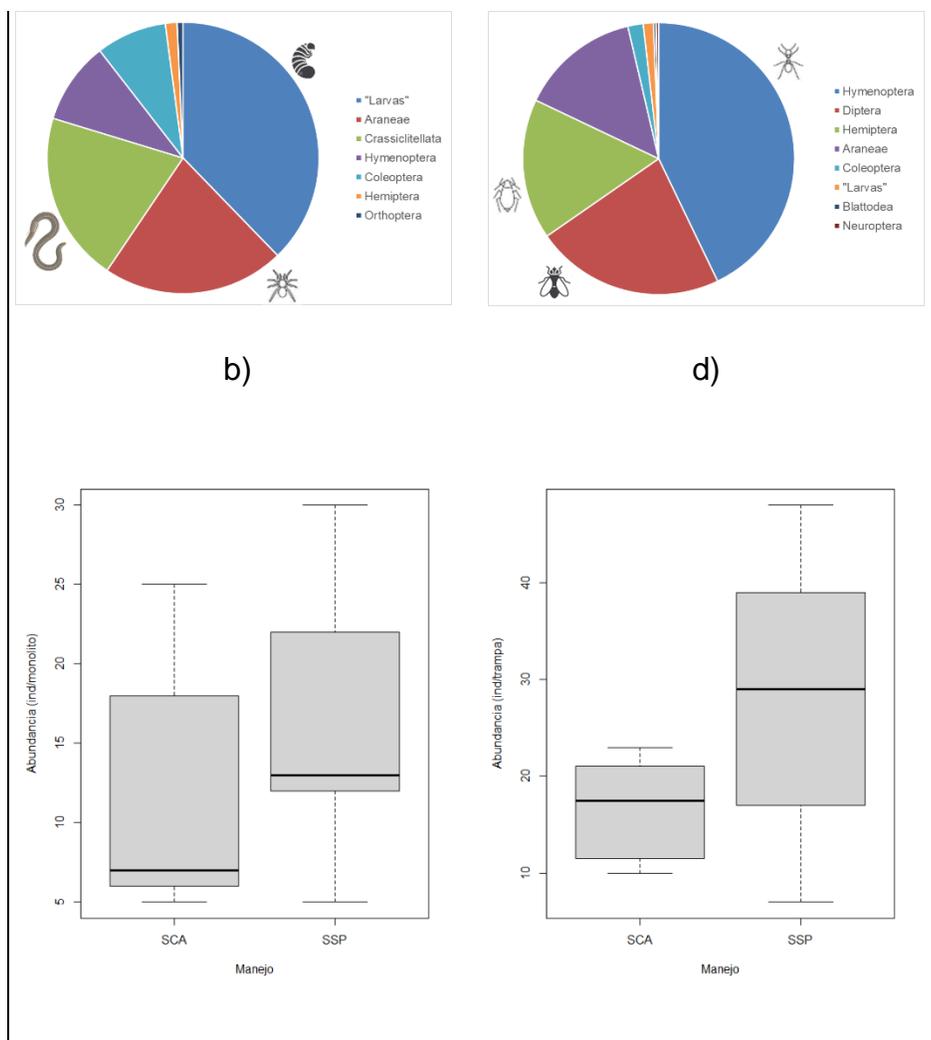


Figura XII-7. Izquierda: Monolitos con las muestras de suelo mineral (0 a 10 cm). Derecha: Trampas de caída. a) Proporción de cada grupo de la macrofauna edáfica en la abundancia total en los lotes ganaderos. b) Gráficos de caja con la abundancia en los lotes bajo manejos ganaderos contrastantes. SCA: Sistema a cielo abierto (SCA); SSP: Sistema silvopastoril.

De las 20 trampas de caída, se recolectaron 15 que no fueron destruidas por el ganado (ocho en el lote con SCA y siete en el lote con SSP). El grupo más abundante fue Hymenoptera (43%), seguido por Diptera (22%) y “pulgonos, chicharritas y chinches” Hemiptera (16%) (Fig. 3a). Registramos que la abundancia media en las trampas del lote con manejo SSP (28 ind/trampa) fue un 69% mayor con respecto a la abundancia media en las trampas del lote con SCA (16,6 ind/trampa). Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($W= 16$; $p= 0,2$; Fig. XII-7c; Tabla XII-5).

Tabla XII-5. Valor medio \pm error estándar de los parámetros de la comunidad de la macrofauna en los lotes bajo manejos ganaderos contrastantes (SCA: Sistema a cielo abierto; SSP: Sistema

silvopastoril) para las dos metodologías analizadas. Comparación de las medias a través de la prueba de Wilcoxon. * p-valor $\leq 0,05$; ** p-valor $\leq 0,01$; *** p-valor $\leq 0,001$; n.s.: No significativo.

		Manejos ganaderos		
		SCA. N=5		SSP. N=5
Monolitos suelo mineral (0 a 10 cm)	Abundancia	12,2 \pm 3,97	n.s.	16,4 \pm 4,34
	Riqueza	4,2 \pm 0,49	n.s.	3,8 \pm 0,37
	Shannon	1,25 \pm 0,1	n.s.	1 \pm 0,16
	Simpson	0,67 \pm 0,03	n.s.	0,53 \pm 0,08
	Equitatividad	0,88 \pm 0,01	n.s.	0,76 \pm 0,09
		SCA. N=8		SSP. N=7
Trampas de caída	Abundancia	16,62 \pm 1,86	n.s.	28 \pm 5,95
	Riqueza	4,25 \pm 0,31	n.s.	4,71 \pm 0,36
	Shannon	1,15 \pm 0,1	n.s.	1,2 \pm 0,09
	Simpson	0,61 \pm 0,05	n.s.	0,63 \pm 0,04
	Equitatividad	0,79 \pm 0,05	n.s.	0,79 \pm 0,05

Conclusiones del sitio piloto 10

De las variables analizadas la de mayor sensibilidad fue la respiración del suelo, viéndose incrementada en el tratamiento silvopastoril debido posiblemente a que los animales prefieren mantenerse debajo de los árboles en épocas de mayor calor, concentrándose sus deyecciones y el consecuente aporte orgánico en esas zonas que puede promover la actividad microbiológica. La biodiversidad edáfica se vió incrementada por el uso de SSP aunque está diferencia no fue significativa, además el hecho de que el manejo SSP está utilizando especies arbóreas exóticas para la Región Pampeana, podría ser motivo de futuros estudio de sus efectos sobre la fauna edáfica. Resulta fundamental el análisis del rol funcional (herbívoros, depredadores, omnívoros, detritívoros; Zerbino *et al.* 2008; Cabrera *et al.* 2011; Barnes *et al.* 2014) de la macrofauna edáfica en los diferentes usos y manejos agropecuarios.

Por su parte la producción de la pastura fue afectada por el árbol debido a que el tratamiento a cielo abierto tuvo una producción de MS de 3,9 y el tratamiento SSP una producción de 2,8 t ha⁻¹ (Sin embargo este valor se mantuvo dentro de los rangos promedios de producción de pastura a nivel nacional; OCDE DATA, 2018) por lo que se está evaluando otros diseños silvopastoriles en el sitio piloto que no afecten sensiblemente la producción de materia seca de la pastura. Es importante sin embargo destacar que para el objetivo de secuestro de C del sistema, la madera producida por los árboles supera la pérdida por la disminución de la productividad de la pastura mejorando de esta forma el balance de C.

Al comparar los valores medidos en el Sistema Silvopastoril (SSP) con los valores del Sistema de Cielo abierto (SCA) (Tabla XII-6), se puede observar resultados positivos para el caso del carbono orgánico de suelo, la respiración y la abundancia de macrofauna. Con respecto a la productividad es deseable buscar alternativas de diseño de plantación de los árboles como puede ser los leños apareados para que la luz ingrese al estrato inferior y esto no afecte la producción de la pastura; mientras que los manejos no tuvieron un efecto importante sobre la densidad aparente, concluyendo que hay un Cumplimiento Medio de las Directrices voluntarias de Gestión sostenible de Suelos.

Tabla XII-6. Comparación de indicadores de Sistema Silvo Pastoral (SSP) con los valores de el Aistema a Cielo Abierto.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad Materia Seca (tn/ha)	SCA (testigo)	2,8	3,9		-
Carbono Orgánico (%COS)	SCA (testigo)	2,73	2,4		+/=
Densidad Aparente (Mg/m ³)	SCA (testigo)	1,39	1,37		=
Respiración de suelo (mg C-CO ₂ 1 kg ⁻¹ suelo por semana ⁻¹)	SCA (testigo)	700	450		+
Macrofauna edáfica (abundancia)	SCA (testigo)	16,4	12,2		+
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Medio Cumplimiento

Sitio piloto 11. Ensayo de uso de cultivos de cobertura en San Antonio de Areco

Ubicación y coordenadas geográficas

El sitio piloto se ubica en un lote de producción agrícola correspondiente al establecimiento “La Fe”, en el Partido de San Antonio de Areco (Pcia. de Bs. As.), siendo las coordenadas geográficas las siguientes: 34°11'23.22" S 59°34'00" O (Figura XII-8). El establecimiento “La Fe” consta de aproximadamente 1000 ha, se dedica a la producción de carne (1100 cabezas de ganado, ciclo completo) y a la producción agrícola (soja, maíz y trigo principalmente). El campo es un establecimiento privado donde los dueños ceden parte de un lote para que el INTA establezca el sitio piloto cuyo manejo se realizará en forma compartida según los objetivos del INTA y el manejo en general del productor.



El suelo del sitio piloto es clasificado como un Argiudol Abrúptico, fino, illítico, muy profundo, térmico (Soil Taxonomy, 2017), perteneciente a la serie capitán Sarmiento. Este es un suelo de color oscuro, muy profundo, de aptitud agrícola, ubicado en lomas extendidas y pendientes correspondientes a paisajes suavemente ondulados. Está conformado por sedimentos loésicos de textura franco limosa, no sódico ni alcalino. Una descripción más detallada del perfil típico hasta el límite inferior del horizonte Bt (aproximadamente 1 metro de profundidad) se encuentra en la Tabla XII-7.

Tabla XII-7. Descripción del perfil típico de la serie Capitán Sarmiento hasta el horizonte Bt.

Ap1	0-16 cm, pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en seco; franco limoso; bloques subangulares medio y finos moderados que rompe en granular fina; ligeramente duro; friable; ligeramente plástico; adhesivo; límite claro, suave	% MO: 3.96; % Carbono total: 2.30; % Nitrógeno: 0.22; Rel C/N: 10; Cond. mmhos cm: 0.26; pH en pasta: 5.6; pH H2O 1:2.5: 6.3; pH KCL 1:2.5: 5.4 Ca: 12.6; Mg: 3.1; Na: 0.3; K: 2.2; H: 8.1 (m.eq. /100 g)
Ap2	16-18 cm, pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco; franco arcillo limoso; bloques subangulares medios débiles que rompe en granular débil, límite inferior claro, suave.	% MO: 2.93; % Carbono total: 1.70; % Nitrógeno: 0.15; Rel C/N: 11; Cond. mmhos cm: 0.26; pH en pasta: 5.6; pH H2O 1:2.5: 6.5; pH KCL 1:2.5: 5.4 Ca: 13.9; Mg: 5.7; Na: 0.3; K: 2.2; H: 7.2 (m.eq. /100 g)
BAt	28-38 cm, pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; pardo (7.5 YR 5/2) en seco; franco arcillo limoso; bloques subangulares medios débiles que rompen en granular débil; blando; muy friable; límite inferior abrupto.	% MO: 1.63; % Carbono total: 0.95; % Nitrógeno: 0.10; Rel C/N: 9; Cond. mmhos cm: 0.26; pH en pasta: 5.7; pH H2O 1:2.5: 6.8; pH KCL 1:2.5: 5.2 Ca: 15.7; Mg: 5; Na: 0.4; K: 1.2; H: 8.3 (m.eq. /100 g)
Bt	38-56 cm, pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo; pardo (7.5 YR 5/2) en seco; arcilloso; prismas regulares gruesos; fuertes que rompe en prisma medio moderados; abundantes barnices "clay skins" manchas de materia orgánica; límite inferior gradual	% MO: 1.29; % Carbono total: 0.750; % Nitrógeno: 0.08; Rel C/N: 9; Cond. mmhos cm: 0.26; pH en pasta: 5.5; pH H2O 1:2.5: 6.8; pH KCL 1:2.5: 5.0 Ca: 23.8; Mg: 10.8; Na: 0.8; K: 2; H: 12.6 (m.eq. /100 g)
Bt	56-97 cm, pardo (7.5 YR 5/4) en húmedo; pardo a pardo claro (7.5 YR 5.5/4) en seco; arcillo limoso; prismas regulares gruesos moderado que rompen en prismas medios moderado; friable; plástico; adhesivo; barnices comunes "clay skins" manchas de materia orgánica; comunes grietas; límite	% MO: 0.58; % Carbono total: 0.40; % Nitrógeno: 0.05; Rel C/N: 8; Cond. mmhos cm: 0.26; pH en pasta: 5.6; pH H2O 1:2.5: 7.0; pH KCL 1:2.5: 5.0 Ca: 20.4; Mg: 8.7; Na: 0.6; K: 1.9; H: 8.4 (m.eq. /100 g)

Clasificación Taxonómica: Argiudol Abruptico, Fina; Illita, muy profunda, termica (Soil Taxonomy V. 2010).
Argiudol Típico, Fina, Illita, termica (7a Aprox. Soil Taxonomy. V. 1975).

Descripción del ensayo, cultivos de cobertura (CC) empleados

El lote donde se está realizando el estudio se encuentra en agricultura continua con siembra directa, siendo la sucesión de cultivos desde la campaña 2007/2008 la siguiente: maíz-barbecho-soja- maíz-verdeo de invierno-verdeo de invierno-verdeo de invierno/soja desde hace más de 10 años. En 2014 se inició el ensayo de CC, siendo las especies utilizadas: avena, trigo, vicia y avena con vicia consociadas, considerando también una situación sin CC (testigo o barbecho químico). Para el presente trabajo se analizarán únicamente las parcelas bajo trigo, vicia como CC y testigo sin CC con maíz sin fertilizar y soja como cultivos comerciales. En mayo de 2014 se delimitó un área dentro del lote de 150 x 30 m (Figura XII-9), la que a su vez se subdividió en tres subáreas (bloques) de 40 x 30 m. A su vez dentro de cada bloque se delimitaron las parcelas de 8 x 30 m, donde se establecieron los tratamientos con los cultivos de cobertura y testigo. Posteriormente, a la siembra de los cultivos de grano cada parcela se subdividió en dos de 8 x

15m, sembrando soja y maíz en cada una de ellas. Por último, al momento de la fertilización del maíz (estado V6), las parcelas que presentaban dicho cultivo se volvieron a dividir, definiendo parcelas de 4 x 15 m. El objetivo de ello fue determinar dos niveles de fertilización (0 y 150 kg ha⁻¹ de N). Por lo tanto, cada bloque incluyó tres tratamientos conformados por dos cultivos de cobertura de invierno (trigo y vicia) y un barbecho, sobre cada uno de los cuales se implantaron dos cultivos de grano (soja y maíz), estando el maíz afectado a dos niveles de fertilización (0 y 150 kg ha⁻¹ de N).

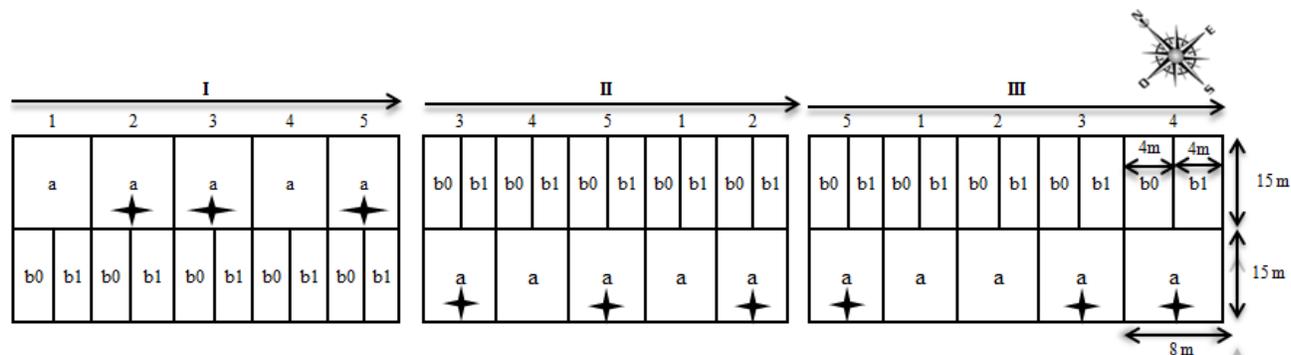


Figura XII-9. Disposición de las parcelas experimentales dentro del lote. 1: avena + vicia, 2: trigo, 3: vicia, 4: avena, 5: barbecho. a: soja, b: maíz. b1: maíz fertilizado, b0: maíz no fertilizado. Las cruces dentro de cada cuadro representan los tratamientos que se analizarán en este estudio.

Los cultivos de cobertura se siembran durante el otoño bajo siembra directa. Las densidades de siembra implementadas para el trigo (*Triticum aestivum* L.) y la vicia (*Vicia sativa* L.) fueron de 110 y 40 kg ha⁻¹, respectivamente. A la siembra, la vicia fue inoculada con *Rhizobium leguminosarum biovar viceae*. El CC se seca durante la primavera con 4 L ha⁻¹ de glifosato (48% principio activo) aproximadamente un mes antes de la siembra de los cultivos de soja y maíz. El criterio que se tuvo en cuenta para definir dicho momento, fue que la gramínea y la leguminosa llegaran a floración, a fin de lograr una elevada producción de materia seca total, sin comprometer la fecha de siembra óptima del cultivo de soja o maíz.

El cultivo de soja (*Glycine max* L.), var. NA 5009, se siembra los primeros días de noviembre a una distancia entre hileras de 0.35 m y con una densidad de siembra de 500000 semillas ha⁻¹. La soja no se fertilizó y se inoculó con *Bradyrhizobium* sp. La siembra de maíz (*Zea mays* L.), híbrido Syngenta 840, se realiza a mediados de diciembre a 0.70 m entre hileras y con una densidad de 72000 plantas ha⁻¹. En V6 (6 hojas totalmente desarrolladas) se fertilizó la mitad de cada parcela en donde había maíz con 150 kg N ha⁻¹, aplicado como urea al voleo.



Figura XI-10. Vicia (izquierda), trigo (centro) como cultivos de cobertura. Maíz y soja (cultivos comerciales del ensayo).

Indicadores evaluados previamente

Durante el ciclo del ensayo se evaluaron la producción de materia seca de los cultivos de cobertura, el rendimiento de los cultivos comerciales y diferentes variables físico – químicas del suelo (pH, CE, concentración de macronutrientes, MO). En la tabla XII-8 se puede observar que luego de un año de ensayo, no se observaron variaciones en el contenido de C, pero si se pudo observar una disminución estadística de la densidad aparente en la profundidad de 0-5 cm. En cuanto a los rendimientos de los cultivos comerciales, la soja no fue afectada por los CC y el maíz en el caso de la vicia se observó un incremento de su rendimiento y en el caso del trigo como CC una disminución de su producción de grano. Esto se debe seguramente a que el trigo como CC inmoviliza nitrógeno afectando al maíz y en cambio la vicia al fijar N atmosférico genera un aporte neto del nutriente al suelo que luego fue utilizado por el maíz.

Tabla XII-8. Datos preliminares del sitio piloto 11 tomados luego de un año de su implantación

Tratamiento	Carbono (g kg⁻¹)		DAP (g cm₃⁻¹)		Rendimiento (t ha⁻¹)	
	0-10 cm	10-30 cm	0-10 cm	10-30 cm	Maíz	Soja
Testigo	19,9 a	12,1 a	1,22 b	1,24 a	8,5 b	3,8 a
Trigo (CC)	20 a	10,1 a	1,20 a	1,25 a	6,8 c	4,1 a
Vicia (CC)	20,1 a	11,2 a	1,20 a	1,23 a	10,3 a	3,9 a

Fuente: Castiglioni et al., 2016; Navarro, 2017.

Por su parte, los valores de pH (5,58), de conductividad eléctrica (0,37 mmhos cm⁻¹) y la concentración de macronutrientes (calcio 10,4 cmol_c kg⁻¹; magnesio 2,01 cmol_c kg⁻¹ y potasio 1,17 cmol_c kg⁻¹) se encontraron dentro de los valores normales de la zona (Castiglioni et al., 2016; Navarro 2017).

Resultados y discusión del sitio piloto 11

En la XII-tabla 9 se pueden observar los indicadores evaluados. De los cultivos de cobertura analizados, la vicia fue la que generó cambios con mayor velocidad en el suelo que pudieron ser detectados por su tendencia en el incremento del carbono orgánico y de la respiración del suelo. Esto seguramente se deba a que la vicia al ser un cultivo leguminosa, sus tejidos se descomponen con mayor velocidad debido a su menor relación C/N y los mismos generan cambios más rápidos en la existencia de C del suelo y la actividad microbológica.

Tabla XII-9. Concentración de carbono (C) (%), densidad aparente (DAP) y respiración en mg C-CO₂ semana-1 por tratamiento y profundidad.

Tratamiento	Prof (cm)	C (%)	DAP g/cm ³	Respiración
Testigo	0-10	1,83 b	1,28 a	839 b
Vicia	0-10	1,93 a	1,26 a	1317 a
Trigo	0-10	1,85 ab	1,31 a	723 b
Testigo	10-30	1,41 a	1,46 a	729 a
Vicia	10-30	1,37 a	1,43 a	601 a
Trigo	10-30	1,38 a	1,41 a	655 a

Distintas letras determinan diferencias con un valor $p < 0,15$.

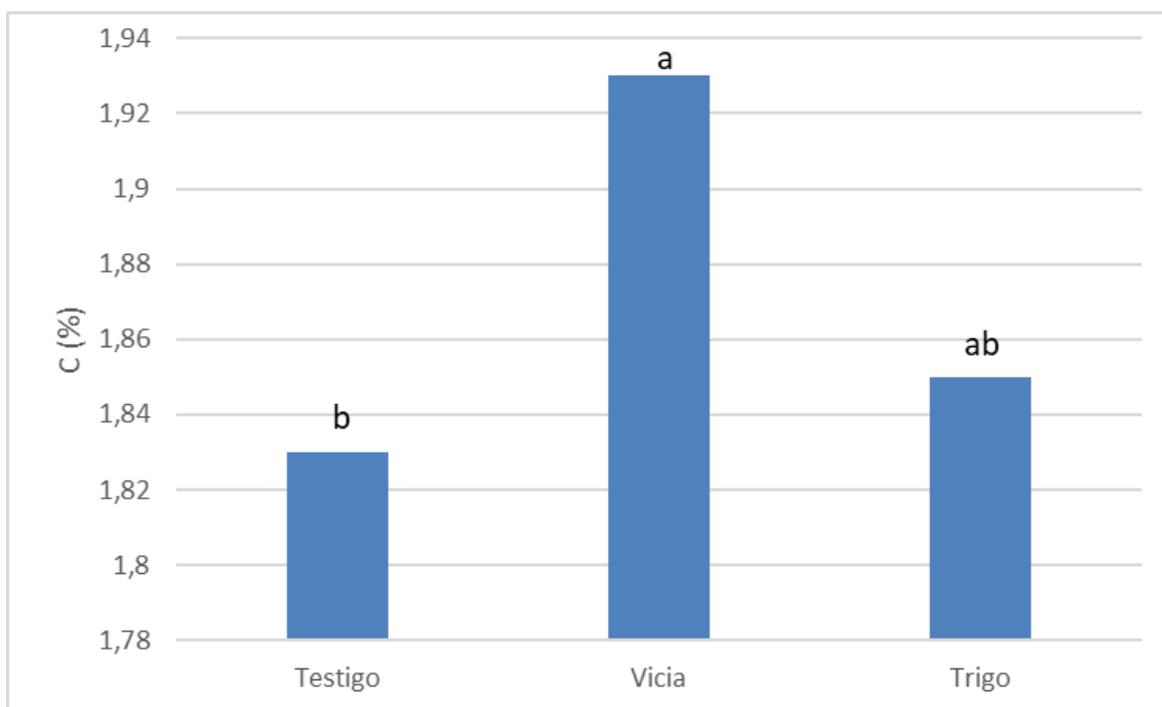


Figura XII-11. Concentración de C (%) por tratamiento para la profundidad de 0-10 cm. Distintas letras determinan diferencias significativas con un con un valor $p < 0,15$.

En la profundidad de 0-10 cm la concentración de C fue incrementada en el tratamiento con vicia como CC en un 6% siendo esta diferencia estadísticamente significativa con respecto al testigo. El trigo tuvo un valor intermedio entre el testigo y el tratamiento con vicia con CC (Figura XII-11). Para la profundidad de 10-30 cm no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla XII-9), por lo que los cambios debido al CC fueron superficiales.

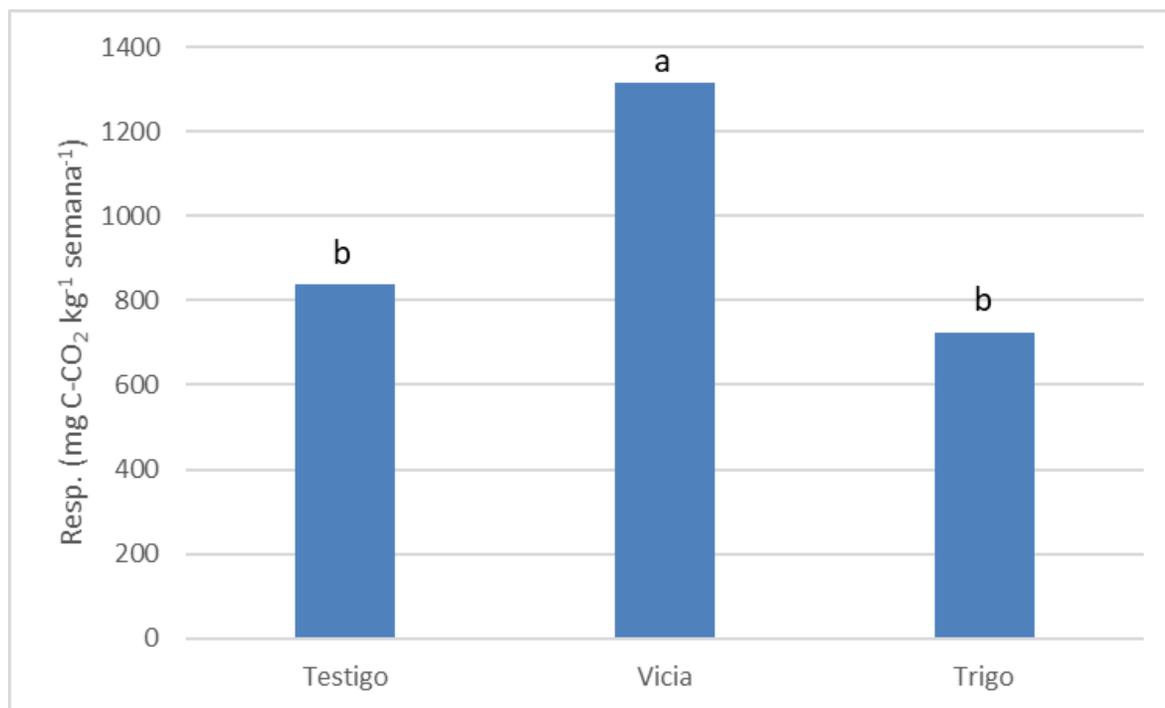


Figura XII-12. Concentración de C (%) por tratamiento para la profundidad de 0-10 cm. Distintas letras determinan diferencias significativas con un con un valor $p < 0,15$.

Para el caso de la respiración edáfica se observó el mismo patrón, un incremento significativo de la respiración por el uso de la vicia como CC de un 62,5% con respecto al testigo (Figura XII-12). Sin diferencias estadísticas para la profundidad de 10-30 cm (Tabla XII-9).

Con respecto a la biodiversidad edáfica, en las muestras de suelo (0 a 10 cm) el grupo más abundante fueron las “lombrices” (Clitellata: Crassicitellata) (42%), seguido por “milpiés” (Diplopoda) (24%) y “hormigas” (Hymenoptera) (10%) (Fig. XII-13a). Registramos que la abundancia media en los monolitos de los lotes que en su rotación habían incluido CC (31,9 ind /monolito) fue un 39% mayor con respecto a la abundancia media en lotes que en su rotación se habían mantenido como barbecho (22,9 ind/monolito), siendo esta diferencia marginalmente significativa ($W = 65$; $p = 0,05$; Fig. XII-13b; Tabla XII-10). En las muestras tomadas en los rastros o residuos de los cultivos el grupo más abundante fueron los Diplopoda (31%), seguido por las “arañas” (Arachnida: Araneae) (24%) y “escarabajos” (Coleoptera) (23%) (Fig. 8a). se registró

que la abundancia media en los lotes que en su rotación habían incluido CC (10,7 ind /monolito) fue un 112% mayor con respecto a la abundancia media en lotes que en su rotación se habían mantenido como barbecho (5,1 ind/monolito) ($W= 54$; $p= 0,02$; Fig. XII-8b; Tabla XII-10).

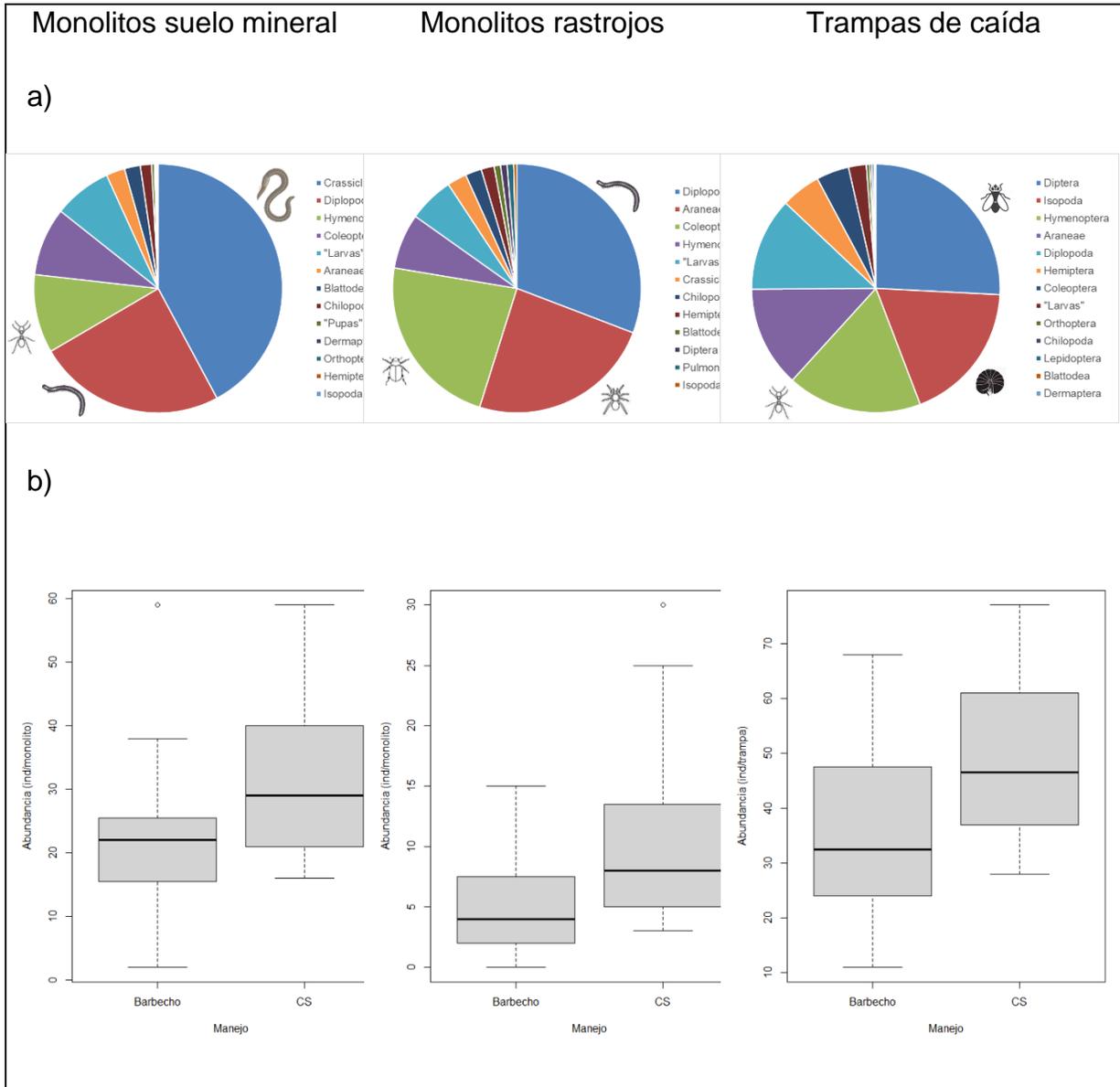


Figura XII-13. Izquierda: Monolitos con las muestras de suelo mineral (0 a 10 cm). Centro: Monolitos con las muestras de hojarasca o rastrojos. Derecha: Trampas de caída. a) Proporción de cada grupo de la macrofauna edáfica en la abundancia total en los lotes agrícolas. b) Gráficos de caja con la abundancia en los lotes bajo manejos agrícolas contrastantes. Barbecho: lotes que en su rotación se habían mantenido como barbecho; CS: lotes que en su rotación incluyen cultivos de cobertura.

En las trampas, el grupo más abundante fueron las “moscas y mosquitos” (Diptera) (26%), seguido por “bichos bolita” (Malacostraca: Isopoda) (18%) y “hormigas y avispidas”

(Hymenoptera) (17%) (Figura XII-13a). Registramos que la abundancia media en las trampas de los lotes que en su rotación habían incluido CC (49,6 ind/trampa) fue un 37% mayor con respecto a la abundancia media en lotes que en su rotación se habían mantenido como barbecho (36,1 ind/trampa), siendo esta diferencia marginalmente significativa ($W= 45$; $p= 0,05$; Fig. XII-13b; Tabla XII-10).

Tabla XII-10. Valor medio \pm error estándar de los parámetros de la comunidad de la macrofauna en los lotes bajo manejos agrícolas contrastantes (Barbecho: lotes que en su rotación se habían mantenido como barbecho; CS: lotes que en su rotación incluyen cultivos de cobertura) para las

tres metodologías analizadas. Comparación de las medias a través de la prueba de Wilcoxon. * p-valor $\leq 0,05$; ** p-valor $\leq 0,01$; *** p-valor $\leq 0,001$; n.s.: No significativo.

		Manejos agrícolas		
		Barbecho. N=15		CS. N=15
Monolitos suelo mineral (0 a 10 cm)	Abundancia	22,93 \pm 3,42	*	31,93 \pm 3,46
	Riqueza	4,53 \pm 0,36	*	5,8 \pm 0,35
	Shannon	1,08 \pm 0,09	n.s.	1,21 \pm 0,07
	Simpson	0,57 \pm 0,04	n.s.	0,59 \pm 0,03
	Equitatividad	0,74 \pm 0,04	n.s.	0,7 \pm 0,03
		Barbecho. N=15		CS. N=15
Hojarasca o rastros	Abundancia	5,07 \pm 1,12	*	10,73 \pm 2,07
	Riqueza	2,53 \pm 0,4	*	3,93 \pm 0,32
	Shannon	0,75 \pm 0,14	*	1,17 \pm 0,06
	Simpson	0,56 \pm 0,08	n.s.	0,64 \pm 0,02
	Equitatividad	0,65 \pm 0,11	n.s.	0,89 \pm 0,02
		Barbecho. N=12		CS. N=14
Trampas de caída	Abundancia	36,08 \pm 4,86	*	49,57 \pm 4,04
	Riqueza	6,67 \pm 0,43	n.s.	6,14 \pm 0,27
	Shannon	1,57 \pm 0,08	*	1,35 \pm 0,09
	Simpson	0,74 \pm 0,02	*	0,65 \pm 0,04
	Equitatividad	0,84 \pm 0,02	n.s.	0,74 \pm 0,04

Las rotaciones con CC sostuvieron una mayor abundancia de la macrofauna edáfica que los lotes con barbecho tradicional. En general, los suelos con fuerte intervención antrópica, especialmente para uso agropecuario, están fuertemente modificados en sus aspectos biológicos en comparación con los mismos suelos con menor intervención humana (Bedano y Domínguez, 2016). Las investigaciones que muestran que los manejos agropecuarios afectan la riqueza, abundancia y diversidad de los principales grupos de la fauna edáfica son numerosos, tanto a nivel global, como en la Región Pampeana de Argentina (Domínguez *et al.*, 2010; Postma-Blaauw *et al.*, 2012; Briones y Schmidt, 2017; Bedano *et al.*, 2019). Específicamente para el uso agrícola con este trabajo aportamos evidencias a los beneficios que la inclusión de los CC en la rotación agrícola genera en el ambiente, en particular, en la estructura de las comunidades edáficas que habitan los lotes. En este sentido, Kim *et al.* (2020) a través de un meta-análisis encontraron que los CC aumentaron significativamente los parámetros de abundancia, actividad y diversidad microbiana del suelo en comparación con los del barbecho desnudo. Además, los tamaños del efecto del cultivo de servicio variaron según cómo era la terminación del cultivo. Esto sugiere que, para un conocimiento más completo de los efectos de la implementación de los CC sobre la fauna edáfica, así como el efecto de la fauna con los cultivos, resulta necesario llevar a cabo estudios que contemplen diferentes especies de CC y que abarquen la rotación completa.

Con respecto al rendimiento del cultivo de maíz el rendimiento fue afectado por los CC, en el caso de la vicia se observó un efecto positivo debido posiblemente al aporte de nitrógeno que genera el CC y en el caso del trigo el rendimiento de maíz se vió afectado debido seguramente a que el trigo inmoviliza nitrógeno en sus tejidos disminuyendo su disponibilidad para el maíz (Figura XII-14). Con vicia como CC el incremento del rendimiento del cultivo de maíz fue del 25%, mientras que en el caso del trigo como CC la disminución del rendimiento fue del 18,8%.

Para el caso de la soja no fue afectado su rendimiento en forma positiva o negativa por los CC.

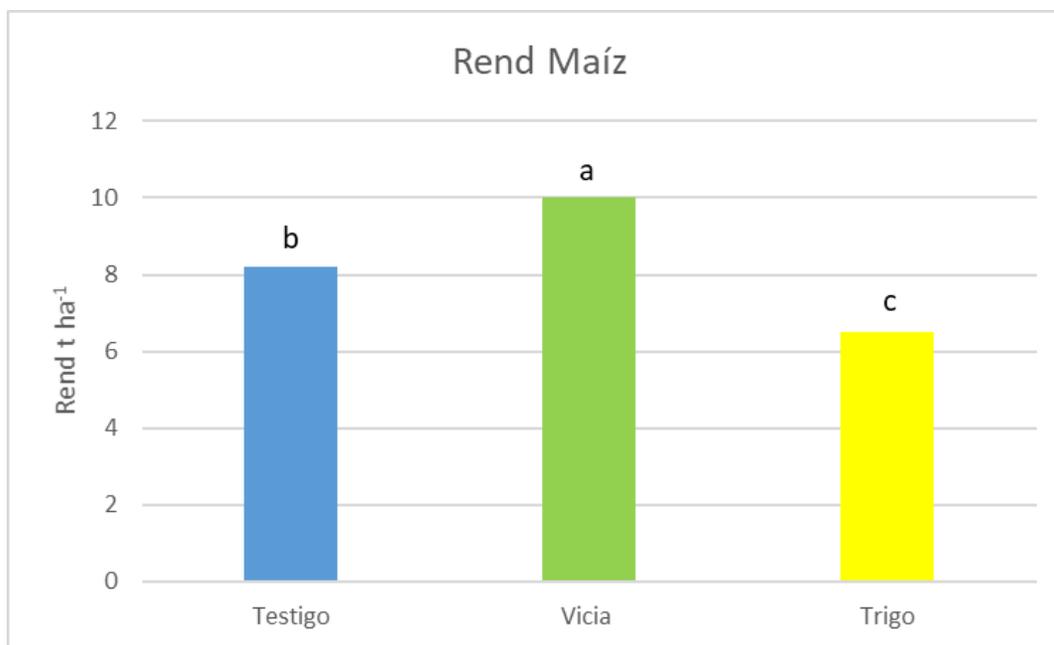


Figura XII-14. Rendimiento de maíz en t ha, distintas letras determinan diferencias significativas con un valor $p < 0.05$

Conclusiones sitio piloto 11

Los rendimientos tanto de soja como de maíz se encontraron por encima del promedio del rendimiento zonal (MAGyP, 2020). Sin embargo, se observaron cambios en el rendimiento del maíz debido al uso del CC (positivos para la vicia y negativos para el trigo). Por lo que es fundamental la correcta elección del CC para cada cultivo comercial, utilizando en forma ideal un CC leguminosa antes de un cultivo comercial gramínea y un CC gramínea como antecesor de un cultivo comercial leguminosa. En caso de usar un CC gramínea como antecesor de un cultivo comercial gramínea es fundamental ajustar la dosis de fertilizante nitrogenado para compensar el consumo e inmovilización del N por parte del CC.

Al comparar los valores de los indicadores obtenidos por el uso de Vicia como CC en relación al Barbecho o testigo (Tabla XII-11), se observan respuestas positivas para el rendimiento de maíz, el carbono orgánico, la respiración edáfica y la abundancia de macrofauna, mientras que los valores de densidad aparente se aprecian muy similares. De esta manera, se considera que el uso de Vicia como cultivo de cobertura tiene un alto cumplimiento de las Directrices Voluntarias de Gestión sostenible de los Suelos (DVGSS).

Tabla XII-11. Comparación de indicadores de la práctica de Cultivo de cobertura con Vicia con los valores de uso de barbecho para el cultivo comercial Maíz.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad Maíz (tn/ha)	Barbecho (testigo)	10	8,2		+
Carbono Orgánico (%COS)	Barbecho (testigo)	1,93	1,83		+/=
Densidad Aparente (Mg/m ³)	Barbecho (testigo)	1,26	1,28		=
Respiración de suelo (mg C-CO ₂ 1 kg ⁻¹ suelo por semana ⁻¹)	Barbecho (testigo)	1317	839		+
Macrofauna edáfica (abundancia)	Barbecho (testigo)	31,93	22,93		+
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Alto Cumplimiento

Quando se comparan los valores de los indicadores obtenidos por el uso de Trigo como CC en relación al Barbecho o testigo (Tabla XII-12), solo se aprecia una respuesta positiva para el caso de la macrofauna del suelo, e incluso hay menores rendimientos de maíz cuando se usa el CC de Trigo, por lo que se puede concluir que hay un bajo cumplimiento de las DVGSS. Es por lo tanto fundamental el uso del CC adecuado para cada cultivo comercial, siendo en general deseable usar leguminosas como antecesor del maíz y gramíneas como antecesor del cultivo de soja.

Tabla XII-12. Comparación de indicadores de la práctica de Cultivo de cobertura con Trigo con los valores de uso de barbecho para el cultivo comercial Maíz.

Indicador MSS	Tipo de dato de referencia	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Fuente de Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad Maíz (tn/ha)	Barbecho (testigo)	6,4	8,2		-
Carbono Orgánico (%COS)	Barbecho (testigo)	1,85	1,83		=
Densidad Aparente (Mg/m³)	Barbecho (testigo)	1,31	1,28		=
Respiración de suelo (mg C-CO₂ 1 kg⁻¹ suelo por semana⁻¹)	Barbecho (testigo)	723	839		-/=
Macrofauna edáfica (abundancia)	Barbecho (testigo)	31,93	22,93		+
Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)					Bajo Cumplimiento

Agradecimientos

Queremos agradecer a todas las personas que nos permitieron trabajar en sus establecimientos y a quienes nos ayudaron con la logística necesaria para llevar a cabo este trabajo, especialmente al Ing. Agr. Santiago Borello. Además, agradecemos al establecimiento La Fe y La Negra. Parte de este trabajo fue financiado con un subsidio de la Universidad Nacional de San Antonio de Areco (NACT 2019-046/2020).

Capítulo XIII. Conclusiones finales

Utilizando los sitios pilotos que forman parte de la red de sitios del proyecto INTA PE I040 “Monitoreo de la degradación de tierras” ubicados en diferentes ecorregiones de la República Argentina se pudieron evaluar el set de indicadores de sustentabilidad propuestos por la FAO. La heterogeneidad de climas, ambientes y usos de suelo permitió hacer una evaluación de estos indicadores en una amplia gama de temperatura, precipitaciones y condiciones edáficas.

Al tener un tratamiento o parcela testigo en cada sitio se pudo no solo comparar los valores de los indicadores de las prácticas de manejo sustentables con los valores de referencia sugeridos por la FAO, sino que también se pudo analizar el impacto del manejo en el sitio con respecto a una situación convencional. En la tabla XIII-1 se puede ver la comparación de la práctica de manejo contra el testigo de cada uno de los indicadores.

Tabla XIII-1. Comparación de indicadores entre tratamiento testigo o convencional contra tratamiento con manejo sustentable.

Indicador	Aumenta	Sin cambio	Disminuye
Productividad	50%	10%	40%
Carbono (%)	46%	54%	0%
Densidad aparente	15%	77%	8%
Respiración (mg C)	33%	67%	0%

En el 50% de los sitios donde se pudo medir el rendimiento, el mismo fue superior en el manejo sustentable con respecto al manejo convencional y un 40% vió afectado o disminuido. Estos últimos casos se dieron principalmente en los suelos agrícolas con manejo sustentable agroecológico o con uso de cultivos de cobertura en donde se debe ajustar el manejo para poder continuar con estas prácticas de manejo sustentables sin afectar los rendimientos.

En el caso de las variables de suelo, prácticamente no hubo ningún caso donde se observó una desmejora de la calidad del suelo, salvo en un sitio con siembra directa donde hubo un incremento de la densidad aparente que puede ser corregido en forma mecánica o con cambios en la rotación del cultivo. El carbono orgánico se incrementó en la mitad de los sitios y en la otra mitad se mantuvo similar al manejo convencional. Para el caso de la respiración edáfica y la

densidad aparente en general sus valores no se modificaron con respecto a los manejos convencionales.

Al agrupar los manejos por uso del suelo (pastizales y pasturas o suelos agrícolas) se puede observar que las mejoras en el manejo del pasto en general aumentaron su producción de materia seca y en algunos casos hubo además incrementos en los niveles de C y de la tasa de respiración edáfica (Tabla XIII-2). De los cuatro sitios, solamente en uno se observó una disminución del rendimiento (manejo silvopastoril), pero en este caso el objetivo principal es de la captura de carbono en suelo y madera del árbol, por lo que se debe ajustar el manejo para lograr ese objetivo sin afectar la producción de la pastura. Para las otras variables en la mitad de los casos se incrementó la concentración de C y la respiración y en la otra mitad estos valores fueron similares al del manejo convencional.

Tabla XIII-2. Comparación de indicadores de calidad de suelo entre manejos para tierras de uso de pastoreo y tierras de uso agrícola

Uso del suelo	Productividad	Carbono	Densidad aparente	Respiración
Pastoreo	+++ -	++ ==	++ ==	++ ==
Agrícola	++ = ---	++++ =====	===== -	++ =====

Cada símbolo representa el dato comparativo entre el manejo sustentable y el convencional de un sitio (+, = o -). Mejoras en el indicador (+), sin diferencias (=) y desmejoras en el indicador (-)

Con respecto a los suelos agrícolas (Tabla XIII-2), de los 9 manejos sustentables (en dos sitios se probaron dos manejos, uno agroecología y el otro cultivo de cobertura) se puede observar que el mayor impacto positivo se dió en la concentración de C (4 sitios) y el menor en la densidad aparente (ningún cambio salvo el sitio con siembra directa donde aumentó el valor de este índice). Con respecto a los rendimientos, en los sitios donde se pudo medir, más del 50% de las veces se afectó negativamente, por lo que para utilizar las prácticas de manejo sustentables que mejoran la calidad del suelo se deben ajustar para no afectar los rendimientos de los cultivos comerciales.

Con respecto a la biodiversidad edáfica solamente se pudo analizar en dos sitios, en uno dió a favor de la práctica de manejo (cultivo de cobertura) y en el otro caso no dió diferencias con respecto al manejo convencional (silvopastoril) por lo que se deberá continuar con estos estudios para poder determinar el efecto de las prácticas de manejo sobre esta variable tan importante.

Al analizar el nivel de cumplimiento de las DVGSS, se aprecia que más del 70% de los sitios evaluados por medio del Protocolo de Manejo de Suelos sostenible de FAO (2020) tienen un nivel medio o alto de cumplimiento, 22% tienen un nivel bajo de cumplimiento y solo el 5% de los sitios no cumple. Para el caso de las pasturas los niveles de cumplimiento son medios y bajos, mientras que para los usos agrícolas la mayoría muestran un cumplimiento medio (Tabla XIII-3). De esta manera, se puede ratificar que las Prácticas de Manejo Sostenible de Suelos y Aguas que se vienen aplicando están dando respuestas positivas para el suelo, aun cuando algunas requieren de una mayor tiempo de implementación y ajustes.

Tabla XIII-3. Nivel de Cumplimiento de las Directrices Voluntarias de Gestión Sostenible de Suelos (DVGSS) en los sitios pilotos evaluados.

SITIO PILOTO	USO DE LA TIERRA	NIVEL DE CUMPLIMIENTO DE LAS DVGSS
1	Pasturas	Medio
2a	Agrícola	Alto
2b	Agrícola	Medio
2c	Agrícola	Medio
3	Agrícola	Medio
4	Agrícola	No
5a	Agrícola	Medio
5b	Agrícola	Alto
5c	Agrícola	Bajo
6	Pasturas	Medio
7a	Pasturas	Medio
7b	Pasturas	Bajo
8	Agrícola	Medio
9a	Agrícola	Bajo
9b	Agrícola	Medio
10	Pasturas	Medio
11a	Agrícola	Alto

Finalmente se concluye que el Protocolo de Evaluación del Manejo sostenible de Suelos es una herramienta muy útil para monitorear los cambios en el suelo relacionado con las prácticas de manejo, por lo que es recomendable continuar con el trabajo de evaluación de estos sitios pilotos y de estos indicadores para poder tener una mayor precisión del efecto de la variabilidad interanual para detectar cambios en el suelo. Se puede concluir también que otros indicadores evaluados en algunos de los sitios pilotos como índices remotos (NDVI) para evaluar producción de cultivos o forrajes u otros indicadores de suelo como pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total y fósforo extractable pueden ser útiles para detectar síntomas de degradación física o química del suelo.

Bibliografía

- Álvarez, R., y S. Grigera. Analysis of soil fertility and management effects on yields of wheat and corn in the Rolling Pampa of Argentina. *Journal of Agronomy & Crop Science* 191:321-329 (2005).
- Alvarez R, Steinbach HS, De Paepe JL. 2017. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the Pampas: A meta-analysis. *Soil & Tillage Research*, 170, 53–65. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.03.005>.
- Anderson JM; Ingram JSI. 1993. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. CAB International. Wallingford, UK.
- Andrade, F. 2017. Los desafíos de la agricultura argentina. Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental. Ediciones INTA, 124 pp.
- Angella, G., Salvatierra, J., y Salgado, R. 2009. Informe sobre Comisión de Servicio a la localidad de Icaño, Dpto. Avellaneda, Santiago del Estero. EEA Santiago del Estero.
- Aracena, G. 2016. Comparación de tres técnicas de siembra y desarrollo del Cultivo de quinua en la Quebrada de Humahuaca - Jujuy. *ARTÍCULOS Y PONENCIAS EN CONGRESOS Documentos Desarrollados En El Marco Del Convenio Entre El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y La Universidad Nacional de Jujuy.*, 115–123.
- Aracena, G., & Carrizo, C. B. 2016. Unidad demostrativa de producción hortícola-ganadera controlada de base agroecológica. *ARTÍCULOS Y PONENCIAS EN CONGRESOS Documentos Desarrollados En El Marco Del Convenio Entre El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y La Universidad Nacional de Jujuy.*, 124–138.
- Aracena, G., & Tolaba, M. 2016. Determinación del costo de producción y rentabilidad de quinua bajo un sistema semi - mecanizado en la Quebrada de Humahuaca - Jujuy. *ARTÍCULOS Y PONENCIAS EN CONGRESOS Documentos Desarrollados En El Marco Del Convenio Entre El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y La Universidad Nacional de Jujuy.*, 91–107.
- Áreas de riego en la provincia de Santiago del Estero. Disponible en http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/estudio/riegointegral/areasexistentes/Anexos/PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO.pdf
- Arroyo, A. 2004. Diagnóstico productivo del departamento de Orán. INTA Estación Experimental de Cultivos Tropicales Yuto. <http://www.inta.gov.ar/yuto/info/documentos/extension/oran.pdf>
- Arzeno J.L. 2018. Manejo sostenible en el NOA. Revista: Anales de la ANAV tomo LXIX: 55-115.
- Baldassini, P; Volante, JN; Califano, LM; Paruelo, JM. 2012. Caracterización regional de la estructura y de la productividad de la vegetación de la Puna mediante el uso de imágenes MODIS. *Ecología Austral* 22, 22-32.
- Barnes A; Jochum M; Mumme S; Haneda NF; Farajallah A; Widarto TH; Brose U. 2014. Consequences of tropical land use for multitrophic biodiversity and ecosystem functioning. *Nature Communications* 5:5351. DOI: 10.1038/ncomms6351.
- Bedano JC; Domínguez A. 2016. Large-scale agricultural management and soil meso- and macrofauna conservation in the Argentine Pampas. *Sustainability* 8:653. DOI: 10.3390/su8070653
- Bedano JC; Domínguez A. 2017. Meso y Macrofauna del suelo. En: DJ Santos; MG Wilson; MM Ostinelli (Eds) Metodología de muestreo de suelo y ensayos a campo. Protocolos básicos comunes. 2da Edición. Ediciones INTA, Entre Ríos.

Bedano JC, Vaquero F, Domínguez A, Rodríguez MP, Wall L, Lavelle P. 2019. Earthworms contribute to ecosystem process in no-till systems with high crop rotation intensity in Argentina. *Acta Oecologica* 98:14-24

Beltrán MJ, Sainz-Rozas H, Galantini JA, Romaniuk RI, Barbieri P. 2018. Cover crops in the Southeastern region of Buenos Aires, Argentina: effects on organic matter physical fractions and nutrient availability. *Environmental Earth Sciences* 77: 428.

Beltran, MJ., Galantini, JA., Salvaggiotti, F., Tognetti, P., Bacigalupo, S., Sainz Rozas, HE., Barraco, M., Barbieri, P. 2021. Do soil carbon sequestration and soil fertility increase by including a gramineous cover crop in continuous soybean (*Glycine max*)? *J. of Soil Science Society of America Journal* <http://dx.doi.org/10.1002/saj2.20257>.

Bignell DE; Constantino R; Csuzdi C; Karyanto A; Konaté S; Louzada J; Susilo FX; Tondoh JE; Zanetti R. 2012. Macrofauna. Pp. 91-148. En: Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo (Moreira FMS; Huising EJ; Bignell DE, Eds.). Instituto Nacional de Ecología, México.

Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 1. Chemical and microbiological properties* (2nd ed., pp. 363–375). ASA and SSSA. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13>

Bran, DE; López, CR; Marcolín, AA; Ayesa, JA; Barrios, D. 1998. Valles y mallines de la comarca de Ingeniero Jacobacci (Río Negro). Distribución y tipificación utilitaria. Informe Técnico. Laboratorio de Teledetección Aplicada y SIG, EEA Bariloche, INTA. 27p.

Briones MJJ; Schmidt O. 2017. Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology*. DOI: 10.1111/gcb.13744.

Boer, I.J.M. de and Martin K. van Ittersum. 2018. Circularity in Agricultural production.

Cabrera, AL .1957. La vegetación de la Puna Argentina. *Revista de Investigaciones Agrícolas* 11 (4), 316-412.

Cabrera, AL. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 14 (1-2), 1-50.

Cabrera G; Robaina N; Ponce de León D. 2011. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes* 34:331-346

Cabrera Dávila G; Socarrás AA; Gutiérrez Cubría E; Tcherva T; Martínez-Muñoz CA; Lozada Piña A. 2017. Fauna del suelo. Pp. 254-283. En: *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas* (Mancina CA; Cruz DD, Eds.). Editorial AMA, La Habana, 502 pp.

Carpio AJ; Castro J; Tortosa FS. 2019. Arthropod biodiversity in olive groves under two soil management systems: presence versus absence of herbaceous cover crop. *Agricultural and Forest Entomology* 21:58-68

Castiglioni M, Eiza M, Navarro R, Beltrán MJ, Romaniuk RI. 2016. Efecto de los cultivos de cobertura sobre algunas propiedades físicas del suelo. *Cienc. Del Suelo (Argentina)* 34 (2): 263-278.

Ciari, G (2010) Funcionamiento hidrológico de los mallines y sus cuencas asociadas. *Carpeta Técnica, Medio Ambiente* Nº 13. EEA Esquel, INTA. 5p.

Colazo, J.C. y Garay, J.A. 2020, Cultivos de cobertura en San Luis, Información Técnica 197, ISSN 0327-425X, Ediciones INTA.

Decaens T. 2010. Macroecological patterns in soil communities. *Global Ecology and Biogeography* 19:287-302

Díaz Porres M; Rionda MH; Duhour AE; Momo FR. 2014. Artrópodos del suelo: Relaciones entre la composición faunística y la intensificación agropecuaria. *Ecología Austral* 24:327-334

Domínguez A; Bedano JC; Becker AR. 2010. Negative effects of no-till on soil macrofauna and litter decomposition in Argentina as compared with natural grasslands. *Soil and Tillage Research* 110:51-59

Esquivel J, Fassola HE, Lacorte SM, Colcombet L, Crechi E, Pachas N y Keller A. 2004. Sistemas silvopastoriles - Una sólida alternativa de sustentabilidad social, económica y ambiental. 11as Jornadas técnicas forestales y ambientales - FCF, UNaM - EEA Montecarlo, INTA, 2004.

Fabron, G., & Castro, M. 2019. Small scale agriculture in the highlands and lowlands. Comparative study between the Quebrada de Humahuaca and Florencio Varela. *Mundo Agrario*, 20(43). <https://doi.org/10.24215/15155994E109>

Gaitán J, Navarro FB, Carfagno P, Tenti Vuegen L. 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. 1ª. ed. Buenos Aires: Ediciones INTA. ISBN 978-987-521-857-4.

Gandara L, Faverin C, Cambareri GS, Tieri MP, Cosentino VRN, Recovarren PR, Beltran MJ, Yogi DR, Perrens GA, Colcombet L, Peri PL. 2021. ¿Podrán los sistemas silvopastoriles mejorar los balances de carbono en la Argentina? Actas del XI Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles. México, 3 la 5 de noviembre de 2021

Geointa. 2020. Disponible en: <http://www.geointa.inta.gob.ar/>. Última visita Agosto 2020.

Guía de prácticas de manejo sustentable de tierras y conservación de suelos – Región NEA. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/nea_guias_buenas_practicas.pdf

Hernández Llosas, M. I., Leoni, J. B., Scaro, A., Hernández, A., Fabron, G., Hesse, P., Bosio, L. A., Quinteros, R. A., & Castro, M. del P. 2021. Agricultura y ritual en el paisaje humano de 1000 AP de las nacientes de la Quebrada de Humahuaca. *Anuario de Arqueología*, 13(13), 41–64. <https://doi.org/10.35305/AA.V13I13.79>

INDEC (siglas para Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2019. Censo Nacional Agropecuario, 2018. Disponible en: https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_preliminares.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). Cuadros estadísticos: Resultados generales del Censo Nacional Agropecuario 2008, y Resultados preliminares del Censo Nacional Agropecuario 2018. Disponible en: <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87>

INTA s.f. Protocolo de evaluación de pastizales húmedos. PE I040 *Monitoreo de la degradación de tierras*.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 1978. Carta de suelos de los departamentos Belgrano y General Taboada, provincia de Santiago del Estero para el desarrollo agropecuario de la región centro-este.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2013. Centro Regional Salta – Jujuy. Estación Experimental Agropecuaria Salta. Proyecto Regional con Enfoque Territorial: PRET Valles Templados de Salta y Jujuy.

INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACIÓN DE MATERIALES. 1959a. Norma IRAM 17005 Carbones y Coques, Método de determinación de humedad.

INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACIÓN DE MATERIALES. 1959b. Norma IRAM 17006 Carbones y Coques, Método de determinación de Cenizas.

INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACIÓN DE MATERIALES. 1959c. Norma IRAM 17007 Carbones y Coques, Método de determinación de materiales volátiles.

Jenkinson DS; Powlson DS. 1976. The effect of biocide treatments on metabolism in soil. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8, 209-213.

Kim N; Zabaloy MC; Guan K; Villamil MB. 2020. Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. *Soil Biology and Biochemistry* 142:107701. DOI: 10.1016/j.soilbio.2019.107701

Kladivko EJ. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil & Tillage Research* 61:61-76.

Lavado RS, Taboada MA. 2009. The argentinean pampas: a key región with a negative nutrient balance and soil degradation needs better nutrient management and conservation programs to sustain its future viability as a world agrosresource. *J Soil Water Conserv* 65:150–153.

Lavelle P; Bignell D; Lepage M; Wolters V; Roger P; Ineson P; Heal OW; Dhillion S. 1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology* 33:159-193

Ledesma, LL. 1981. Los suelos del Departamento Quitilipi. Convenio INTA – Gobierno de la Provincia del Chaco.

Ministerio Agroindustria. 2020. Disponible en: <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/estimaciones-agricolas>. Última visita agosto 2022.

Morello, J; Matteucci, SD; Rodríguez, AF; Silva, M. 2012. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires. 752 p.

Nadir, A. y Chafatinos, T. 1990. Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy). Tomo I, II y III. Argentina: Ediciones INTA.

Navarro R. 2017. Cultivos de cobertura: Aporte y ciclado de nutrientes. Efecto sobre las propiedades físicas en el corto plazo. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. 184 pp.

Nelson, DW & LE Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Page AI (ed). *Methods of soil analysis. Part 2.* Am. Soc. Agr. USA, Agronomy 9:539-579.

Ocampo, F. 2010. Plan de Competitividad del Conglomerado Hortícola de la Provincia de Salta. Programa Norte Granda. Ministerio de Economía y Finanzas Públicas de la Nación.

OCDE DATA, 2018. Organisation for economic co-operation and development <https://stats.oecd.org/>

Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (S.F.) <https://www.fao.org/3/y5210s/y5210s05.htm#bm05>

Peña Zubiato, C, A, Anderson, D, L., Demmi, M, A., Sáenz, J, L., y D'Hiriart, A. 1998. Carta de suelos y vegetación de la provincia de San Luis (No, 631,44 C322), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y

Alimentación, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Gobierno de la Provincia de San Luis (Argentina).

Peri PL, Banegas N, Gasparri I, Carranza C, Rossner B, Martínez Pastur G, Cavallero L, López DR, Loto D, Fernández P, Powel P, Ledesma M, Pedraza R, Albanesi A, Bahamonde H, Ecclesia RP, Piñeiro G. 2017. Carbon Sequestration in Temperate Silvopastoral Systems, Argentina. In: Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty (F. Montagnini ed.), Advances in Agroforestry 12, Chapter 19, pp. 453-478. Springer International Publishing. ISSN 1875-1199.

Peri PL, Rosas YM, Ladd B, Toledo S, Lasagno RS y Martínez G. 2018. Modelling Soil Carbon Content in South Patagonia and Evaluating Changes According to Climate, Vegetation, Desertification and Grazing

Píccolo, A., Giorgetti, M. y Chavez, D. 2008. Zonas agroeconómicas homogéneas Salta y Jujuy. Salta, Argentina: Ediciones INTA.

Postma-Blaauw MB; de Goede RGM; Bloem J; Faber JH; Brussaard L. 2012. Agricultural intensification and de-intensification differentially affect taxonomic diversity of predatory mites, earthworms, enchytraeids, nematodes and bacteria. *Applied Soil Ecology* 57:39-49.

Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación, Degradación de Tierras y Mitigación de Sequía (2001).

R Core Team. 2021. R: a language and environment for statistical computing. R version 4.1.0. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Rimski-Korsakov H, Alvarez CR, Lavado RS. 2015. Cover crops in the agricultural systems of the Argentine Pampas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(6), 134A-140A. <https://doi.org/10.2489/jswc.70.6.134A>.

Rodríguez J. 2007. Descripción de la Quebrada de Humahuaca. Cooperativa CAUQUEVA.

Romaniuk, R.I., Beltrán, M.J., Brutti, L., Constantini, A., Bacigaluppo, S., Sainz-Rozas, R., Salvagiotti, F. 2018. Soil organic carbon, macro and micronutrients changes in soil fractions with different lability in response to crop intensification. *Soil & Tillage Research* 181: 136-143.

Ruthsatz, B; Movia CP. 1975. Relevamiento de las estepas andinas del noreste de la provincia de Jujuy. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 127 p.

Salvatierra, J. y Salgado, R. 2008. Informe de la Jornada teórico-práctica sobre “Eficiencia de riego, riego tradicional, curvas de nivel y trancas de lona, en lotes de productores”. EEA Santiago del Estero.

Schreefel, R.P.O. Schulte, I.J.M. de Boer, A. Pas Schrijver, H.H.E. van Zanten. 2020. Regenerative agriculture – the soil is the base, *Global Food Security*, Volume 26.

Scianca, C. 2010. Cultivo de cobertura en Molisoles de la región pampeana: Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas y dinámica de malezas. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 80 pág.

Sevilla Guzmán, E. 2006a. De la sociología rural a la agroecología. Barcelona España: Icaria Editores.

Soil Survey Staff. 2017. Keys to Soil Taxonomy. USDA-NRCS. Washington, DC, USA.

Swift MJ; Izac AMN; Van Noordwijk M. 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes - Are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:113-134. DOI: 10.1016/j.agee.2004.01.013.

Wilson, MG (ed.). 2017. Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. 1a ed. Entre Ríos: Ediciones INTA. 151 p.

Zenón, D. Estado de avance de implementación del Plan Provincial de Manejo de Vicuñas en Silvestría. Informe presentado en la 1ra. Reunión de la Mesa Vicuñera Provincial. Abra Pampa, Jujuy, 26 de abril de 2022.

Zerbino S; Altier N; Morón A; Rodríguez C. 2008. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia* 12:44-55.