

Ensayos de larga duración

Relación estratégica INTA-CREA, hacia una producción sostenible

EDITORES

Quiroga Alberto, Fernández Romina y Álvarez Cristian



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA
Centro Regional La Pampa-San Luis
Estación Experimental Agropecuaria Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas"

Recopilación

Milena Ormeño

Diseño Gráfico

Dis. Gráf. Francisco Etchart

Octubre de 2021



EDICIONES INTA

Centro Regional La Pampa-San Luis
EEA INTA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”
RN N°5 Km 580, CP 6326, Anguil, La Pampa, Argentina

CONTENIDOS

<i>Capítulo 1</i> INTRODUCCIÓN GENERAL El inicio de los ensayos de larga duración en La Pampa Quiroga Alberto, Fernández Daniel	5	<i>Capítulo 6</i> Incidencia de 20 años de agricultura continua en siembra directa sobre propiedades edáficas: seguimiento de lotes <i>Experiencia que se lleva a cabo en Mari Lauquen-30 de Agosto</i> Quiroga Alberto, Sabatini Luis, Bono Alfredo, Kloster Nanci, Fernández Romina	57
<i>Capítulo 2</i> Primeras experiencias de efectos acumulados de labranzas sobre suelos y cultivos en la planicie con tosca <i>Experiencia llevada a cabo en EEA INTA Anguil</i> Monsalvo Martín, Quiroga Alberto	12	<i>Capítulo 7</i> Rotación, siembra directa y fertilización en sistemas ganaderos de la Región Semiárida Pampeana <i>Experiencia llevada a cabo en Toay</i> Vallejo Alejandro, Souto Roberto, Quiroga Alberto	67
<i>Capítulo 3</i> Efecto de la labranza y la ganadería sobre propiedades edáficas y eficiencia en el uso del agua en un Molisol franco arenoso <i>Experiencia que se lleva a cabo en Dorila</i> Quiroga Alberto, Ormeño Oscar, Fernández Romina, Álvarez Cristian, Frasier Ileana, Noellemeyer Elke	22	<i>Capítulo 8</i> Inclusión de cultivos de cobertura en planteos de soja continua <i>Experiencia que se lleva a cabo en Anguil</i> Fernández Romina, Fernández Daniel, Perez Micaela, Noellemeyer Elke, Quiroga Alberto	78
<i>Capítulo 4</i> Evaluación del aporte de distintos nutrientes y del riego complementario en la secuencia trigo-soja-maíz-soja <i>Experiencia llevada a cabo en Mari Lauquen</i> Quiroga Alberto, Ormeño Oscar, Saks Matias, Fernández Romina	35	<i>Capítulo 9</i> Producción, calidad y eficiencia en el uso del agua de pasturas perennes en rotación. Respuesta a la fertilización <i>Experiencia que se lleva a cabo en EEA INTA Anguil</i> Fernández Romina, Scherger Eric, Uhaldegaray Mauricio, Oderiz Agustín, Quiroga Alberto	85
<i>Capítulo 5</i> Efectos de la fertilización sobre la eficiencia de uso del agua de la rotación en un suelo arenoso franco <i>Experiencia llevada a cabo en Trili</i> Otamendi Hernán, Fernández Romina, Funaro Daniel, Alvarez Cristian, Quiroga Alberto	45	<i>Capítulo 10</i> Contribución de las pasturas perennes a la sostenibilidad de los sistemas de producción <i>Experiencia que se lleva a cabo en EEA INTA Anguil</i> Fernández Romina, Quiroga Alberto	94

<i>Capítulo 11</i>	113
Efectos acumulados de la inclusión de cultivos de cobertura en planteos con alta frecuencia de silo	
<i>Experiencia que se lleva a cabo en EEA INTA Anguil</i>	
Uhaldegaray Mauricio, Oderiz Agustín, Frasier Ileana, Kloster Nanci, Fernández Romina, Quiroga Alberto	
<i>Capítulo 12</i>	125
Uso de efluentes de tambo como fuente de nutrientes para la producción de forraje. Efectos sobre el suelo	
<i>Experiencia que se lleva a cabo en EEA INTA Anguil</i>	
Scherger Eric, Fernández Romina, Frasier Ileana, Perez Micaela, Quiroga Alberto	
Bibliografía	133
Actual equipo de trabajo de Suelos y Agua de EEA INTA Anguil	140

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

El inicio de los ensayos de larga duración en La Pampa

Quiroga Alberto¹ 2, Fernández Daniel³

1INTA, 2FA-UNLPam, 3 Ex asesor CREA

En este primer capítulo hemos resumido parte de la historia y carisma fundacional de quienes fueron “vértebras” en el desarrollo de instituciones como CREA e INTA. Un poco más adelante en el tiempo presentamos alguno de los “pasos transitados” para la puesta en común de prioridades de experimentación buscando respuestas a problemáticas emergentes de los sistemas de producción. Finalmente, un breve comentario de cómo se iniciaron los módulos de experimentos de larga duración, cuyos resultados serán abordados en los siguientes capítulos.

Contenido del capítulo

- Pioneros en el manejo conservacionista.
- El preámbulo a los módulos de experimentación de larga duración.
- Convenio de trabajo y comisión labranzas.
- El estado actual de los suelos (1993).
- Evaluación preliminar de lotes destinados al desarrollo de los módulos, (Informe N° 1, julio 1993).

1. Pioneros en el manejo conservacionista

Pablo Hary, junto a un grupo de amigos y vecinos, fundó en 1957 el primer Consorcio Regional de Experimentación Agrícola: el grupo Henderson-Daireaux. Allí se sentaron las bases del Movimiento CREA, entre las cuales la conservación de los suelos fue una de las prioridades. En lo personal, quisiera resumir la calidad humana de Don Pablo que instaba a productores y técnicos a compartir talentos y capacidades con generosidad “dejando las tranqueras abiertas” de los campos

CREA para que todos pudieran acceder. “Sólo una acción brillante nos hará trascender, hará que nuestra filosofía se contagie. Así, cinchando todos juntos, podremos realizar esos grandes ideales que muchos proclaman, pero que pocos apoyan con esfuerzo efectivo” (Pablo Hary).

Guillermo Covas, fue el organizador de la Estación Experimental del INTA Anguil, a partir de su creación en abril de 1954, y guió tenazmente al personal para transformar a la misma en sinónimo de recuperación de ambientes degradados y de mejoramiento genético de forrajeras. Sentó las bases del manejo conservacionista de los suelos que en la época se encontraban afectados por severos procesos de erosión. Como no recordar el rastrón poceador, el pasto llorón, los cereales de invierno. Fue director de la EEA hasta 1977, por más de veinte años, y fue también presidente del Consejo Directivo del INTA a principios de los ´80. De manera similar a Don Pablo lo impulsaba un espíritu muy solidario, priorizando lo colectivo por sobre lo individual e incluso resignando beneficios personales.

Ambos precursores/iniciadores imprimieron estos carismas a sus colaboradores más cercanos, “no con palabras, sino con sus propios testimonios”. Por ello, nuestro reconocimiento en nombre de todos los que hemos transitado por las *huellas que nos dejaron*.

2. El preámbulo a “los módulos de experimentación de larga duración”

En 1983, recién recibido y ya trabajando como asesor del crea Riglos el Ing. Agr. Oscar Ormeño comienza a desarrollar su actividad profesional en

la Región Semiárida, siendo el precursor de los módulos de experimentación en labranzas de la región. Es interesante considerar su visión sobre los sistemas de producción de esa época, señalando que la ganadería predominaba en la zona. Los campos tenían vacas de cría en algunos casos y hacían una ganadería de ciclo completo. Los más avanzados, combinaban ganadería de invernada sobre alfalfas puras y consociadas con cultivos agrícolas. La zona era triguera por excelencia y se comenzaba a difundir el cultivo de Girasol. Avena y centeno se usaban como cultivos de pastoreo, al igual que maíz, que rara vez llegaba a cosecha. Los herbicidas poco se conocían. Hormonales, y algunos premergentes como trifluralina y atrazina. Las plagas predominantes pulgón, tucura, insectos de suelo y orugas defoliadoras. Se usaban fosforados y algunos clorados para combatirlos. Los rindes eran 18 qq en trigo 12 qq en girasol y 30 qq en maíz. Los rastros se sobre-pastoreaban y era común observar invernadas de más de 24 meses, con grandes restricciones de alimento en invierno y compensatorios en verano. La década del 90, según Oscar, fue marcada por un proceso que llevó a los productores a idear los establecimientos como empresas, y por lógica a sentirse como empresarios. Y digo sentirse, porque no todos realmente se recibieron de empresarios. AACREA hizo un esfuerzo notable en la capacitación de sus miembros y la avidez por aprender este oficio fue enorme en el movimiento. Los congresos, en las diferentes zonas mostraban temarios relacionados con la empresa, dejando los temas estrictamente técnicos para jornadas zonales. Por ejemplo, en el VII Congreso Crea Zona Oeste Arenoso (Mar del Plata, 1994) uno de los principales temas tratados fue "la filosofía CREA frente al cambio".

Señala Oscar, que la posibilidad de tener una metodología que permitía analizar el resultado de la Empresa (gestión), terminaba la era de las sensaciones para pasar a la era de las realidades. A la vez, permitía tener una base sólida para planificar el futuro resultado a partir de los objetivos trazados por el empresario. No fue fácil aprender esta metodología de trabajo y recuerdo que, a la hora de preparar las reuniones mensuales en cada establecimiento, llevaba horas traducir los Objetivos deseados por la administración. Yo creo que este fue, sin lugar a dudas un aprendizaje tan importante como descubrir el sistema mixto. A partir de

esta metodología, ya no se podía observar el establecimiento solamente como un romántico estilo de vida, sino además como una empresa que generaba riqueza, mano de obra, bienestar a sus empleados, nivel de vida a sus administradores o dueños y aseguraba un destino a futuras generaciones, conservando los recursos naturales. Más tarde ya a partir del 2000, se le llamaría sustentabilidad y toda actividad humana se alinearía bajo ese concepto. Precisamente, durante el XII Congreso CREA (2003) se trataron distintos aspectos de la Sustentabilidad de las empresas mixtas: responsabilidad social, eje ecológico y sustentabilidad económica. Poniendo el acento en que la diversidad genera estabilidad.

Mientras tanto, los técnicos buscábamos respuestas más terrenales e inmediatas a los problemas productivos, la erosión, la oportunidad de sembrar en tiempo y forma en mucha superficie, evitar los planchazos, el incremento de los rindes, el control de malezas y la disminución de los gastos de implantación. Las labranzas que se practicaban por esos tiempos (mediados de los ochenta) no resultaban propicias para mejorar el uso del agua y reducir los riesgos de erosión.

En forma paralela a estas iniciativas de los grupos CREA, en la EEA INTA Anguil se ponía en marcha (1985) el primer ensayo de larga duración de labranzas conducido en la provincia de La Pampa. El cual fue complementado con ensayos realizados en lotes de productores, transportando a tal fin (en camión) las dos sembradoras disponibles en INTA en esa época (sembradoras Noble Drill para fina y Buffalo para gruesa). Con esta información preliminar/exploratoria se edita una "Guía Elemental para la Siembra Directa" (Monsalvo y Quiroga, 1989).

3. Convenio de trabajo y comisión labranzas

En base a lo expuesto, ambas instituciones comienzan a trabajar conjuntamente con la finalidad de concretar un plan/proyecto de labranzas conservacionistas para la zona Oeste Arenoso de AACREA. El objetivo general fue "Evaluar prácticas de manejo y conservación que permitan un adecuado manejo de los recursos suelo y agua"; mientras que, los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Evaluación del nivel de adopción de prácticas conservacionistas a nivel zonal
- Evaluación de diferentes secuencias de labores a partir de distintos antecesores y cultivos
- Evaluación del comportamiento de las malezas y su control a partir de diferentes técnicas de manejo
- Evaluación de las técnicas de siembra directa y su inserción en los modelos de producción actuales
- Evaluación de la respuesta a la aplicación de fertilizantes bajo técnicas conservacionistas

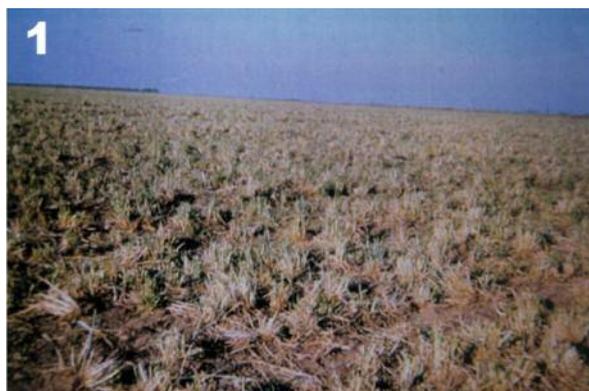
4. El estado actual de los suelos (1993)

Como parte del proyecto de labranza conservacionista se coincidió en la necesidad de establecer cierta línea de base o condición inicial de los suelos sobre los cuales se comenzaría a acumular efectos de distintas estrategias de manejo.

En relación con el "estado actual" de estos suelos Covas y Glave (1988) señalaban que debido al mal uso que el hombre hace del recurso se

encontraban afectadas por erosión eólica, en la provincia de La Pampa, más de 500 mil ha y que la erosión hídrica (con más de 200 mil ha afectadas en forma severa) estaba aumentando a mayor ritmo. Por su parte Kruger y Puricelli (1992) expresaban que nuestros sistemas mixtos de producción deben sustentarse en la aptitud de las tierras, especialmente en el conocimiento del suelo y sus limitaciones para implementar la fase agrícola. En la medida que los suelos han sido utilizados por encima de su capacidad de uso se han producido, en esta región, cambios desfavorables en algunas de las propiedades edáficas con importantes reducciones en los contenidos de materia orgánica. Glave (1989) indica que, para el área de Bordenave, el uso continuo del suelo durante 80 años originó pérdidas del 25% de materia orgánica, 30% de nitrógeno y 39% de fósforo total.

Tallarico y Puricelli (1983) también registraron en la zona centro CREA (Córdoba, San Luis y norte de La Pampa) el efecto degradante de ciertas prácticas de manejo sobre la fertilidad física y química de los suelos. En este proceso de degradación es necesario tener presente que la incorpora-



Fotos correspondientes a un ensayo de labranzas realizado en 1993 sobre antecesor verdeo (1), donde se evalúa el establecimiento de girasol en siembra convencional (2), labranza vertical (3) y siembra directa (4).

ción al cultivo de suelos vírgenes normalmente produce una rápida pérdida de materia orgánica en los primeros años como consecuencia que una parte importante de la materia seca producida es extraída a través de cosechas y pastoreo, generando bajos niveles de cobertura. Paralelamente la erosión hídrica y eólica pueden incrementar las pérdidas produciendo degradación de la estructura y aumento en la oxidación de la materia orgánica fácilmente descomponible (Rasmussen y Collins, 1991).

Smith y Elliott (1990) señalaron que los niveles de materia orgánica en regiones semiáridas están declinando como consecuencia de prácticas de labranzas intensivas que estimulan la descomposición microbiológica de residuos de cultivos. Al respecto, las Fotos 1 a 4 muestran los niveles de cobertura asociado a tres sistemas de labranzas contrastantes. Las mismas corresponden al primer ensayo donde comparamos labranza vertical (cinzel + cultivador), convencional (discos) y siembra directa. Doran (1980) reportó, que la población microbiana bajo labranza convencional es más oxidativa que bajo siembra directa. Esta disminución es usualmente exponencial, declinado rápidamente durante los primeros 10-20 años, luego más lentamente y se aproxima a un nivel de equilibrio (Campbell, 1978). Estos niveles de equilibrio "aparente" de la materia orgánica resultan dependientes de la tasa de adición y descomposición de residuos y de los procesos de erosión del suelo. Por lo tanto, el nuevo nivel alcanzado puede resultar altamente dependiente de las prácticas del agricultor, especialmente en lo relacionado con la rotación de cultivos, manejo de los residuos de cosecha y, tipo y oportunidad de las

labranzas (Larson et al., 1972).

Mientras los efectos cuantitativos del manejo eran ampliamente estudiados resultaba escasa/incipiente para la época la información sobre la influencia del manejo en la calidad de la materia orgánica (Capriel et al., 1992). Es decir, sobre la variación de las distintas fracciones orgánicas, dado el diferente grado de influencia que las mismas poseen sobre propiedades físicas de los suelos. Evaluaciones realizadas sobre 52 suelos sometidos a distintos manejos mostraron que la principal pérdida de materia orgánica se estaba produciendo en la fracción más joven (100-200 μm). La Figura 1 muestra los contenidos promedios obtenidos bajo distintos manejos de la materia orgánica joven (MOJ) y la materia orgánica vieja (MOV). Estas pérdidas comenzaron a preocupar dada la influencia que la disminución en los contenidos de materia orgánica posee sobre aspectos como la susceptibilidad a la compactación, densidad aparente, estabilidad estructural y la captación, almacenaje y eficiencia de uso del agua aportada por las precipitaciones.

Los resultados preliminares permitían inferir que, luego de cierto tiempo de acumular efectos de manejos sobre el suelo, cada lote alcanza una "condición actual" que le es propia y por consiguiente podría llegar a interaccionar de manera particular frente a prácticas que, como la fertilización, siembra directa, labranza vertical profunda, han comenzado a realizarse en nuestra región. La identificación de parámetros edáficos que resultan más sensibles al manejo y que pueden llegar a ser utilizados con carácter de diagnóstico en la toma de decisiones comenzó a ser una de las prioridades de estudio durante la década del '90.

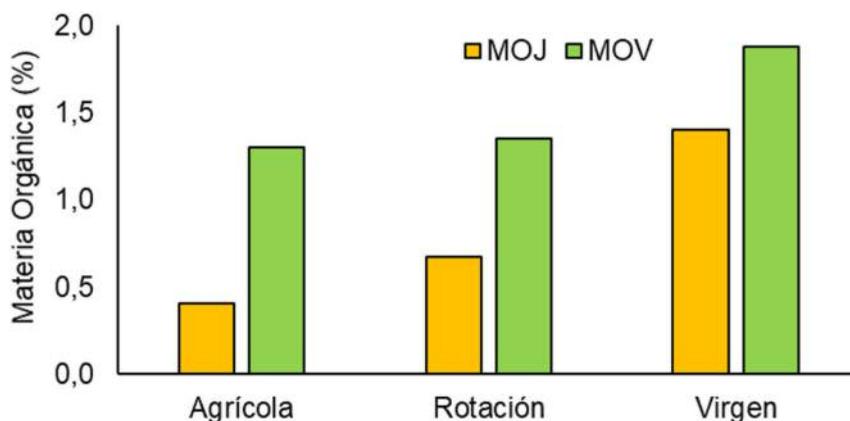


Figura 1: Contenidos promedios de materia orgánica joven (MOJ) y vieja (MOV) de 52 suelos de la Región Semiárida Pampeana bajo tres prácticas de uso.

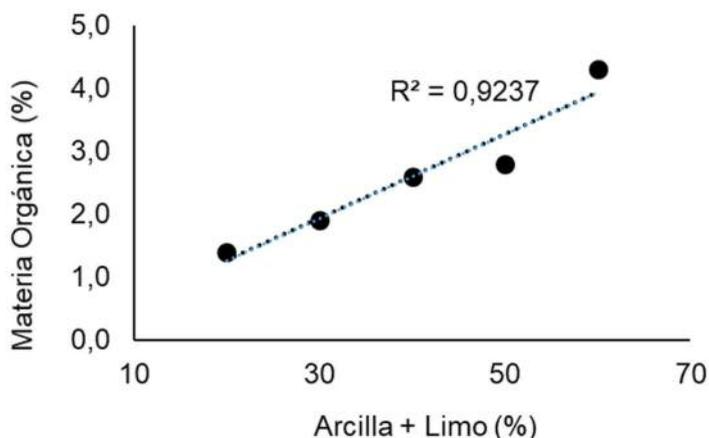


Figura 2: Relación entre arcilla + limo y materia orgánica de horizontes A.

Especialmente porque en función de variaciones en la textura de los suelos (Figura 2) se registran importantes diferencias en los niveles alcanzados por distintas propiedades edáficas lo cual puede dificultar la extrapolación de los resultados de las experiencias y hacer variar significativamente el comportamiento de los tratamientos evaluados.

Por ejemplo, en la Figura 2 se muestra la estrecha relación entre la fracción arcilla + limo y los contenidos de materia orgánica de horizontes A. Esta relación que parece caracterizar regiones semiáridas se debería a que, en los suelos de granulometría más fina, con mayor capacidad de almacenaje de agua, se ve favorecida la actividad biológica y acumulación de residuos, dando como resultado mayores contenidos de materia orgánica (Buschiazzo y Quiroga, 1988).

De acuerdo con esta relación, un valor de 1,5% de materia orgánica puede ser interpretado como bajo, medio o alto, dependiendo de la textura del suelo considerado. Desde otro punto de vista un suelo con 2% de materia orgánica no necesariamente refleja una mejor condición de manejo que otro que posee 1,5%.

A partir de estos ejemplos es posible hacer una mejor interpretación de por qué uno de los principales objetivos del manejo conservacionista, acordado por ambas instituciones (INTA-CREA), es recuperar y conservar los niveles de materia orgánica en un "rango adecuado" a fin de no condicionar la producción ni la calidad del suelo.

5. Evaluación preliminar de lotes destinados al desarrollo de los módulos (Informe N°1 del proyecto para la zona Oeste Arenoso, julio 1993).

A partir del proyecto "Labranza Conservacionista" se efectuaron durante 1992/93 visitas exploratorias a fin de determinar los sitios donde se llevarían a cabo las experiencias.

Se visitaron establecimientos de la zona Oeste Arenoso, localizados al norte, centro y sur de la misma. Durante cada visita, se entrevistó al propietario y/o administrador para conocer sobre distintos aspectos relacionados con la factibilidad de implementar las experiencias:

- Historia del establecimiento en labranzas
- Problemática actual
- Infraestructura (maquinaria, personal)
- Características de los suelos, realizando muestreos para determinaciones de:
 - materia orgánica
 - capacidad de retención de agua
 - compactación subsuperficial

A continuación, se muestra parte de la información correspondiente a los suelos evaluados en esa primera etapa de trabajo (materia orgánica y capacidad de retener agua, Tabla 1) y las determinaciones de resistencia a la penetración a los primeros 50 cm (Tabla 2). La Foto 5 muestra ensayo de labranza y fertilización en girasol realizado en el establecimiento "El Poleo" (Módulo Macachín, 1993) y la Foto 6 muestra la respuesta del desarrollo inicial de trigo, en siembra directa y labranza vertical con y sin fertilización (Miguel Riglos, 1991).

Fue muy importante para el grupo de trabajo tener en cuenta este rango de variación, entre lotes evaluados, a fin de que las experiencias puedan establecerse sobre perfiles de suelos representativos de la Zona y no se encuentren mayores

Perfil N°	Lote	Establecimiento	Localidad	Materia Orgánica (%)	Retención de agua (mm)
1	11	La Teresita	Macachín	0,84	24,1
2	21	Mahu Mahu	Trebolares	0,94	28,8
3	15	El Poleo	Macachín	0,94	26,8
4	17	El Poleo	Macachín	1,27	37,8
5	13	El Poleo	Macachín	1,31	33,7
6	15	El Poleo	Macachín	1,31	45,8
7	9	Alfalfar	Larroudé	1,40	41,4
8	17	El Poleo	Macachín	1,64	40,3
9	34	La Punilla	C. Barón	1,64	63,9
10	24	Maria Pilar	Catriló	1,68	32,8
11	14	Mahu Mahu	Trebolares	1,68	47,9
12	15	La Teresita	Macachín	1,85	68,0
13	4	El Descanso	M. Riglos	1,85	40,7
14	4	La Perlita	M. Riglos	1,98	41,0
15	24	Mahu Mahu	Trebolares	2,20	50,4
16	16	Mahu Mahu	Trebolares	2,22	52,6
17	25	Maria Pilar	Catriló	2,30	41,8
18	18	Mahu Mahu	Trebolares	2,32	49,0
19	3	Alfalfar	Larroudé	2,32	65,5
20	14	Maria Pilar	Catriló	2,32	46,1
21	20	Mahu Mahu	Trebolares	2,59	51,5
22	1	Don Jesús	Dorila	1,92	61,6
23	2	Don Jesús	Dorila	1,47	46,7
24	3	Don Jesús	Dorila	1,79	57,7
25	23	Trili	Colonia	1,80	54,6
26	20	Trili	Colonia	1,45	49,5

Tabla 1: Materia orgánica (%) y capacidad de retener agua del estrato superior del suelo (30cm) para 21 lotes del Oeste Arenoso.

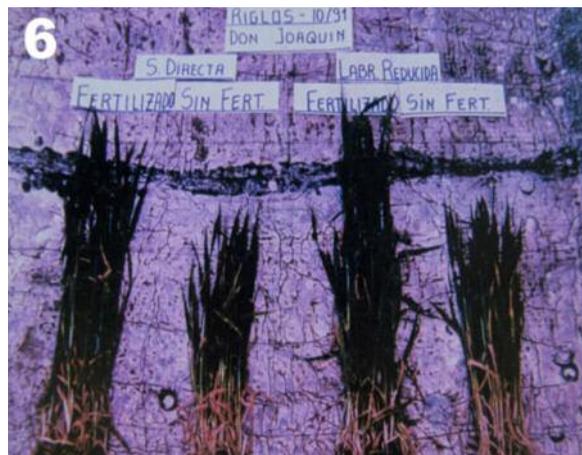


Foto 5: ensayo de labranza y fertilización en girasol en el establecimiento El Poleo (1993) y Foto 6 ensayo de labranza y fertilización en trigo en establecimiento Don Joaquín (1991).

dificultades al momento de extrapolar los resultados obtenidos. La Figura 3 muestra esta estrecha relación entre materia orgánica y retención de agua. La influencia de labranzas, fertilización, presencia y control de malezas y de otras prácticas a efectuar pueden tener distinto comportamiento si se realizan, por ejemplo, sobre los perfiles 1 o 2 con baja materia orgánica y capacidad para almacenar agua que, si se efectúan sobre los perfiles

18, 19, 21 que comparativamente poseen altos valores en las propiedades edáficas mencionadas.

A estas diferencias, debidas fundamentalmente a la influencia de variaciones en la textura, se suma el efecto que ha tenido el manejo sobre los niveles de materia orgánica y también sobre el desarrollo de compactaciones subsuperficiales. En relación a este último aspecto se muestran diferencias en la resistencia a la penetración que ofre-

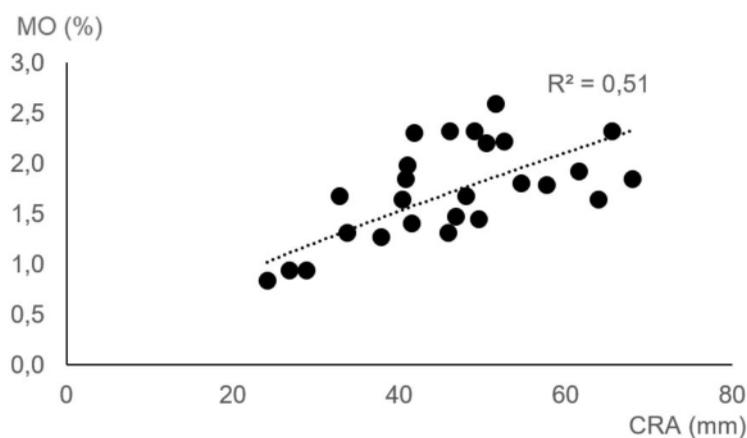


Figura 3: Contenidos de materia orgánica (%) y capacidad de retención de agua (mm/30cm) en 26 lotes de Este de La Pampa.

Profundidad (cm)	Perfil 6	Perfil 5	Perfil 9	Perfil 19	Perfil 1	Perfil 23
0-10	1,7	2,2	29,2	4,1	5,0	11,2
10-20	4,2	9,0	29,7	5,8	7,9	7,3
20-30	7,9	7,9	25,8	24,7	8,4	6,7
30-40	7,3	6,2	17,4	25,3	6,7	5,6
40-50	5,6	5,0	11,2	14,5	5,0	5,0

Tabla 2: Resistencia a la penetración (kg/cm²).

cieron algunos de los perfiles evaluados que, al momento del muestreo, se encontraban preparados para establecer cereales de invierno (Tabla 2).

Sin dudas que estas diferencias en la condición "actual" de los perfiles pueden incidir de manera muy distinta sobre el comportamiento de los cultivos y seguramente sobre la respuesta que se pueda obtener al ensayar variantes tecnológicas.

De estas evaluaciones preliminares/exploratorias resulta evidente que el Oeste Arenoso posee suelos con variaciones en sus propiedades edáficas que deberán ser consideradas, además de otros factores, en la evaluación de prácticas como labranzas y fertilización a fin de interpretar

correctamente los resultados experimentales y facilitar su extrapolación.

Por ello fue necesario ensayar prácticas de manejo y realizar evaluaciones sobre diferentes lotes "distribuidos" a lo largo del rango de variación (textural, materia orgánica y capacidad de retención de agua) de los suelos que caracterizan el Oeste Arenoso. *En los siguientes capítulos presentaremos resultados de alguno de los experimentos de larga duración conducidos durante poco más de 30 años de trabajo compartido.*

CAPÍTULO 2

Primeras experiencias de efectos acumulados de labranzas sobre suelos y cultivos en la planicie con tosca

Monsalvo Martín¹, Quiroga Alberto^{1,2}

1 INTA, 2 FA-UNLPam

Experiencia llevada a cabo en EEA INTA Anguil

Este capítulo se incluye de manera especial en la presente publicación porque constituye la primera experiencia de larga duración que evalúa los efectos acumulados de la siembra directa en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. El módulo fue conducido entre 1985 y 1994, comparando monoculturas de trigo, sorgo, rotación trigo-sorgo y sorgo-trigo bajo siembra directa y siembra convencional (discos). Es una de las pocas experiencias que considera el efecto año y por consiguiente se plantea la secuencia trigo-sorgo y sorgo-trigo, de manera de evaluar todos los años los cultivos de trigo y sorgo en rotación. Se evaluaron los efectos sobre propiedades edáficas (físicas, químicas y biológicas) y rendimientos de cultivos bajo las distintas secuencias. Teniendo en cuenta que los tratamientos fueron establecidos hace 36 años, algunas consideraciones e incluso bibliografía pueden parecer desactualizadas, pero se decidió mantener “el análisis y percepción” de las problemáticas que transitaban los sistemas de producción de esa época.

Contenido del capítulo

- Objetivos
- Características de la experiencia
- Resultados
 - Densidad aparente, fósforo, conductividad hidráulica, resistencia a la penetración, distribución de agregados, estabilidad estructural, densidad aparente máxima, almacenaje de agua del suelo, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, pH, frac-

ciones de MO, nitratos, biomasa microbiana, efecto sobre los cultivos.

- Consideraciones finales

Objetivos

El área de influencia de la EEA Anguil abarca aproximadamente 100.000 km² de la Región Semiárida Pampeana. Del análisis de los sistemas de producción realizado en 1984 se desprende que predominaban en la región los sistemas de producción mixtos, con ciclos agrícolas y ganaderos alternados. La ocurrencia de precipitaciones en otoño y primavera permitía realizar cultivos invierno-primaverales y de verano. Entre los primeros se encontraban el trigo y la avena, y entre los últimos el maíz para pastoreo, sorgo y girasol. Sorgo era uno de los principales cultivos de verano y en maíz se utilizaban también algunas variedades (ej. colorado la holandesa) que posibilitaba al productor producir su propia semilla y que resultaron muy propicias para el uso por la ganadería. Entre las especies de pasturas perennes más utilizadas en los ciclos ganaderos, se cuenta la alfalfa, que se consocia con algunas gramíneas, principalmente festuca. El pasto llorón se utilizaba como pastura perenne (permanente) en suelos con baja aptitud agrícola y con alta susceptibilidad a la erosión.

Los sistemas de labranza predominantes para la implantación y mantenimiento de los cultivos se basaban en la utilización de implementos de discos (rastrón, rastras dobles) y arados de reja y vertedera. Como consecuencia de ello, la cobertura vegetal de los suelos durante los barbechos raramente superaba el 15% y no resultaban eficientes para mitigar el proceso de erosión eólica. En los

últimos años se fueron incorporado implementos de labranza vertical (cincales y cultivadores), y hacia principios de los `90, la siembra directa de cultivos. Al respecto, ensayos exploratorios realizados por INTA en campo de productores (6 localidades entre 1986 y 1988) fueron precursores al mostrar el promisorio comportamiento de la SD (en ese momento sin fertilizar) en distintos cultivos y tipos de suelos. Durante el primer año de SD y tomando como referencia la SC los cultivos alcanzaron rendimientos del 83% en trigo, 86% girasol, 86% sorgo, 95% maíz y 127% soja. Existía consenso que en general los primeros 2 a 4 años bajo SD se obtenían menores rendimientos que SC asociado principalmente a una menor disponibilidad de N (menor mineralización). Además, las sembradoras tenían algunas limitantes para realizar una adecuada siembra por lo que era común incrementar la cantidad de semilla en un 10 a 15%, respecto de SC. En general los primeros cultivos eran más desuniformes.

En base a lo expuesto, el objetivo de la experiencia fue evaluar los efectos acumulados de distintas secuencias de cultivos bajo dos sistemas de labranza sobre propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos.

Características del ensayo

Este estudio se realizó sobre un suelo de textura franco arenosa (hoy clasificado como Paleustol petrocálcico), representativo de la unidad geomorfológica de las planicies con tosca. El suelo utilizado poseía una secuencia de horizontes A-AC-C1-C2ca, con presencia de tosca a 105 cm. Se com-



Foto 1: Vista de la sembradora Noble Drill utilizada para el establecimiento de cereales de invierno.

pararon dos sistemas de labranza: convencional (SC) y siembra directa (SD), combinadas con cuatro secuencias de cultivos: monoculturas de trigo y sorgo, y rotaciones sorgo/trigo y trigo/sorgo. Cada tratamiento se realizó por triplicado, en parcelas de 300 m² distribuidas en bloques al azar. Se utilizaron sembradoras Noble Drill para fina (Foto 1) y Buffalo para gruesa. Un detalle de los tratamientos realizados consta en la Tabla 1 y Foto 2.

En ambos sistemas de labranza y cultivos se realizaron barbechos y los residuos de las cosechas no fueron pastoreados. Las secuencias de cultivos fueron mantenidas hasta el noveno año, a partir del cual todas las parcelas se sembraron con trigo. Al décimo año se sembró avena para producción de forraje. En los últimos 2 años se evaluó la respuesta de trigo y avena a la fertilización nitrogenada, aplicando 80 kg/ha de urea en crecimiento temprano.

Resultados

Efectos sobre el suelo

Densidad aparente (DA), porosidad y conductividad hidráulica (K):

Los valores de estos parámetros, obtenidos luego de cinco años de efectos acumulados, se presentan en la Figura 1. Se puede observar que los suelos bajo SD presentaron valores más elevados de DA y más bajos de poros menores a 1000 um y de K en la capa superficial (0-10 cm) que aquellos bajo SC. En la capa subsuperficial (15-25 cm) ocurrió lo opuesto.



Foto 2: Vista parcial del ensayo con parcelas en siembra directa y siembra convencional.

Cultivo	Fecha	SD	SC
TRIGO	Feb-Mar	Roundup + 2,4D	Rastrón
	May		Rastrón
	Jun	Roundup	Rastrón
	Jun-Jul	Siembra	Siembra
	Ago	2,4D + Tordón	2,4D + Tordón
	Dic	Cosecha	Cosecha
SORGO	Dic	Desmal/picadora	Rastrón
		Roundup/desmalezadora	
	May-Jun		Rastrón
	Set		Rastrón
	Nov	Roundup, Atrazina	Rastrón, atrazina
	Nov	Siembra	Siembra
	Herbicida	Escardillo	
	Abr-May	Cosecha (mayo)	Cosecha (abril)

Tabla 1: Principales labores y herbicidas utilizados en los tratamientos del ensayo.

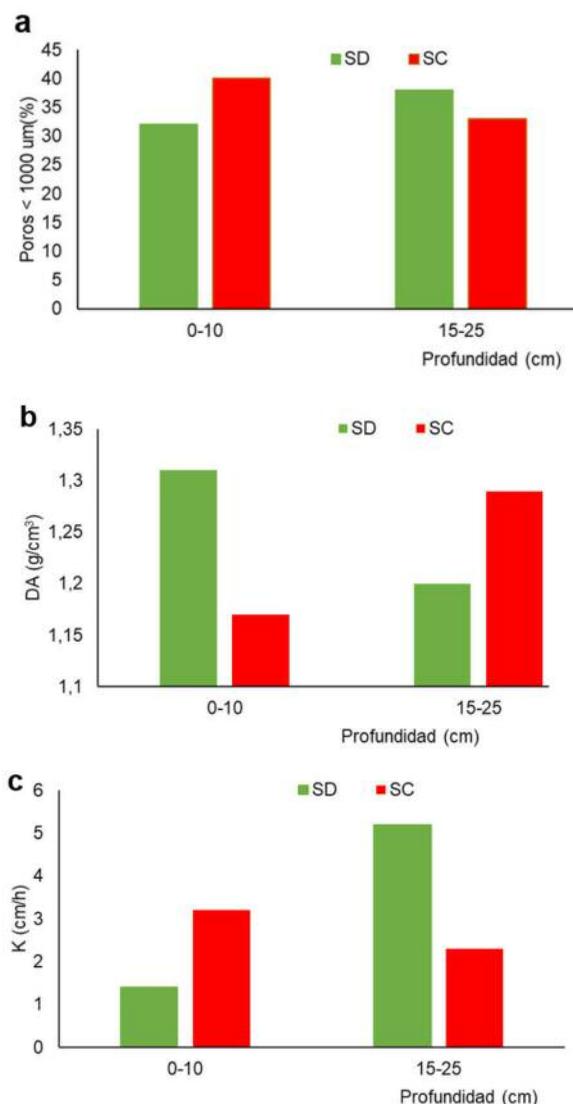


Figura 1: a) Proporción de poros <math>< 1000 \mu\text{m}</math>, b) valores de densidad aparente (DA) y c) conductividad hidráulica (K), luego de 5 años de labranza convencional (SC) y siembra directa (SD).

Diversos estudios señalaban para la época que la utilización continua de la siembra directa podía causar densificación del suelo y que, al incrementarse la resistencia del mismo, se vería afectado el crecimiento de las raíces. Otros autores sostenían que esta diferencia de crecimiento estaría asociada con una mayor concentración de nutrientes en superficie y no necesariamente con mayor compactación. Parte de estos efectos se observaban en la región, principalmente en girasol, donde era frecuente el vuelco de plantas por efecto del viento, principalmente de híbridos de mayor altura. Experiencias realizadas en suelos de texturas similares muestran resultados coincidentes. Chang y Lindwall (1992) observaron que la densidad aparente en SD fue mayor en la capa superficial y menor por debajo de la zona de labranza que en SC, luego de acumular efectos de labranzas durante 8 años sobre un suelo de textura franca. Packer y Hamilton (1987) comprobaron la existencia de cambios positivos en algunas propiedades de un suelo franco arenoso, luego de 6 años de SD continua. White (1990) observó en suelos de Australia que las labranzas producían efectos sobre las propiedades edáficas durante los 3 primeros años, tendiendo luego a permanecer relativamente constante en el tiempo.

Resistencia a la penetración

Los valores de resistencia a la penetración, obtenidos luego de 5 y 10 años de experimentación, se muestran en la Figura 2. Se puede observar que, bajo SD, la resistencia en la capa superficial (0-10 cm) fue mayor, y en la capa subsuperficial (15-20 cm) menor que en SC, que presento

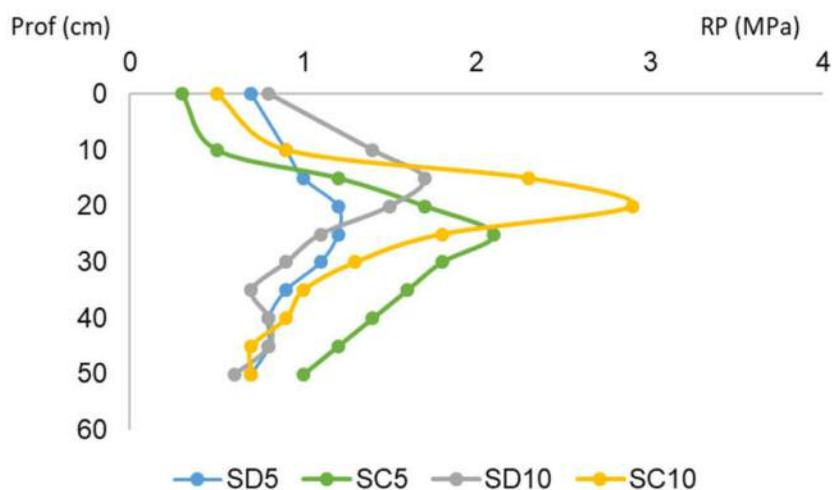


Figura 2: Valores de resistencia a la penetración en SD y SC tras 5 y 10 años de labranzas.

Tabla 2: Distribución de agregados y estabilidad estructural (IEH) luego de 10 años de SD y SC.

Tratamiento	Tamaño de agregados (mm)						IEH
	<0,42	0,84	2	6,4	19,2	>19,2	
SD	18,5	4,5	6,5	13,5	26,9	30,1	0,69 a
SC	31,1	5,8	8,8	16,4	25,7	12,1	1,40 b

una capa con mayor resistencia. No obstante, estos valores promedios, se comprobó una alta variabilidad entre puntos pertenecientes a una misma capa. Se confirman las tendencias comprobadas anteriormente para densidad aparente, macroporosidad y conductividad hidráulica, referidas a los efectos inversos de cada sistema de labranza a distintas profundidades. Al menos en suelos de esta textura.

Distribución de agregados y estabilidad estructural

Las evaluaciones de estabilidad estructural y distribución de agregados se realizaron al décimo año. Los resultados (Tabla 2) muestran que tanto la estabilidad estructural como la proporción de agregados mayores de 2 mm, fueron significativamente mayores bajo SD que bajo SC ($p < 0.05$). Asociado a ello, la pendiente de la curva de infiltración (valor m de Kostiakov) fue significativamente mayor en SD que en SC, lo cual estaría relacionado con una mayor estabilidad y mejor funcionamiento del sistema poroso. Un mayor valor de m puede indicar una mayor tasa de infiltración, como consecuencia de la mayor estabilidad de los macroporos (Lal y Van Doren, 1990).

La distribución del tamaño de los agregados

del suelo permite predecir su susceptibilidad a la erosión eólica. Se considera que los agregados menores de 0,84 mm son los que pueden ser transportados por el viento. Este análisis permitió comprobar que, luego de 10 años de iniciada la experiencia, la proporción de agregados menores de 0,84 mm fue significativamente menor en SD (23%) que en SC (37%).

Densidad aparente máxima

Los resultados del test de compactación máxima (Proctor) resultaron coincidentes con las tendencias registradas en la distribución de agregados y la estabilidad estructural, ya que, bajo SC tienden a incrementarse tanto la susceptibilidad del suelo a compactarse como la densidad aparente máxima (Figura 3). Es decir que, sometidos a una misma presión, el suelo bajo SC es más susceptible a perder porosidad.

Almacenaje de agua en el suelo

En regiones semiáridas uno de los objetivos principales del manejo es incrementar la disponibilidad de agua para los cultivos. El almacenaje de agua es principalmente influenciado por los sistemas de labranza a través de la incidencia que las mismas poseen sobre el nivel de cobertura del

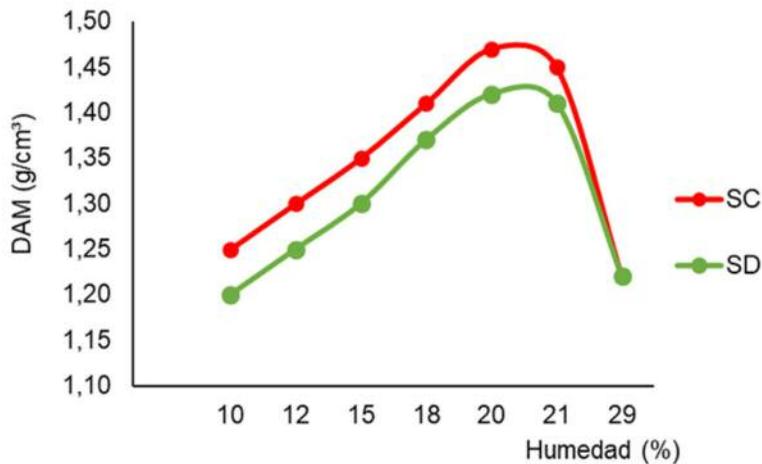


Figura 3: Valores de compactación máxima (DAM) de suelos bajo SD y SC.

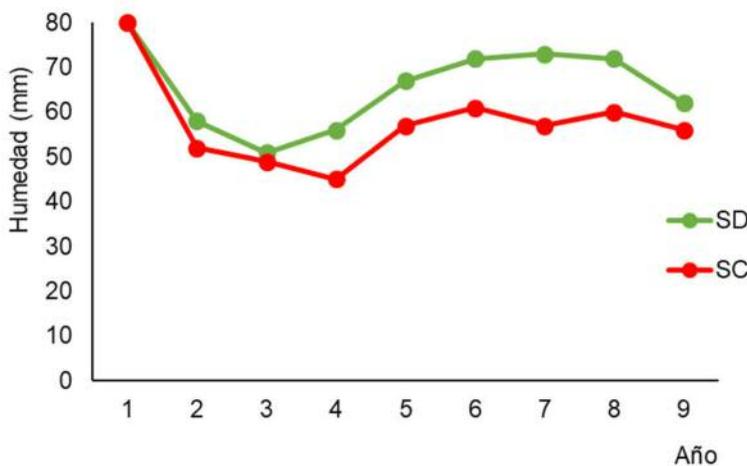


Figura 4: Agua almacenada en el suelo en los primeros 30 cm del perfil, al momento de la siembra del trigo en SD y SC.

suelo (Unger et al, 1991). Los contenidos de agua del suelo a la siembra en cada tratamiento se muestran en la Figura 4. Se observa que bajo SD se produjo una mayor acumulación de agua que bajo SC, especialmente durante barbechos con menores precipitaciones (Quiroga et al, 1993). Sin embargo, cuando el barbecho químico fue de corta duración o resultó deficiente el control de malezas, SD almacenó menos agua que SC.

Al momento de la siembra de avena (1994) se realizaron determinaciones del agua almacenada en el suelo y del contenido de nitratos en SD con y sin barbecho (parcelas divididas) y en SC con barbecho. El barbecho químico en SD permitió acumular cantidades de agua significativamente mayores que el mecánico. Este comportamiento también ha sido comprobado en la región semiárida canadiense por Carefoot et al. (1990).

Los primeros estudios de la época señalaban algunas dificultades que se podrían presentar en planteos de SD continua. Por ejemplo, un aspecto negativo de la falta de humedad en estratos superiores del perfil, en sistemas de siembra directa en

regiones semiáridas, estaría dado por la tendencia que tienen los nutrientes a acumularse en los primeros cm del suelo (White, 1990; Staricka et al, 1991). Otro aspecto a considerar era que en climas con mayores precipitaciones, con regímenes de humedad del suelo údicos o perúdicos, un mayor almacenaje de agua y la reducción de la macroporosidad en capas superficiales en SD podía restringir la aireación y la actividad biológica (Carter, 1988).

Materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt), fósforo (P) y pH.

Los contenidos de MO, Nt, P asimilable y valores de pH en los primeros 5 cm del perfil, luego de cinco y ocho años de SD y SC, se presentan en la Tabla 3. De la misma se desprende que SD presentó mayores contenidos de MO, N total, P disponible y menores valores de pH que SC. Similares tendencias del pH fueron observadas en suelos de textura fina y suelos arenosos (White, 1990), en los cuales la SD experimentó una reducción significativa en el pH. Estos cambios de pH deben ser

Prof (cm)	Año	Cultivo	Trat.	MO (%)	Nt (%)	P (ppm)	pH
0-5	5to	Trigo	SD	3,1	0,15	58	5,9
			SC	2,4	0,12	24	6,4
		Sorgo	SD	3,2	0,15	49	6,3
			SC	2,4	0,12	31	5,7
	8vo	Trigo	SD	2,7			6,0
			SC	2,2			6,4
		Sorgo	SD	3,0			6,1
			SC	2,2			6,4
0-30	5to	Trigo	SD	2,2	0,11	16	
			SC	2,3	0,12	17	
		Sorgo	SD	2,3	0,11	17	
			SC	2,3	0,11	21	
	8vo	Trigo	SD	2,1			6,2
			SC	2,0			6,3
		Sorgo	SD	2,1			6,2
			SC	2,0			6,2

Tabla 3: Contenidos de MO, Nt, P disponible y valores de pH, de los 5 y los 30 cm superiores del perfil, al 5to y 8vo año, en SD y SC.

Labranza	Fracción		
	100-2000 μm	50-100 μm %	< 50 μm
SD	3,9 a	1,4 a	3,9 a
SC	2,2 b	1,2 a	3,8 a

Tabla 4: Contenidos de MO en fracciones obtenidas por tamizado en húmedo en suelos sometidos a SD y SC.

contemplados al planificar estrategias de fertilización. Al considerar los primeros 30 cm del perfil, las propiedades analizadas no presentaron diferencias significativas entre sistemas de labranza. Estos resultados muestran que SD afectó la distribución de nutrientes en el perfil, concentrándolos en las capas superficiales.

La relación C/N se incrementó bajo SD, lo que indicaría un enriquecimiento de C, asociado con el mantenimiento de residuos en superficie (Dick, 1983).

Fracciones de MO

El contenido de materia orgánica en fracciones obtenidas por tamizado en húmedo se muestra en la Tabla 4. De la misma se observa que sólo la fracción más lábil (comprendida entre 100-2000 μm , llamada también joven, particulada, grosera o activa) de la MO presentó variaciones entre sistemas de labranza. Esto indica un enriquecimiento de compuestos orgánicos poco humificados en SD, producto de la mayor acumulación de residuos vegetales que en los otros sistemas de labranza.

Contenido de nitratos

Al momento de la siembra de trigo (Figura 5) los contenidos fueron menores bajo SD, posiblemente debido a una menor remoción del suelo, temperaturas más bajas que puede condicionar una menor tasa de mineralización de la materia orgánica (Carefoot et al, 1990). Estas diferencias observadas en los primeros años (hasta el sexto), pueden resultar menores al mejorar las condiciones edáficas en SD, particularmente al aumentar el contenido de MO (Tessier et al, 1990), resultando decrecientes los requerimientos de fertilización.

Dowdell y Cannell (1975) señalaron que la siembra directa de cereales de invierno generalmente requiere fertilización con N para obtener rendimientos máximos. Estos autores explican que la menor proporción de nitratos en estos sistemas de labranza, posiblemente sea debida a una mineralización más lenta que en sistemas convencionales. Al respecto Lynch y Panting (1982) señalaron que la mayor biomasa del suelo competiría más eficientemente con las raíces de las plantas por el N disponible en siembra directa que en sistemas con mayor remoción del suelo. La especi-

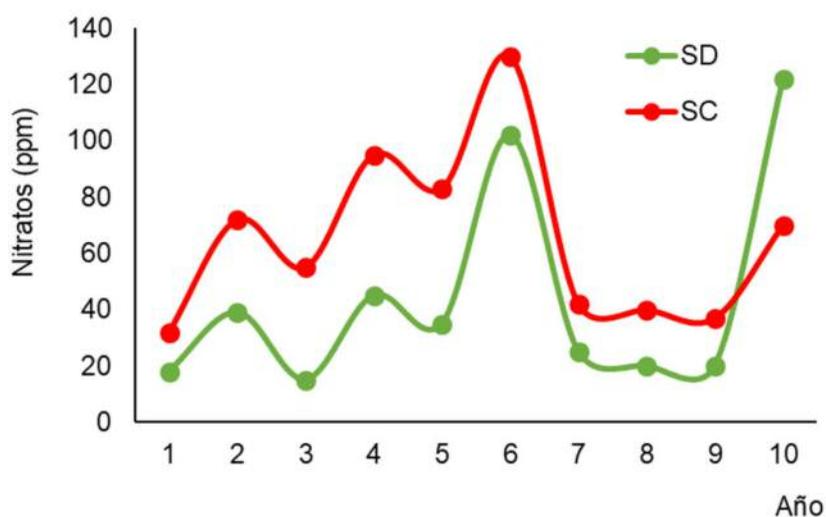


Figura 5: Contenidos de nitratos en los primeros 30 cm del perfil, al momento de la siembra de trigo en SD y SC.

ficidad de este efecto para SD y no para SC, puede ser consecuencia de diferencias en la población microbiana o en la actividad enzimática.

Biomasa microbiana

Los cambios que los sistemas de labranza producen sobre la distribución de nutrientes en el perfil y las propiedades físicas del suelo (porosidad, humedad, temperatura, intercambio gaseoso) generalmente están acompañados por cambios en el tamaño y actividad de la biomasa microbiana. A fin de detectar posibles cambios en la actividad microbiana luego de 8 años de efectos acumulados, se evaluó la producción de CO₂ en 6 tratamientos (SD y SC de trigo, sorgo y rotación trigo/sorgo), extrayendo muestras a dos profundidades (0-7 y 15-20 cm). Se hicieron dos experiencias en condiciones de laboratorio: a) incubaciones conservando la humedad presente al momento del muestreo, y b) incubaciones a humedad de capacidad de campo. Los resultados del primer ensayo se muestran en la Tabla 5. La producción de CO₂ y el contenido hídrico de los primeros 7 cm del perfil, se correlacionaron significativamente a

los 6 ($r=0,90$) y los 16 días ($r=0,88$). SD presentó más agua almacenada en el suelo y, asociado a ello, mayor liberación de CO₂ que SC.

Los resultados del ensayo (b), realizado en condiciones uniformes de humedad y temperatura se presentan en la Tabla 6.

En este caso SD sigue manteniendo mayor producción de CO₂ que SC. Es posible que estas diferencias entre tratamientos guarden relación con las diferencias en la distribución del sustrato microbiano en el perfil del suelo. En apoyo a esta hipótesis fueron evaluados sobre las mismas muestras de suelo el pH, contenido de materia orgánica y P asimilable (Tabla 7).

El mayor contenido de materia orgánica y P (localización de sustratos microbianos) y la reducción del pH (posibilidad de mayor crecimiento de hongos) podrían estar asociados con la mayor producción de CO₂ en la capa superficial del suelo bajo SD. Barber y Standell (1977) observaron que la siembra directa liberó más CO₂, presumiblemente por incremento en el número de hongos. Estos autores midieron la tasa de liberación de CO₂ de muestras de suelo bajo SD y SC, tomadas

Tratamiento Incubación (días) Profundidad (cm)	Humedad de muestreo		Liberación de CO ₂			
	0-7	15-20	6		16	
	%		mg/100 g			
SC-trigo	3,7	9,8	0,9 a	5,3 a	3,4	11,4
SD-trigo	5,6	10,3	6,9 b	6,4 a	17,8	11,7
SC-sorgo	5,7	16,2	2,3 a	4,8 a	7,9	13,2
SD-sorgo	10,8	14,4	14,7 b	4,9 a	32,4	10,8
SC-trigo/sorgo	4,7	11,1	2,2 a	6,6 a	8,8	14,4
SD-trigo/sorgo	4,9	10,1	4,9 b	5,9 a	14,5	12,1

Tabla 5: Producción de CO₂ en SD y SC, en función de la humedad actual del suelo.

Tratamiento	Liberación de CO ₂ mg.CO ₂ /100 g de suelo
SC-trigo	26,9 a
SD-trigo	39,1 b
SC-sorgo	16,3 a
SD-sorgo	32,3 b
SC-trigo/sorgo	30,4 a
SD-trigo/sorgo	42,1 b

Tabla 6: Producción de CO₂ en muestras de suelo (0-7 cm) bajo SD y SC en condiciones de humedad de capacidad de campo 19% y 28°C.

Tratamiento	Profundidad (cm)	pH	MO (%)	P (ppm)
SD	0-7	6,2	2,7 a	52 a
SC	0-7	6,5	1,9 b	23 b
SD	15-20	6,7	1,6	12
SC	15-20	6,7	1,5	10

Tabla 7: Valores de pH y contenidos de MO y P, a las profundidades de 0-7 y 15-20 cm, en un suelo bajo SD y SC de sorgo.

a distintas profundidades y observaron que, mientras el número de microorganismos y la respiración a las dos profundidades de muestreo fueron semejantes en SC, resultaron menores en profundidad en SD, lo que guarda relación con los contenidos de P y K extractables. En la capa superficial de SD los hongos potencialmente patógenos (*Fusarium*, *Phoma* y *Cephalosporium*) fueron más numerosos que en la capa inferior de SD y que en SC, donde los géneros dominantes fueron colonizadores secundarios de la materia orgánica, especialmente *Penicillium*. Schnurer et al. (1985) también comprobaron que existe una relación positiva entre contenidos de MO, la biomasa y la actividad microbiana del suelo.

Efectos sobre los cultivos

La Tabla 8 muestra los rendimientos de trigo en los distintos tratamientos durante el período 1985-1993. Se observa que, hasta el tercer año, los rendimientos obtenidos con los sistemas de SD fueron menores o similares a los de SC.

Recién al cuarto año se manifestó una diferencia a favor de SD, lo que se debería al mejora-

miento de las características edáficas. Los rendimientos de la monocultura de trigo fueron significativamente menores, en la mayoría de las campañas, a los obtenidos en la rotación trigo-soja, lo que demuestra que la alternancia de cultivos posee ventajas con cualquier sistema de labranza. Si bien no se realizaron evaluaciones, era normal en la época una alta frecuencia de trigo en las rotaciones que favorecía la presencia de pietin. La rotación trigo sorgo realizada con SD, presentó rendimientos significativamente más altos que los realizados con SC a partir del segundo año.

De acuerdo a los resultados de la Figura 6, la relación entre rendimientos en monocultura y rendimientos en rotación, resultó decreciente a través de los años ($R^2=0,63$), mientras que la relación entre los rendimientos en siembra directa y convencional fue creciente ($R^2=0,78$). En forma concordante con resultados de otros ensayos de larga duración, los planteos en SD requerirían de 3 a 4 años de efectos acumulados para igualar los rendimientos de SC en este tipo de suelos.

La monocultura de sorgo (Tabla 9) dio lugar a menores rendimientos a partir del segundo año,

Tabla 8: Rendimientos de trigo en SD y SC, en monocultura y en la secuencia trigo-sorgo.

Tratamiento	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	Promedio
	Rendimiento (kg/ha)									
SD	892a	1079 a	1100 b	933 a	2108 a	2636 a	4667 a	1372 a	2630 a	1935
SC	742a	1608 a	1575 a	916 a	2233 a	2401 b	4378 a	1301 a	2144 b	1922
SC Monoc.	867a	1242 a	1225b	734 b	1742 b	1469 b	3277 b	591 b	1909 b	1451
SC Rotación	767a	1446 a	1450 a	1117 a	2600 a	3569 a	5567 a	2084 a	2866 a	2385
SD Monoc.	816a	933 b	950 b	567 b	1767 b	1635 b	3429 b	739 b	2095 b	1437
SD Rotación	967a	1225 a	1250 a	1300 a	2450 a	3639 a	5904 a	2006 a	3249 a	2443

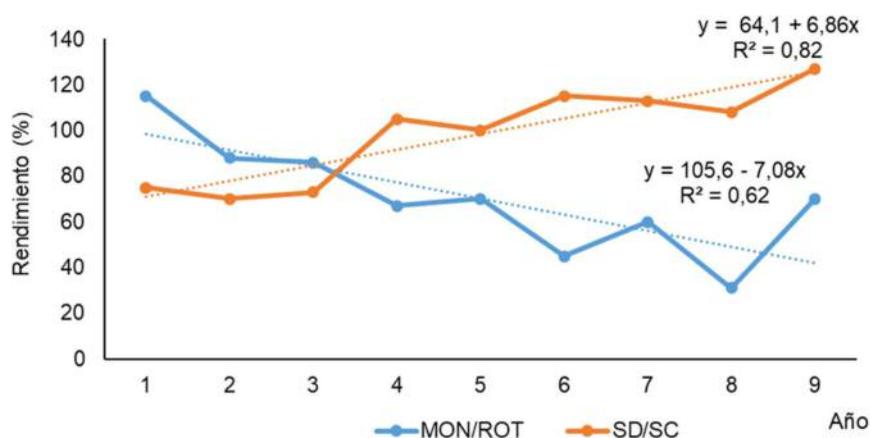


Figura 6: Evolución de la relación entre rendimientos en monocultura y rotación y entre siembra directa y convencional.

Tabla 9: Rendimientos de sorgo en siembra directa (SD) y en siembra convencional (SC), en monocultura y en la secuencia trigo-sorgo.

Tratamiento	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Promedio
Rendimiento (kg/ha)								
SD Monoc.	6845	3600	3200	3267	4067	3573	3148	3957
SC Monoc.	5734	2122	1700	5900	4833	3763	4449	4072
SD Rotación	7222	4722	3933	4367	5663	5487	4350	5106
SC Rotación	6226	3695	2700	6600	5667	4442	4318	4807
Monocultura	6289 a	2861 a	2450 a	4583 a	4450 a	3668 a	3798 a	4014
Rotación	6724 a	4208 b	3317 b	5483 b	5665 b	4515 b	4334 a	4892

Tratamiento	SD		SC	
	Testigo	Fertilizado	Testigo	Fertilizado
Rendimiento (kg/ha)				
T-T-T	816	2015	1324	1807
S-T-T	1032	2217	1360	1978
T-S-T	2105	2648	1449	2098
S-S-T	2018	3240	2200	2480
Promedio	1492 a	2530 b	1583 a	2090 b

Tabla 10: Respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada sobre un suelo con 9 años de SD y SC continua.

no observándose tendencias definidas de la relación de rendimientos entre SD y SC.

Durante la campaña 1993 fue evaluada la respuesta de trigo a la fertilización nitrogenada realizada durante crecimiento temprano (Tabla 10). Se comprobó una respuesta significativa en ambos sistemas de labranza, aunque la misma fue mayor en SD, posiblemente debido a que este tratamiento produjo menores contenidos de nitratos y mayor humedad en el suelo a la siembra.

Consideraciones

Luego de nueve años de efectos acumulados de las labranzas (1985-94), sobre un suelo franco arenoso con tosca a 100cm, se pudo comprobar que:

- Resultaron evidentes los beneficios de la rotación, respecto de las monoculturas.
- Los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total de los primeros 5 cm del perfil se incrementaron en los sistemas de SD, en relación a SC. Estos incrementos no se manifestaron al conside-

rar un espesor del perfil de 30 cm, lo cual estaría indicando que el principal proceso fue de redistribución.

- El incremento superficial de los contenidos de MO en SD, produjo mejoras en las condiciones físicas, comprobándose incrementos en la proporción de agregados >0,84 mm, mayores valores de estabilidad estructural y tasas de infiltración de agua más elevadas.

- La SD mostró contenidos de agua edáfica significativamente mayores a la SC a partir del cuarto año.

- La actividad microbiana fue significativamente mayor en SD que en SC, pero solo en el estrato superficial probablemente por efecto de la mayor proporción de residuos.

- Los rendimientos de trigo obtenidos con SD equipararon a los de la SC a partir del cuarto año,

a partir del quinto año fueron superiores. Los rendimientos de sorgo no difirieron significativamente entre ambos sistemas de labranza. La diferente respuesta de ambos cultivos a las labranzas obedecería a la mayor acumulación de agua edáfica que produce el barbecho cubierto en siembra directa en trigo que en sorgo, ya que este último es dependiente en gran medida, de las lluvias ocurridas durante su período de crecimiento.

Parte de estos resultados se encuentran publicados en:

Quiroga A, M Monsalvo, D Buschiazzo, E Adema. 1996. Labranzas en la Región Semiárida Central. En: Labranzas en la Región Semiárida Argentina, Ed: Buschiazzo D, J Panigatti, F Babinec. INTA. Capítulo 8. 81:92.

CAPÍTULO 3

Efecto de la labranza y la ganadería sobre propiedades edáficas y eficiencia en el uso del agua en un Molisol franco arenoso

Quiroga Alberto^{1,2}, Ormeño Oscar³, Fernández Romina¹, Álvarez Cristian¹, Frasier Ileana¹, Noellemeyer Elke²

1 INTA, 2 FA-UNLPam, 3 Ex asesor CREA

Experiencia que se lleva a cabo en Dorila

Frente a cambios importantes en los sistemas de producción relacionados con la incorporación de la siembra directa y la interacción con la ganadería “por el uso de residuos de cultivos y la compactación por pisoteo”, se planteó en 1993 la necesidad de evaluar los efectos acumulados en el tiempo. Este planteo/acuerdo se realizó en el marco de un convenio de trabajo entre INTA, AACREA Zona Oeste Arenoso y UNLPam sobre “Labranzas conservacionistas para la zona Oeste Arenoso de AACREA”. Se establecieron varios módulos de experimentación en campo de productores (Dorila, Trili, Macachín) que acumularon efectos durante varios años y cuyas conclusiones presentaremos luego. En este capítulo expondremos los principales resultados de uno de los módulos que ha acumulado efectos durante 28 años y continúa haciéndolo. El mismo está localizado cerca de Dorila, en el Establecimiento “Don Jesús” sobre un Haplustol éntico, de textura franco arenoso.

Se establecieron 4 tratamientos: siembra directa y siembra convencional (discos) con y sin pastoreo en ambos sistemas. En este capítulo se presentan resultados de cultivos, eficiencias de uso del agua y efectos sobre distintas propiedades edáficas.

Contenido del capítulo

- Objetivos
- Características de la experiencia
- Resultados
- Consideraciones finales

Objetivos

El panel de expertos sobre cambio climático (IPCC, 2007) vaticinó para los años venideros disminuciones de las precipitaciones, lo cual puede ser particularmente preocupante para regiones agroecológicas marginales donde el agua constituye la principal limitante de la producción. El análisis de las precipitaciones en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana muestra una gran variabilidad (Fernández et al., 2008), comprobándose que en la mayoría de los años las mismas no cubren los requerimientos de uso consuntivo de los cultivos y normalmente limitan el rendimiento (Pala, 2007). Es por ello que, la capacidad de los suelos y eficiencia de almacenaje de agua durante el período de barbecho resultan principales determinantes de la producción de los cultivos (Austin, 1998; Aboudrare et al., 2006; Baumhardt y Jones, 2002).

En tal sentido Rockstrom et al. (2010) enfatizan en la necesidad de manejar el agua de las precipitaciones en agricultura de secano. Para tal fin sugieren capturar la mayor cantidad de agua posible (cosechar el agua) a través de una mayor infiltración y utilizarla de manera más eficiente, teniendo en cuenta que existe estrecha relación entre la productividad del suelo y el recurso agua (Bossio et al., 2010). En el contexto de disminuir los procesos de degradación de suelos y de mejorar el uso del agua disponible para la producción agrícola, las zonas semiáridas y subhúmedas son las más susceptibles, ya que es posible perder por evaporación más del 50% de las precipitaciones (Rockstrom, 2003).

La siembra directa (SD) podría contribuir signi-

ficativamente en la sostenibilidad de los sistemas de producción, manteniendo y/o recuperando parámetros de calidad de suelo (Beare et al., 1994; Quiroga et al., 2009) e incrementando la disponibilidad y eficiencia de uso del agua (Noellemeyer et al., 2013; Schuller et al., 2007). Al respecto son numerosos los estudios que muestran influencia significativa de la SD sobre la dinámica del agua, en relación con la siembra convencional (SC), tanto en la etapa de barbecho como durante el ciclo de los cultivos (Unger, 1984; Baumhardt y Jones, 2002). Los residuos sobre la superficie del suelo reducen la evaporación, principal factor de pérdida de agua, aunque este beneficio disminuye cuando las precipitaciones aumentan (Aboudrare et al., 2006) y/o cuando la capacidad de retención de agua del suelo es baja (Fernández et al., 2008). Posiblemente asociado a ambos factores, precipitaciones y capacidad de retención de agua, los estudios que han tratado de cuantificar los efectos de las coberturas de residuos sobre el almacenaje de agua muestran resultados variables (Monzon et al., 2006), compro-



Foto 1: Perfil de suelo del módulo, donde se puede observar la presencia de ceniza volcánica en el estrato de 15-20 cm, e influencia de ascenso capilar de agua de napa a los 70 cm.

bándose mayor influencia en años secos (Power et al., 1986). En ambientes semiáridos, Fernández et al. (2009) comprobaron que el contenido de agua al momento de la siembra del cultivo de girasol se relacionó estrechamente con el nivel de residuos. Considerando que la mayoría de los procesos, mecanismos y sistemas se expresan en el mediano y largo plazo, los ensayos de larga duración resultan imprescindibles para estudiar los efectos acumulados del manejo sobre los recursos suelo y agua. En base a lo expuesto, se planteó como objetivo de trabajo evaluar en un ensayo de larga duración los efectos acumulados de dos sistemas de labranza, con y sin uso de residuos por la ganadería, sobre propiedades edáficas y la eficiencia de uso del agua.

Características de la experiencia

El módulo de larga duración iniciado en 1993 fue establecido sobre un Haplustol éntico francoarenoso, característico de las Planicies Medanosas del Este de La Pampa, que presenta secuencia de horizontes A-A/C-C y Ck con presencia de ceniza volcánica (Foto 1). En el mismo se establecieron dos tratamientos de labranzas (siembra directa y siembra convencional) combinando con uso y sin uso de los residuos de cultivo por la ganadería (Tabla 1). En los primeros años se evaluó un tercer tratamiento que fue la labranza vertical (cincel + cultivador) que luego se discontinuó. La Foto 2 muestra el inicio de la experiencia (día 1) donde se están realizando los distintos tratamientos de labranza sobre antecesor pastura (1988/1993). En la secuencia de cultivos participaron principalmente cereales y oleaginosas (Foto 3) destinados a cosecha (trigo, maíz, girasol, soja) y, en menor proporción, cultivos destinados a la producción de forraje y/o incluidos como cultivos de cobertura. Aproximadamente 75% y 25% de ocupación respectivamente (Foto 4 y 5).

En suelo se realizaron determinaciones de propiedades físicas (contenido de agua, distribución de agregados y estabilidad estructural en húme-

Tratamiento principal/parcela dividida	Sin Pastoreo	Con pastoreo
Siembra directa	SD SP	SD CP
Siembra convencional	SC SP	SC CP

Tabla 1: Tratamientos de labranzas y combinación con pastoreo/sin pastoreo de los residuos de cosecha.



Foto 2: Establecimiento de parcelas de labranza vertical (cincel + cultivador) y convencional (discos) en mayo de 1993.



Foto 3: Vista de los cultivos de maíz, soja y girasol en el módulo de larga duración.



Foto 4: Centeno utilizado como cultivo de cobertura sin y con pastoreo (verde) y Foto 5: tratamientos con y sin uso de los rastrojos de maíz de cosecha por la ganadería en módulo de Dorila.



do, densidad aparente máxima, compactación relativa, infiltración, conductividad hidráulica, punto de marchitez permanente), químicas (contenidos de nitrógeno total, fósforo disponible, pH) y biológicas (materia orgánica total y fracciones, respiración, biomasa microbiana). Se evaluó el porcentaje de cobertura a la siembra de cada cultivo.

El rendimiento de los cultivos de grano (trigo, maíz, girasol y soja) se determinó mediante cosecha manual a partir de submuestras por unidad experimental. A la siembra y cosecha de los cultivos se evaluó el contenido de agua del suelo a intervalos de 20 cm hasta los 140 cm (método gravimétrico) para determinar el uso consuntivo de los mismos. Las precipitaciones fueron medidas a partir de una estación meteorológica automática localizada en el sitio de estudio.

La eficiencia de barbecho (EB) se calculó mediante la siguiente expresión (Mathews y Army, 1960).

$$EB: \frac{AU \text{ al finalizar el barbecho} - AU \text{ al comenzar el barbecho}}{\text{Precipitaciones durante el barbecho}} \times 100$$

Los tratamientos se dispusieron en fajas apareadas con tres repeticiones. Los resultados se analizaron estadísticamente mediante ANOVA, y las diferencias entre medias a través del test de Tukey ($\alpha=0,05$).

Resultados

Las precipitaciones anuales del periodo de estudio (836 mm entre 1993-2020) fueron mayores que su promedio histórico (712 mm entre 1921-2020). Este aumento de las precipitaciones

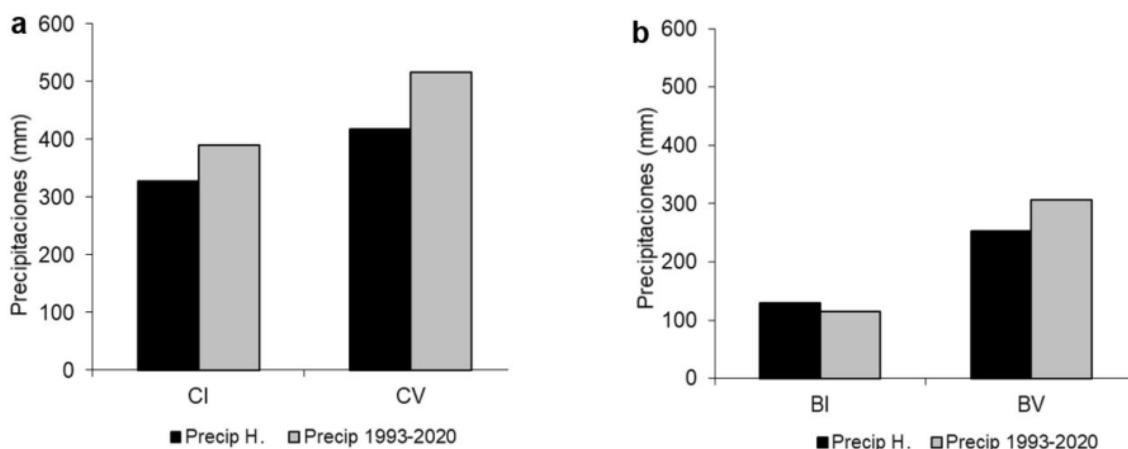


Figura 1: Precipitaciones promedio históricas (Precip H. 1921-2020) y precipitaciones durante 1993-2020 en a) cultivos de invierno (CI) y cultivos de verano (CV) y b) barbecho de invierno (BI) y barbecho de verano (BV).

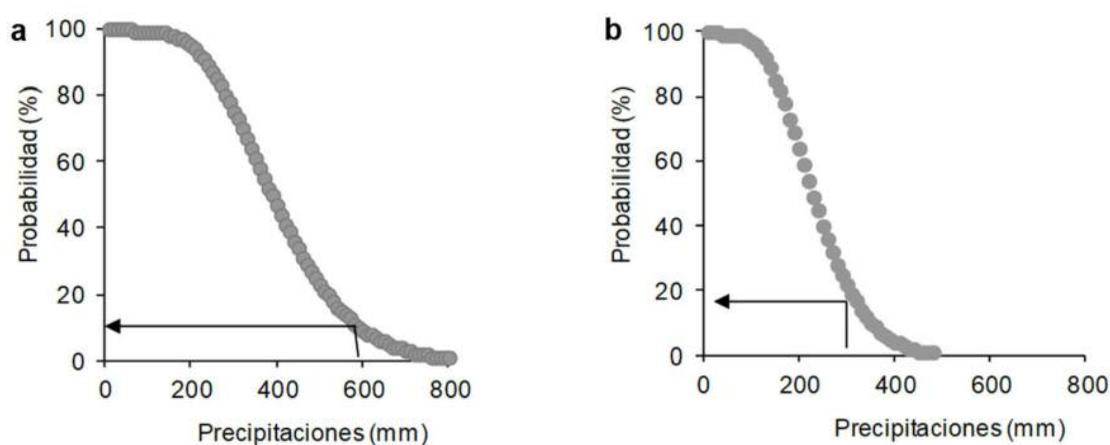


Figura 2: Probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones históricas (1921-2020) en a) cultivos de verano (comprendido entre octubre-febrero), y en b) cultivos de invierno (julio-noviembre).

durante la etapa en estudio estaría indicando la presencia de una etapa más húmeda en los últimos 28 años. La Figura 1a muestra que, tanto para los cultivos de verano (CV) como para los de invierno (CI), las precipitaciones ocurridas durante la etapa de estudio fueron mayores a su promedio histórico, superando al mismo en 115 y 49 mm respectivamente. Las precipitaciones durante el barbecho estival (BE) fueron 63 mm superiores que el promedio histórico (Figura 1b) mientras que, para el barbecho invernal (BI) las históricas superaron en 17 mm a las precipitaciones ocurridas entre 1993-2020.

El aumento de las precipitaciones sobre todo en los meses de verano conllevó a una mayor proporción de cultivos de verano en las rotaciones.

Teniendo en cuenta las precipitaciones históricas y considerando los usos consuntivos promedio

de los cultivos de la rotación, se comprobó que la probabilidad de que las precipitaciones, durante el ciclo de cultivos de verano, cubran los requerimientos de los mismos fue del 8% (Figura 2 a), mientras que para cultivos de invierno como el trigo resultó del 18% (Figura 2 b). Esto indica que, a pesar del incremento de las precipitaciones, sobre todo las de verano, resultan insuficientes para alcanzar buenos rendimientos. Comparando los CI con los CV se desprende una mayor factibilidad en los CI a pesar de mayores precipitaciones durante los meses de verano. La Foto 6 muestra un mejor estado del cultivo de trigo bajo SD que permitió incrementar significativamente el rendimiento durante la campaña 1995.

Siguiendo con el análisis de las precipitaciones, desde el inicio del módulo (septiembre de 1993) hasta marzo de 2020, se comprobó que el 60% de



Foto 6: Trigo en siembra directa (izquierda) y siembra convencional (derecha) en módulo de Dorila (campaña 1995).

las mismas ocurrieron durante el ciclo de los cultivos, mientras que el 40% restante tuvo lugar durante los barbechos. Considerando la baja probabilidad de que las precipitaciones cubran los requerimientos de los cultivos, la eficiencia de almacenaje de agua durante el barbecho (cosecha del agua) se torna una práctica importante en ambientes semiáridos.

A pesar de que una parte importante de las precipitaciones ocurren durante el barbecho, distintos autores señalan que normalmente esta práctica resulta muy ineficiente (Fernández et al., 2008; Orphanos y Metochis, 1994).

Estudios desarrollados en la Región Semiárida Pampeana comprobaron que la EB varió ampliamente entre años, entre sistema de labranza y entre los distintos periodos de barbecho (invernal,

BI; estival, BE). Desde que se inició la experiencia, el BI resultó más eficiente que el BE, tanto en SC (23%) como en SD (42%) respectivamente. Las condiciones ambientales indicarían que los CI serían más favorecidos que los de verano, no solamente por tener una mayor eficiencia de barbecho sino también por tener más probabilidad de que las precipitaciones cubran los requerimientos de los cultivos. Aunque el sistema de SD, a partir de una mayor eficiencia de almacenaje del agua, permitiría mejorar las condiciones a la siembra de los CV.

Considerando la misma secuencia de cultivos en los dos sistemas de labranza se comprobó que la EB promedio (26 años) fue superior en SD (33%) que en SC (21%). Estos resultados validan datos obtenidos en el mismo experimento durante los primeros 14 años (SD 32% y SC 18%) (Fernández y Quiroga, 2008). Similares resultados fueron obtenidos por Tanaka y Aase (1987), quienes también en ensayos de larga duración comprobaron que la EB para SD (40-55%) fue superior que en SC (20-24%). Los valores reportados por Unger (1984) resultan coincidentes (44% en SD y 34% en SC), no así los obtenidos por Aboudrare et al. (2006) en suelos arcillosos de Marruecos, con mayores eficiencias en SC que en SD (14-20% y 11-13% respectivamente).

En la Figura 3 se observa que a la siembra de los cultivos ya sean de invierno, de verano o pasturas, el sistema de SD presentó mayores contenidos de agua que SC. Las principales diferencias se

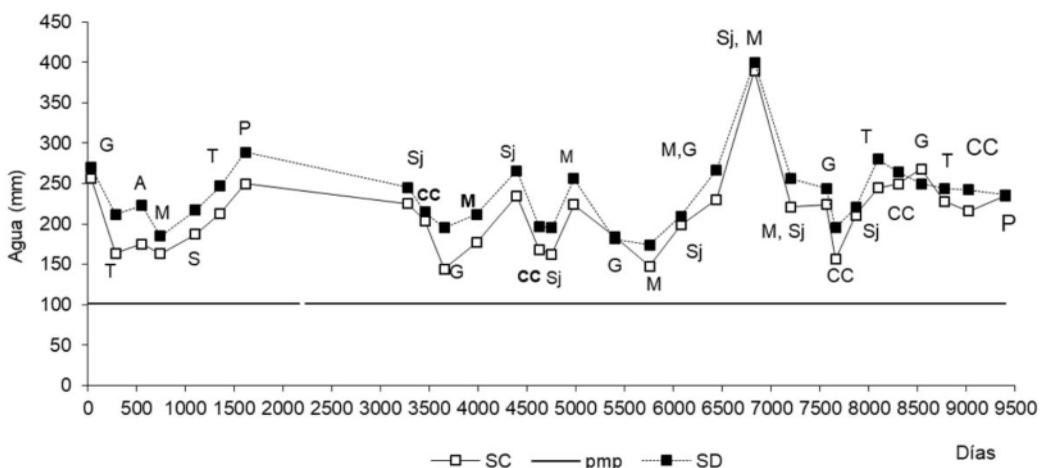


Figura 3: Contenido de agua (mm) en siembra directa (SD) y siembra convencional (SC) a la siembra de todos los cultivos intervinientes en la rotación, desde 1993 (día 0) hasta siembra de la pastura abril 2020 (día 9401). Girasol (G), trigo (T), avena (A), maíz (M), cultivo de cobertura (CC) pastura (P) y soja (S) y línea continua punto de marchitez permanente (pmp).

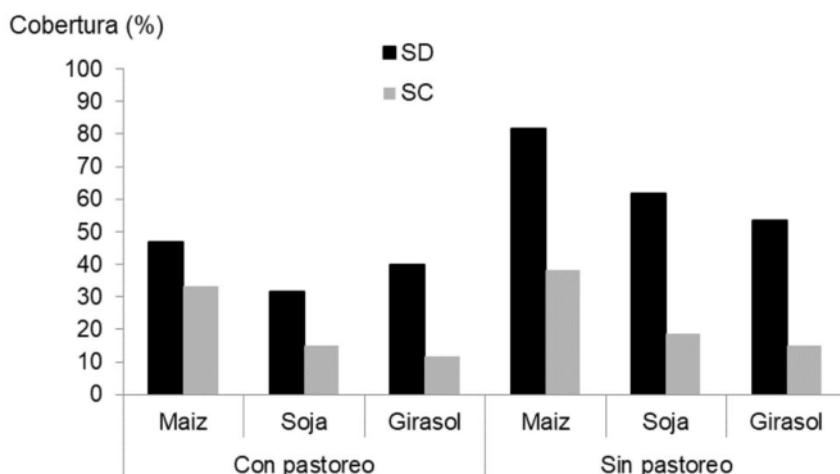


Figura 4: Cobertura (%) en siembra directa (SD) y siembra convencional (SC) con y sin pastoreo para los cultivos de maíz, soja y girasol.

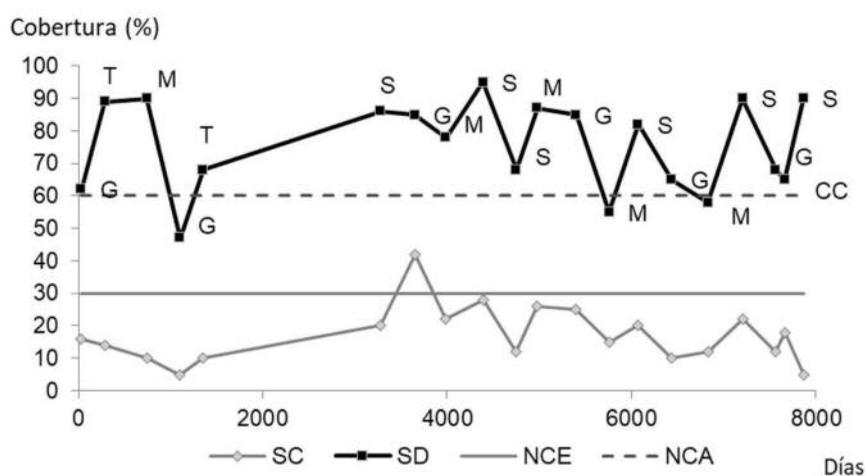


Figura 5: Cobertura (%) en siembra directa (SD) y siembra convencional (SC) al momento de la siembra de los cultivos de la rotación (girasol G; trigo T, maíz M, soja S, cultivo de cobertura CC). Nivel crítico erosión eólica (NCE), nivel crítico almacenaje de agua (NCA). El periodo comprendido entre 1616 y 3008 días corresponde a pastura perenne de alfalfa. Adaptado de Quiroga et al., 2015.

registraron en los primeros 40 cm del perfil, las cuales resultaron altamente significativas entre sistema de labranza ($p \leq 0.0001$).

Estos resultados concuerdan con Olaive (2002), quien comprobó que la mayor diferencia a favor de SD tenía lugar en los primeros 50 cm del perfil. Estas diferencias en la eficiencia de los barbechos y en la disponibilidad de agua de los estratos superiores del perfil se relacionaron con los niveles de cobertura del suelo. Cobertura que resultó influenciada por el cultivo antecesor, sistema de labranza y uso de residuos por la ganadería (Figura 4).

Niveles de cobertura superiores al 60% favorecieron el almacenaje de agua durante los barbechos y el rendimiento de los cultivos. Evaluaciones realizadas durante los primeros 23 años (Figura 5) muestran que bajo SD se alcanzaron valores de cobertura (>60%) que afectaron positivamente el almacenaje de agua y en ningún momento se

registraron valores críticos para la erosión eólica (<30%). Por su parte en SC no se superaron ambos umbrales en la mayor parte de la secuencia de cultivos, lo que explicaría la menor eficiencia en el almacenaje y conservación del agua. De esta manera el agua útil a la siembra (AUS) varió entre 42-298 mm con un promedio de 116 mm. SD presentó en promedio 28 mm más de AUS que SC, con un rango de 0 a 51 mm. A la siembra de los CV (Figura 6) SD almacenó 24 mm más de agua útil que SC. En tanto para los CI, la SD almacenó 40 mm más de agua que SC. La mayor diferencia no se encontró tal como se esperaba a favor de los CV sino a la siembra de los CI. No obstante, en algunos cultivos fue evidente el mayor estrés hídrico en situaciones de muy baja cobertura del suelo (Foto 7). Distintos estudios muestran que además de favorecer un mayor almacenaje de agua, la cobertura puede incrementar significativamente la relación transpiración/evaporación. Cambios en



Foto 7: Senescencia en cultivo de maíz por estrés hídrico y escasa cobertura del suelo en tratamiento de labranza convencional (discos).

la interfase suelo-atmósfera explicarían estas diferencias. Al respecto Kruger y Quiroga (2013) expresan que la adopción de la SD puede contribuir significativamente a una mayor eficiencia de uso del agua pluvial si la secuencia de cultivos posibilita la realización de barbechos adecuados, si el nivel de residuos en la interfase suelo-atmósfera es suficiente para optimizar la relación transpiración/evaporación, si el perfil de suelo posee una adecuada capacidad de retención de agua, si la profundidad efectiva de las raíces es adecuada

para ese perfil y si la disponibilidad de nutrientes no condicionan la eficiencia de uso del agua.

En SD se registró en promedio mayor rendimiento de los cultivos, tanto en CV (+589 kg/ha) como en CI (+571 kg/ha). Estas diferencias estarían dadas por una mayor disponibilidad y eficiencia de uso del agua en CV y por una mayor disponibilidad de agua en CI, considerando que en estos últimos la eficiencia de uso fue similar (Tabla 2).

Como es propio de Regiones Semiáridas-Subhúmedas, la Figura 7 muestra la amplia brecha de variación en el rendimiento de los cultivos y la relación con la oferta hídrica total, la cual también resultó variable en un amplio rango. La misma es representada por el agua útil a la siembra y las precipitaciones durante el ciclo de los cultivos (AUS+pp). Si bien los resultados deben considerarse preliminares, los mismos muestran que ante una determinada oferta hídrica los rendimientos variaron considerablemente dependiendo del cultivo. En el cultivo de maíz, a partir de la campaña 2009/10, se modificó la fecha de siembra de octubre (Mt) a diciembre (Mp) con la finalidad de desplazar el periodo crítico de enero a mediados de febrero. De esta manera, en la Figura 7 se muestran las relaciones del rendimiento con la disponibilidad de agua diferenciando al maíz por fecha de siembra. Los resultados muestran, al menos para el periodo estudiado, que esta decisión de

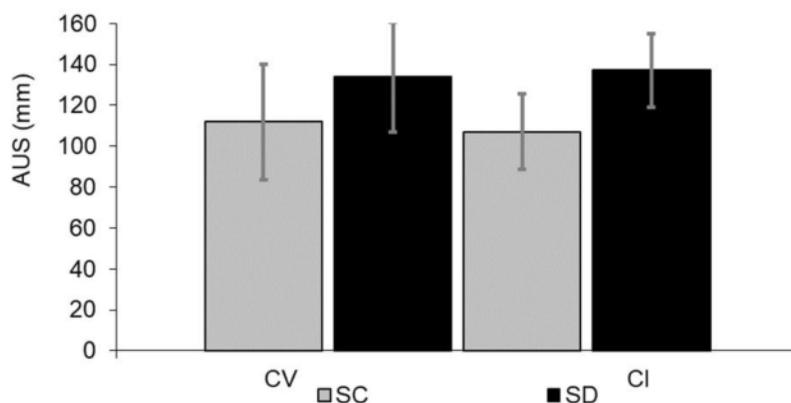


Figura 6: Contenido de agua útil a la siembra (AUS) en el período comprendido entre 1993-2015 de los cultivos de verano (CV) y de invierno (CI), en siembra directa (SD) y siembra convencional (SC).

Tabla 2: Rendimiento, uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) en siembra directa (SD) y siembra convencional (SC) para cultivos de verano (CV) y cultivos de invierno (CI) de grano.

	Rendimiento (kg/ha)		UC (mm)		EUA (kg/mm)	
	SC	SD	SC	SD	SC	SD
CV	4117	4706	567	581	7,4	8,4
CI	3602	4173	426	465	20,4	20,8

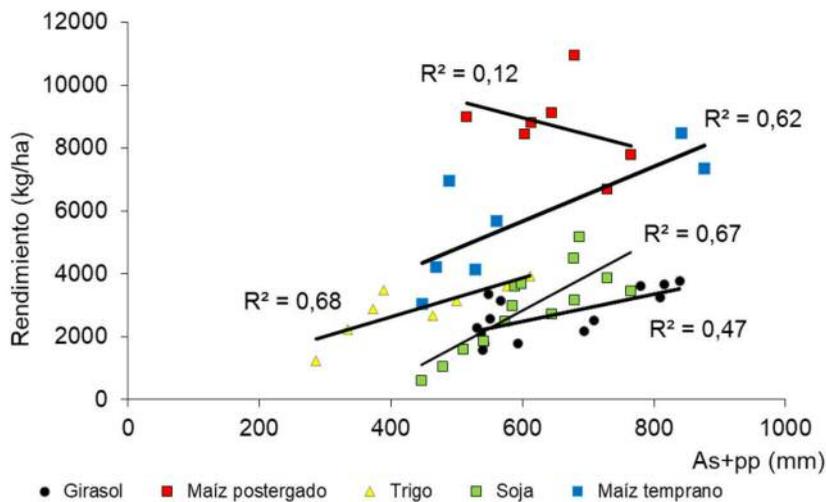


Figura 7: Rendimiento en función al agua a la siembra más las precipitaciones (As+pp) para girasol (G), maíz (M), trigo (T) y soja (S).

Cultivos (n)	Agua siembra (mm)		Rendimiento (kg/ha)		EUA (kg/mm ha)	
	SC	SD	SC	SD	SC	SD
Girasol (7)	111	130	2552	2830	4,4	4,8
Maíz (7)	120	148	6697	7805	12,3	14,4
Soja (6)	138	164	2774	3058	5,0	5,4
Trigo (4)	110	144	2602	3195	6,8	8,2
CC (4)	125	155	4868	5202	33,5	32,0

Tabla 3: Cultivos (n) y años en la rotación. Agua a la siembra, rendimiento, eficiencia en el uso del agua (EUA) y cobertura en siembra convencional (SC) y siembra directa (SD).

	MO (%)		MO J (%)		P (ppm)		Nt (%)	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Inicio	2,1	1,7			37	25		
SDSP	2,61 a	1,61	0,66 a	0,24	40,8 b	27,8 b	0,13 a	0,09
SDCP	1,79 b	1,6	0,46 ab	0,24	45,7 a	31,1 a	0,12 a	0,07
SCSP	1,92 b	1,68	0,39 b	0,24	25,2 d	17,4 d	0,10 b	0,08
SCCP	1,64 b	1,5	0,29 b	0,17	30,8 c	21,1 c	0,10 b	0,08

Las letras (a, b y ab) señalan diferencias significativas (p < 0,05) entre tratamientos.

Tabla 4: Materia orgánica total (MO) y joven (MOJ), fósforo disponible (P), nitrógeno total (Nt) en siembra directa sin pastoreo (SDSP), con pastoreo (SDCP), siembra convencional sin pastoreo (SCSP), con pastoreo (SCCP).

desplazar el periodo crítico del cultivo fue satisfactoria comprobándose rendimientos más estables y una menor influencia de la disponibilidad inicial de agua sobre el rendimiento del cultivo.

En la Tabla 3 se han considerado en forma individual los distintos cultivos, comprobándose que en SD los rendimientos fueron mayores que en SC. Teniendo en cuenta los rendimientos promedios de 28 cultivos de la rotación, la producción en SD fue 13% superior con respecto a SC, resultando significativa en el 57% de los cultivos (p: 0.10).

Los efectos acumulados del manejo también se comprobaron en distintas propiedades edáficas que fueron evaluadas. Se confirma que el tratamiento "más conservacionista", SD sin uso de resi-

duos por la ganadería (SDSP), presentó los mayores contenidos de MO en el estrato superficial de 0-10 cm. Similar comportamiento se comprobó en los contenidos de Nt y de P, donde SD registró valores superiores que SC. La fracción MO joven (100-2000 μ m) fue la más influenciada (Tabla 4). Campbell et al. (1998) señalan que, para la región semiárida de Canadá, los suelos que pasan de SC a SD pueden secuestrar entre 5 y 6 t ha⁻¹ de carbono, por incremento en los contenidos de MO y residuos superficiales.

Quiroga et al. (2016) y Fernández et al. (2016), señalan que estos cambios positivos en el coloide orgánico, sea por aumento y/o redistribución, tendrían una influencia positiva sobre la condición física de los suelos. El mayor contenido de MO en

Tabla 5: Distribución de agregados, índice de inestabilidad estructural (IIE), densidad aparente máxima (DAM), compactación relativa (CR), infiltración acumulada (I Ac), en siembra directa sin pastoreo (SDSP), con pastoreo (SDCP), siembra convencional sin pastoreo (SCSP), con pastoreo (SCCP).

	Distribución diámetro (mm) de agregados (%)			IIE	DAM (g/cm ³)	CR (%)	I Ac (mm)
	>8	2-8	<2				
SDSP	35,2 a	34,5 a	30,2 b	1,16 a	1,39 b	80 b	237 a
SDCP	33,0 a	31,2 ab	35,8 b	1,36 a	1,35 b	82 ab	217 a
SCSP	22,8 b	29,2 b	48,0 a	1,77 b	1,45 a	80 b	180 a
SCCP	22,4 b	28,4 b	49,2 a	2,41 c	1,45 a	84 a	99 b

Las letras (a, b, ab, y c) señalan diferencias significativas (p < 0,05) entre tratamientos.

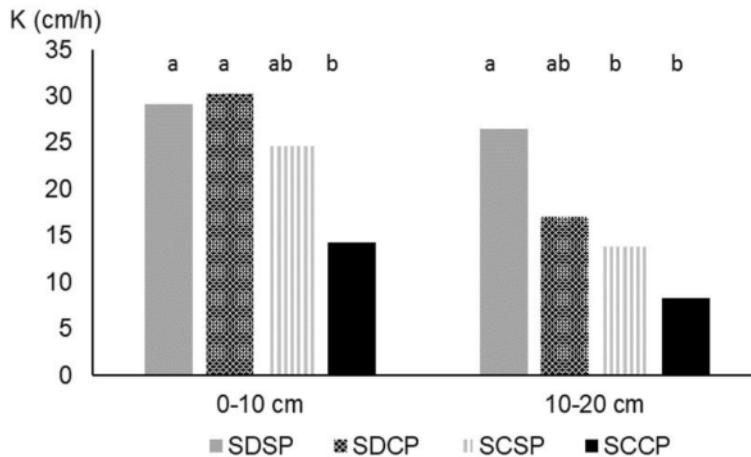


Figura 8: Conductividad hidráulica (K) a profundidades de 0-10 y 10-20 cm del suelo, en los tratamientos de Siembra Directa sin pastoreo (SDSP) y con pastoreo (SDCP), y Siembra Convencional sin pastoreo (SCSP) y con pastoreo (SCCP). Las letras (a, b y ab) señalan diferencias significativas (p < 0,05) entre tratamientos.

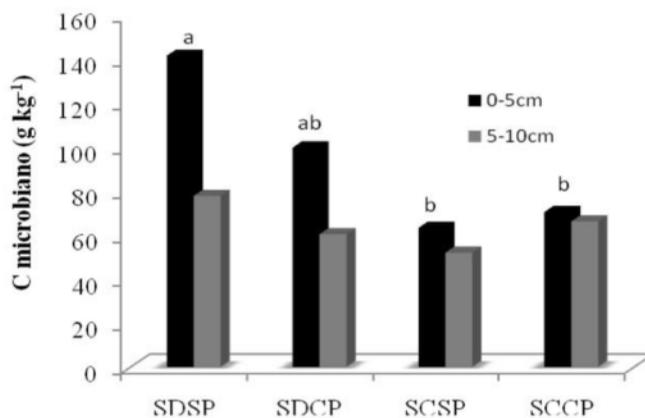


Figura 9: Contenidos de carbono de la biomasa microbiana en los tratamientos de siembra directa sin pastoreo (SDSP) y con pastoreo (SDCP), y siembra convencional sin pastoreo (SCSP) y con pastoreo (SCCP) a profundidades de 0-5 y 5-10 cm del suelo. Las letras (a, b y ab) señalan diferencias significativas (p < 0,05) entre tratamientos.

estratos superficiales explicaría la menor densidad aparente máxima, proporción de agregados menores de 2 mm y los mayores valores de infiltración, conductividad hidráulica y estabilidad estructural. En estudios realizados sobre Molisoles se comprobó que un incremento de aproximadamente 5 g kg⁻¹ en el contenido de MO produce una disminución de 0,06 g cm⁻³ en la densidad aparente máxima (Quiroga et al., 2016). La Tabla 5 y la Figura 8 muestran los efectos acumulados

del manejo sobre las propiedades edáficas mencionadas.

Dado los años de efectos acumulados, se procedió a evaluar con mayor detalle, aspectos biológicos del suelo que se consideraban importantes.

Las diferencias de contenidos de MO entre los tratamientos se reflejaron en la biomasa microbiana (Figura 9), que siguieron las mismas tendencias que ésta y fueron significativamente mayores en SDSP, comprobándose un mayor efecto del siste-

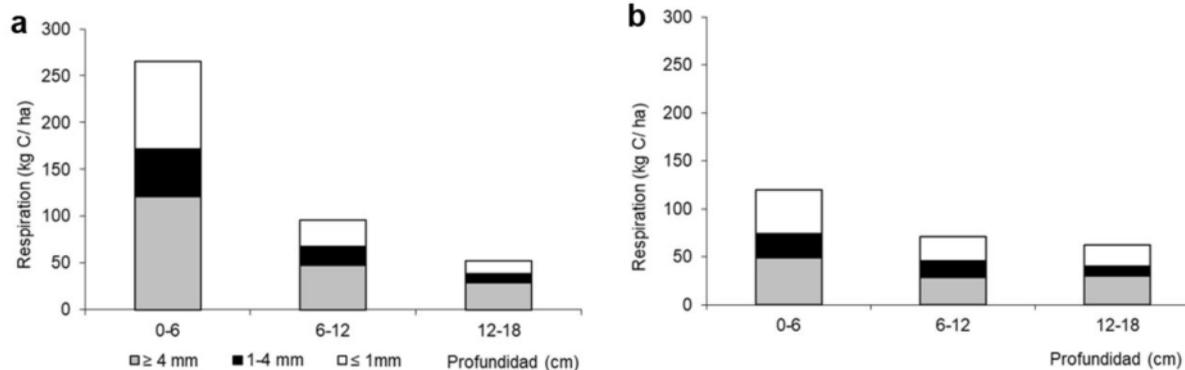
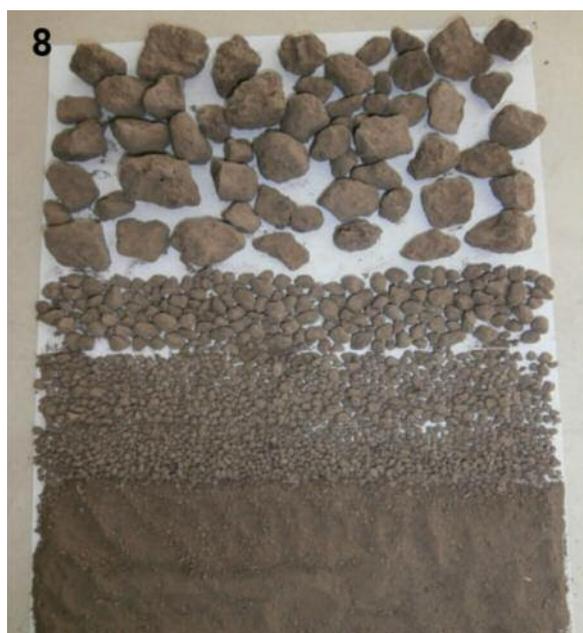


Figura 10: Respiración (expresado en masa total de suelo) en tamaños de agregados a tres profundidades en siembra directa (a) y siembra convencional (b).



Fotos 8 y 9: distribución de agregados de distintos diámetros que forman parte del estrato superior del suelo (0-20 cm). Una mayor proporción de agregados menores a 0,84 mm implica mayor susceptibilidad a la erosión eólica.

ma de labranza que del pastoreo. En el capítulo 2 de esta publicación y para un suelo de textura más fina, se mostró como los efectos acumulados del sistema de labranza y la rotación (1985-1994) incidieron significativamente sobre indicadores biológicos.

La biomasa microbiana ha sido considerada uno de los indicadores más sensibles de la calidad biológica del suelo (Gartzia - Bengoetxea et al., 2009). Varios estudios ya reportaron el efecto benéfico de labranzas conservacionistas sobre las propiedades biológicas del suelo (López - Garrido et al., 2012; Melero et al., 2009), el cual estaría asociado a la acumulación y distribución de MO en los diferentes sistemas de manejo (Gude et al.,

2012; Kramer et al., 2012; Lagomarsino et al., 2011).

En SD se registró mayor respiración que en SC, principalmente en 0-6 cm de profundidad, y en fracciones de agregados de 1-4 mm.

La actividad respiratoria microbiana de 0-18 cm fue de 604 y 369 mg C/kg de suelo para SD y SC respectivamente, esos valores corresponden a 7,6 y 4,6 mg C/kg día. Los mismos se relacionaron positivamente con el contenido de carbono, en mayor grado en SD ($R^2=0,54$) que en SC ($R^2 = 0,36$).

Estos resultados se encuentran dentro del rango reportado por Savin et al. (2001), los cuales, al evaluar la actividad respiratoria en la capa

arable, registraron valores entre 1 y 27 mg C/kg día. La Foto 9 y 10 ilustran sobre la distribución de agregados de distintos diámetros que forman parte del estrato superior del suelo.

Consideraciones finales

Bajo las condiciones de estudio, Haplustol franco arenoso profundo y Región Semiárida, el agua almacenada durante el periodo de barbecho influyó significativamente sobre los rendimientos. La eficiencia de barbecho varió ampliamente entre años y entre sistemas de labranza favoreciendo en mayor grado a los cultivos de invierno. Éstos resultaron más favorecidos que los cultivos de verano, debido al incremento de la eficiencia de barbecho y a la mayor probabilidad de que las precipitaciones cubran los requerimientos de agua de los mismos.

Considerando los rendimientos promedios de 28 cultivos de la rotación, la producción en SD fue 13% superior con respecto a SC, debido a una mayor disponibilidad y eficiencia de uso del agua.

Los efectos acumulados del manejo también se comprobaron en distintas propiedades edáficas. El sistema en SDSP, logró aumentar levemente o mantener los contenidos iniciales de MO (Figura 11), en cambio en las demás situaciones (SDCP, SCSP y SCCP) se comprobó menores contenidos de MO hasta el año 2020.

El mayor contenido de MO en SDSP, explicaría la menor densidad aparente máxima, proporción de agregados menores de 2 mm y los mayores valores de infiltración, conductividad hidráulica, estabilidad estructural. Además, asociado a mayores conteni-

dos de MO en el estrato superficial, se comprobó un efecto positivo sobre indicadores biológicos tales como biomasa microbiana y respiración.

Actualmente y tratando de dar respuesta a interrogantes de ¿Qué/cómo hacer para aumentar significativamente los contenidos de MO? en el año 2020 se implantó una pastura de alfalfa pura. Al mismo tiempo, se tomaron muestras de suelo hasta el metro de profundidad para evaluar la condición al inicio de la pastura. Al finalizar la misma se procederá a evaluar la contribución de la pastura en la calidad del suelo. Es importante señalar que sobre esta pastura se están evaluando aportes de distintos nutrientes (P, S, Mg, K) conservando un testigo sin fertilizar (en cada tratamiento de labranza). En que cada corte se procede a guardar muestras de biomasa "molidas" para analizar contenidos de nutrientes en el forraje cosechado y se continúa con un estricto seguimiento de la disponibilidad de agua a fin de evaluar la eficiencia de uso de la misma bajo los distintos tratamientos (labranza y distintos aportes de nutrientes). Se desea destacar que, en este módulo en particular, se logró cumplir con el espíritu que se habían planteado los fundadores tanto de INTA como del movimiento CREA que fue formar capacidades a partir de la experimentación y del trabajo en campo de productores (Fotos 10, 12, 12 y 13). En este sentido resultó relevante la contribución del módulo a la generación de conocimiento y formación de recursos humanos a través de tesis de grado, posgrado, jornadas, reuniones, pasantías y capacitaciones específicas realizada para asesores en AACREA.

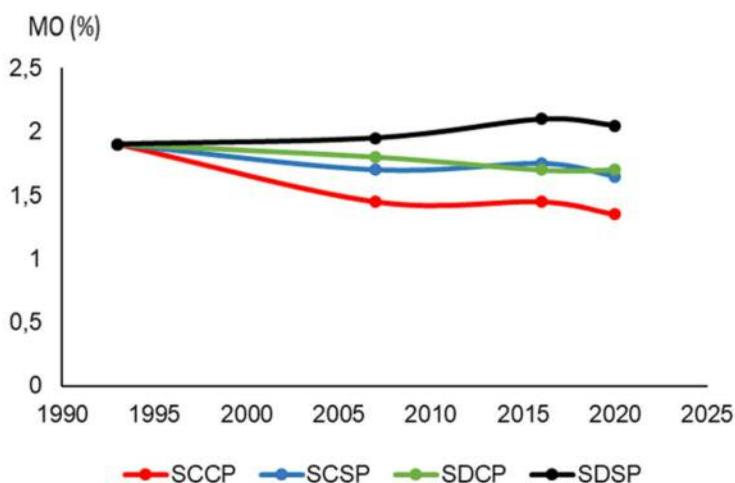


Figura 11: Contenido de materia orgánica (MO) desde 1993 hasta 2015. Siembra directa sin pastoreo (SDSP), siembra directa con pastoreo (SDCP), siembra convencional sin pastoreo (SCSP) y siembra convencional con pastoreo (SCCP).

10



Fotos 10 y 11: Jornadas realizadas en el 2019, en el marco del convenio INTA-CREA, destinada a técnicos, productores y estudiantes.

11



Foto 12: Ensayo comparativo de cereales de invierno (centenos cortos, largos, triticale, avena, tricepiro, cebada, trigo, multiespecies) en siembra directa y convencional, fertilizado y sin fertilizar con y sin pastoreo.



Foto 13: Cuatro de los integrantes del grupo de trabajo.

Parte de estos resultados se encuentran publicados en:

Fernández R, A Quiroga, C Zorati, E Noellemeyer. 2010. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. *Soil Tillage Res*, 109, 103-109.

Fernández R, I Frasier, E Noellemeyer, A Quiroga. 2017. Soil quality and productivity under zero tillage and grazing on Mollisols in Argentina a long term study. *Geoderma Regional*. 11: 44-52.

Noellemeyer E, R Fernández, A Quiroga. 2013. Crop and tillage effects on water productivity of dryland agriculture in Argentina. *Agriculture* 3: 1-11.

Quiroga A, R Fernández, E Noellemeyer. 2009. Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. 2009. *Soil Tillage Res*, 105, 164-170.

Quiroga A, R Fernández, I Frasier, E Noellemeyer, O Ormeño. 2018. Efecto de la labranza y la ganadería sobre propiedades edáficas y eficiencia en un Haplustol de la región semiárida pampeana. En: *Ensayos de larga duración en Argentina: Un aporte al logro de sistemas agrícolas sustentables*. Ed: Salvagiotti F, H Krüger, G Studdert, pp 361. ISBN 978-987-521-886-4.

CAPÍTULO 4

Evaluación del aporte de distintos nutrientes y del riego complementario en la secuencia trigo-soja-maíz-soja

Quiroga Alberto^{1 2}, Ormeño Oscar^{1 3}, Saks Matias⁴, Fernández Romina¹

1 INTA, 2 FA-UNLPam, 3 Ex asesor CREA, 4 Empresa privada

Experiencia llevada a cabo en Mari Lauquen

El incremento de los rendimientos por riego complementario y por el aporte de algunos nutrientes puede incrementar la tasa de extracción de otros nutrientes “no aportados” y acelerar la disminución de los mismos en los suelos. Ante esta situación productiva, con alta exportación y baja o nula reposición de nutrientes, es importante no solo explorar deficiencias de aquellos nutrientes llamados convencionales sino también de los denominados no convencionales como potasio, magnesio, calcio y micronutrientes (boro, zinc, cobre, molibdeno, cloro) que pueden afectar tanto los rendimientos como la eficiencia en el uso del agua. Durante el periodo 2002-2007 se llevó adelante un ensayo tendiente a determinar potenciales de rendimiento de la rotación trigo-soja-maíz-soja a partir del “aporte acumulado en el tiempo” de nutrientes (N, P, S, Mg, K, B, Zn, Cu, Mo y Cl) y de riego complementario, evaluando además los efectos acumulados sobre algunas propiedades edáficas. En 2008 se escribió el presente informe que ha sido adaptado, incorporando datos de una experiencia de riego complementario en alfalfa que fue conducida durante 7 años.

Contenido del capítulo

- Objetivos
- Características de la experiencia
- Resultados
 - Materia orgánica, fósforo, rendimiento de los cultivos
- Consideraciones finales
- Fotos

Objetivos

La producción de cereales y oleaginosas creció notablemente a partir de la década de los 90 en base al incremento del área destinada a agricultura y al aumento de los rendimientos. El proyecto de INTA sobre “Diagnóstico, reposición de nutrientes y tecnología de la fertilización” destacó el notable incremento del consumo de fertilizantes en Argentina, que pasó de 300.000 tn en 1990 a 2.500.000 tn en 2004. En 2020 el consumo de fertilizantes supero los 5.286.000 tn. No obstante, este incremento, el balance entre los aportes vía fertilización y la exportación con los granos de los principales cultivos indica tan solo una reposición del 45, 25 y 10% para P, N y S, respectivamente bien los rendimientos unitarios aún no reflejan el deterioro de los niveles de fertilidad de los suelos, es de prever que a corto plazo se verifiquen efectos negativos sobre la productividad. Es escasa la información existente sobre reposición de nutrientes y más aún en sistemas mixtos del Oeste de Buenos Aires y del Este de La Pampa, los cuales han experimentado significativos cambios en la secuencia de cultivos. Esta situación, caracterizada por un menor aporte de residuos y con menor relación C:N podrían condicionar en el mediano plazo un menor contenido de materia orgánica y algunas propiedades edáficas asociadas a este coloide podrían experimentar cambios negativos en Molisoles y Entisoles de la región.

En este sentido toma relevancia el manejo de los nutrientes en el sistema de producción (secuencia de cultivos) con lo cual la estrategia deja de ser puntual (un cultivo) y entran consecuentemente en el análisis los efectos acumulados en el tiempo, considerando además las diferentes

CULTIVO	N	P	K	S	Ca	Mg	B	Zn	Cu
TRIGO	28,5	5,5	24,5	5	4,5	5	0,25	0,052	0,01
SOJA	73,5	5,5	46,5	6,5	7,5	6,5	0,003	0,062	0,027
MAÍZ	25	4,5	24,5	3	4,5	6	0,02	0,053	0,013

Tabla 1: Requerimientos de nutrientes por tonelada de grano (kg/tn).

condiciones de sitio (interacción genotipo/ambiente/manejo). Al respecto, Quiroga et al. (2005) comprobaron que variaciones en la capacidad de retención de agua (textura y espesor de suelo) conjuntamente con variaciones en las precipitaciones (efecto climosecuencia) inciden significativamente sobre la productividad de los cultivos y el balance de carbono de los suelos. Thomas y colaboradores (adaptado de de Ismail et al., 1994) en un suelo franco limoso de Kentucky estudiaron durante 26 años los efectos de la fertilización y del tránsito de la maquinaria y del carbono sobre la densidad aparente y resistencia a la penetración y observaron que la cantidad de carbono orgánico en los primeros 10 cm del suelo estuvo directamente relacionada con la dosis de fertilizante nitrogenado, afectando la producción de biomasa de los cultivos y el balance de carbono del suelo. También se registraron diferencias significativas entre siembra directa y convencional e incrementos importantes en los contenidos de materia orgánica ante dosis crecientes de N en ambos sistemas de labranza.

Ante esta situación productiva, con alta exportación y baja reposición de nutrientes, es importante no solo explorar deficiencias de aquellos nutrientes llamados convencionales sino también de los denominados no convencionales como potasio, magnesio, calcio y micronutrientes (boro, zinc, cobre, molibdeno, cloro) que pueden afectar tanto los rendimientos como la eficiencia en el uso del agua.

En la Tabla 1 se muestran los requerimientos nutricionales de tres cultivos que integran una de las principales secuencias que actualmente predominan en Hapludoles de la Región Subhúmeda (trigo-soja segunda-maíz-soja de primera).

Por lo expuesto, la presente contribución trató de trascender los tiempos de un cultivo en lo que respecta al manejo de nutrientes, y muestra algunos efectos acumulados y/o residuales de la fertilización.

La experiencia, iniciada en 2002, fue establecida sobre un Hapludol éntico de Mari Lauquen, perteneciente a la subregión de la Pampa

Arenosa. La misma fue conducida desde INTA Anguil y formó parte de una red de experiencias establecidas en diferentes sitios de la Región Pampeana en las cuales participó el Internacional Plant Nutrition Institute (IPNI, ex INPOFOS).

Se planteó como hipótesis de trabajo que en suelos Hapludoles de la Pampa Arenosa, el contenido de nutrientes aportados por el suelo puede condicionar la productividad de la secuencia trigo-soja-maíz-soja y la eficiencia de uso del agua, tanto en condiciones de secano como bajo riego.

Los objetivos de este trabajo fueron: a) determinar potenciales de rendimiento de la rotación trigo-soja-maíz-soja a partir del aporte de nutrientes (N, P, S, Mg, K, B, Zn, Cu, Mo y Cl) y de riego complementario, y b) evaluar los efectos de la fertilización sobre algunas propiedades edáficas.

Características de la experiencia

El ensayo fue conducido en un Hapludol éntico, franco-arenoso perteneciente a la región de la Pampa Arenosa. La información analizada debe ser considerada preliminar en virtud que solo contó con 5 años de efectos acumulados (período 2002-2007). Sobre la secuencia de cultivos Trigo/soja de segunda-maíz-soja de primera, bajo siembra directa, se establecieron tratamientos de reposición de los principales nutrientes (Tabla 2). Los mismos comprenden un Testigo absoluto sin aplicación alguna de fertilizantes y distintos tratamientos que cubren los niveles de extracción de nutrientes en cultivos de alta producción (no limitados nutricionalmente). La aplicación del fertilizante se realizó a la siembra de cada cultivo con excepción de la soja de segunda donde se evaluó el efecto residual de la fertilización realizada en trigo. Se utilizaron parcelas de 35 m de ancho y 180 m de longitud. Se realizaron determinaciones de materia orgánica total (Walkley y Black), MOj (50-2000 μ m) obtenidas por tamizado en húmedo (Andriulo et al., 1991; Quiroga et al., 1996) y textura (hidrómetro de Bouyoucos). Contenidos de humedad y agua útil a intervalos de 20 cm hasta los 140 cm (método gravimétrico), punto de marchitez permanente (a 1500 KPa, membrana de

Cultivo	Tratamiento	Nutrientes									
		N	P	K	Mg	S	B	Zn	Cu	Mo	Cl
Trigo	1 Test	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 NP	150	50								
	3 NPS	150	50			25					
	4 NPSK	150	50	50		25					46
	5 NPSKMg	150	50	50	13	25					36
	6 NPSKMgmic.	150	50	50	25	50	2	4	2	0,02	27
Soja 2da.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maiz	1 Test	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 NP	150	50								
	3 NPS	150	50			25					
	4 NPSK	150	50	50		25					46
	5 NPSKMg	150	50	50	13	25					36
	6 NPSKMgmic.	150	50	50	25	50	2	4	2	0,02	27
Soja	1 Test	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 NP		57								
	3 NPS		57			32					
	4 NPSK		57	97		32					89
	5 NPSKMg		57	74	13	25					68
	6 NPSKMgmic.		57	74	13	25					68
Trigo	1 Test	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 NP	150	50								
	3 NPS	150	50			25					
	4 NPSK	150	50	50		25					46
	5 NPSKMg	150	50	50	13	25					36
	6 NPSKMgmic.	150	50	50	25	50	2	4	2	0,02	27
Soja 2da.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maiz	1 Test	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 NP	150	50								
	3 NPS	150	50			25					
	4 NPSK	150	50	50		25					46
	5 NPSKMg	150	50	50	13	25					36
	6 NPSKMgmic.	150	50	50	25	50	2	4	2	0,02	27

Tabla 2: Nutrientes aportados durante la secuencia de cultivos trigo/soja-maíz-soja.



Foto 1: Riego en cultivo de maíz.



Foto 2: Visualización del círculo de riego en secuencia trigo/soja.

presión, Richards), nitratos de 0-20 cm y de 20-60 cm (extracto acuoso con sulfato de calcio y determinación colorimétrica con ácido cromotrópico). El contenido de fósforo disponible fue determinado utilizando el extractante Bray 1 (Bray y Kurtz,

1945). Se efectuaron mediciones de biomasa aérea a cosecha, rendimiento de grano, peso de mil granos y se analizaron las concentraciones de N, P y S presente en la cobertura de residuos. Fuera del círculo de riego y no formando parte del



Foto 3: Vista de las variaciones en el relieve.



Foto 4: Muestreo de suelos en los sectores planos del relieve.

diseño estadístico, se evaluó el rendimiento de grano en seco.

En la campaña 2003/2004 el Maíz se regó en tres oportunidades (Foto 1), los días 10 de diciembre, 20 de diciembre y 15 de enero (25mm, 20mm y 25mm, respectivamente). La soja de la campaña 2004/2005 se regó el día 15 de enero y el día 20 de febrero con 25mm cada riego (Foto 2). Durante la campaña 2005/06 el trigo se regó el día 6 de agosto, 19 de octubre y 8 de noviembre con 20, 25 y 50 mm respectivamente. La soja de segunda recibió el día 23 de diciembre 30 mm. Para establecer la oportunidad del riego se realizaron determinaciones periódicas del contenido hídrico del suelo hasta 140 cm de profundidad.

Resultados

Los suelos en el sitio de trabajo forman una asociación compuesta por Hapludoles énticos, Hapludoles típicos y Udipsamientos típicos (50; 30 y 20%, respectivamente). El paisaje (Fotos 3 y 4) está formado por cordones en dirección NE-SO (Hapludoles énticos), sectores planos a planos cóncavos (Hapludoles típicos) y médanos vivos (Udipsamientos típicos). El perfil, en el sitio del ensayo, está compuesto por un horizonte A1 (27 cm) de textura franco arenosa con un contenido de MO de 2,10%; el horizonte AC (20 cm) de textura franco arenosa en general no muestra estructura definida, presentando bloques angulares,

medio débiles; el horizonte C es de textura arena franca y se extiende desde los 47 cm hasta más de 140 cm en profundidad (Tabla 3).

Los contenidos iniciales de P de 23,9 ppm pueden considerarse adecuados para cubrir los requerimientos de los cultivos de la secuencia trigo-soja-maíz-soja. El pH también es adecuado y estaría relacionado con la alta saturación de bases (97,7%). La saturación con Ca del complejo (54,2 %), Mg (16,5%) y la relación Ca/Mg (3,3) se encuentran dentro de rangos considerados adecuados para los requerimientos de esta secuencia de cultivos.

Precipitaciones

Del análisis de las precipitaciones se comprobó que una parte importante de las mismas tiene lugar durante el período de barbecho. Del total de las precipitaciones (4616 mm), el 70% (3246 mm) ocurrió durante el ciclo de los cultivos y el 30% (1370 mm) durante los barbechos (Figura 2).

Materia orgánica y Fósforo

Al evaluar los efectos acumulados de la aplicación de fertilizantes sobre las propiedades edáficas del Hapludol éntico se observa una disminución en los contenidos de P disponible en el tratamiento sin aporte de nutrientes (Testigo, Figura 3). En cuanto a los demás tratamientos se comprobó un incremento en los niveles de P. Se infiere que los niveles de P aplicados durante la

		Estructura
Horizonte A	27cm	Bloques subangulares a angulares, medio-moderados.
Horizonte A/C	27-47cm	Bloques angulares, medio-débiles.
Horizonte C	>47cm	Bloques angulares, medio-débiles rompiendo a grano suelto.

Tabla 3: Descripción de los horizontes y la estructura del perfil de suelo donde se realizó la experiencia.

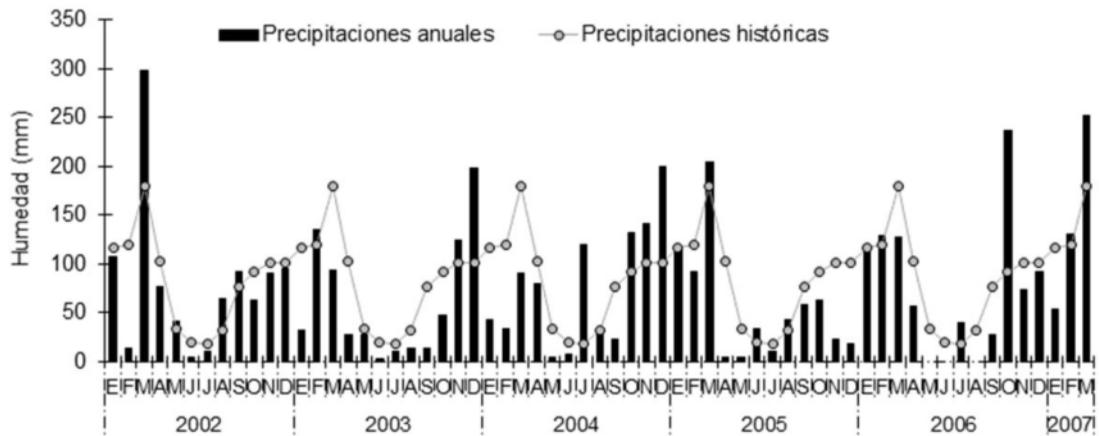


Figura 1: Distribución de las precipitaciones durante el desarrollo de la experiencia.

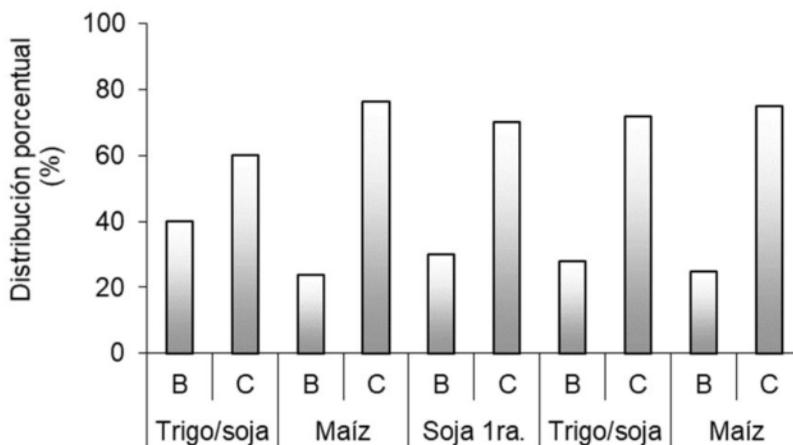


Figura 2: Distribución porcentual de las precipitaciones para la secuencia Trigo/Soja-Maíz-Soja. B: barbecho, C: cultivo.

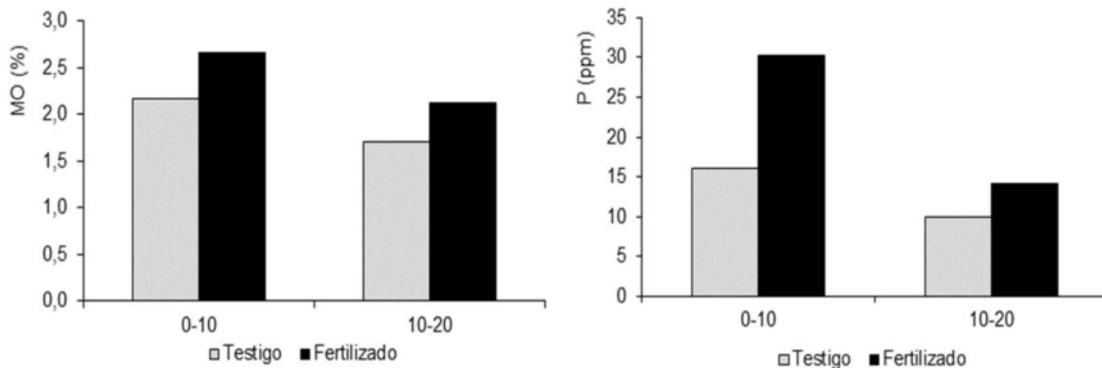


Figura 3: Efecto de la fertilización (N, P) sobre los contenidos de materia orgánica y contenidos de P.

secuencia fueron suficientes para reponer lo extraído por los cultivos. Los contenidos de MO de los primeros 10 cm muestran una tendencia a incrementar en el tratamiento fertilizado con NP. Si bien los resultados son preliminares, en el estrato superior los incrementos fueron de aproximadamente 500 kg/ha. año de carbono orgánico. Se infiere que asociado con mayores rendimientos de

grano y biomasa resultó también mayor el aporte de residuos en los tratamientos con mayor fertilización, además de presentar menores relaciones C/N, lo cual puede favorecer la actividad biológica. Condiciones óptimas de humedad a partir del riego también pueden haber contribuido, no obstante estos datos deben ser considerados preliminares y requieren de mayor experimentación para

confirmar la magnitud de estos efectos. La Figura 3 muestra la influencia de la fertilización sobre los contenidos iniciales y finales (luego de 5 años) de materia orgánica y fósforo en los primeros 20 cm del perfil.

Rendimiento de los cultivos

a. Cultivos de la rotación

Al considerar la producción total del periodo evaluado, la respuesta al riego fue del 22%. En cuanto a los tratamientos de fertilización, se comprueba una significativa respuesta al agregado de NP (aproximadamente de 8000 kg/ha acumulados, que representó un incremento del 21%) (Figura 4). El agregado de otros nutrientes (NPSKMg) no incidió de manera consistente sobre los rendimientos, coincidiendo con los niveles adecuados de los mismos al momento de iniciar la experiencia (contenidos de Ca, K, Mg y micronutrientes superiores a valores considerados críticos). En base a estos resultados en la Figura 5 se

comparan los rendimientos relativos del tratamiento NP con el testigo, sin aporte de nutrientes.

Se observaron respuestas significativas ($p < 0,05$) a la fertilización balanceada con NP en el cultivo de trigo/soja de segunda. La aplicación de NP produjo aumentos de rendimientos acumulados en granos de 2451 kg/ha en trigo y por efecto residual de 1117 kg/ha en soja de segunda (Figura 6). Es importante observar que este efecto residual sobre soja de segunda se comprobó a pesar que el suelo contenía niveles considerados suficientes de P. Se especula que otros factores asociados a mayor aporte de residuos, de menor C/N, posiblemente mayor actividad biológica, pueden haber incidido sobre el rendimiento.

Las Fotos 5 y 6 ilustran parte de esta respuesta a la fertilización en los cultivos de maíz y trigo.

Las diferencias de rendimiento en trigo fueron principalmente determinadas por el aumento del número de granos/m², como consecuencia de un mayor número de espigas (macollos fértiles) (Tabla 4). Por otra parte, los contenidos de prote-

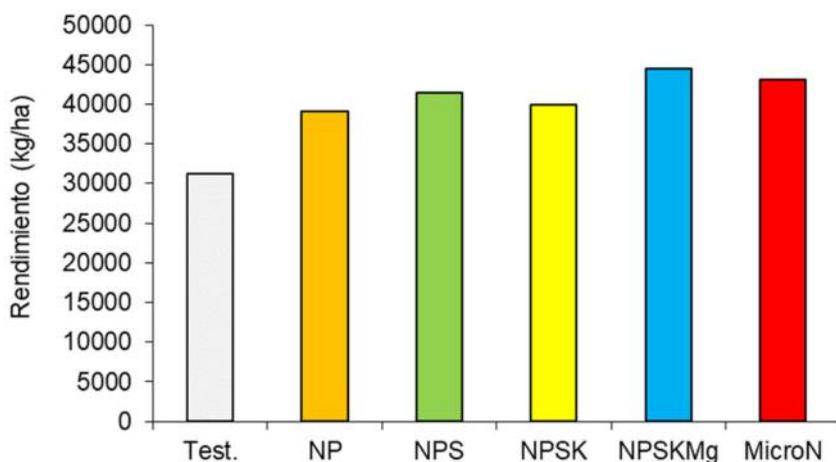


Figura 4: Rendimientos acumulados de la secuencia para cada tratamiento de fertilización durante el periodo 2002-2007.

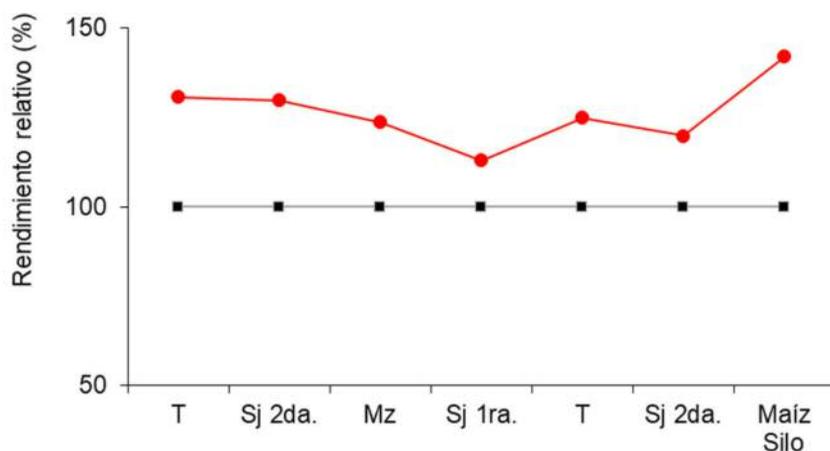


Figura 5: Rendimiento relativo del tratamiento fertilizado con NP respecto del testigo (nivel referencia 100) para distintos cultivos. T= trigo, Mz= maíz, Sj.= soja

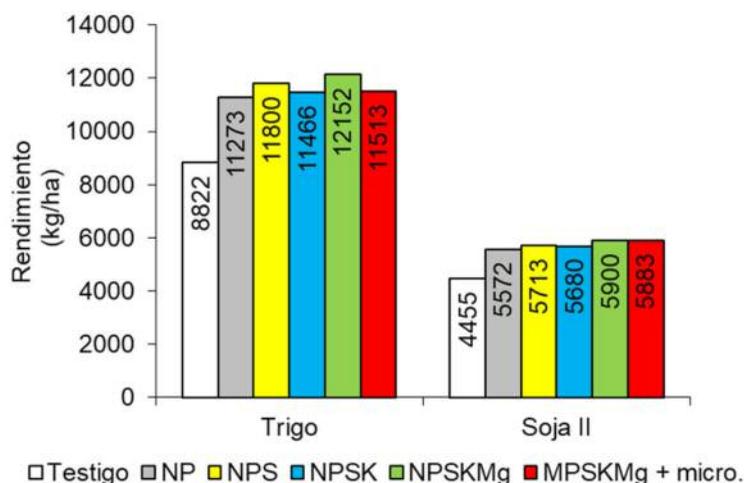


Figura 6: Rendimiento acumulado de grano (Kg/ha) de trigo/soja de segunda para los distintos tratamientos de fertilización realizados en 2002/03 y 2005/06 (efecto residual).



Foto 5: Vista de tratamientos de maíz testigo y fertilizado.



Foto 6: Respuesta visual de trigo a la fertilización incidiendo sobre macollos fértiles.

Tratamientos	Rendimiento (Kg/ha)	Espigas/m ²	PMG (grs)	Proteínas (%)	Rastrojo Kg/ ha
Testigo	4493	419	37,3	9,8	5235
NP	5610	501	40,1	12,5	9288
NPS	5248	481	39,6	13,2	9146
NPSK	5214	479	41,2	12,7	8008
NPSKMg	5313	501	41,7	12,7	8628
NPSKMg+Micro.	5131	460	41,5	11,8	7538
Testigo secano	3260	323	38,4	9,6	4482

Tabla 4: Parámetros evaluados en trigo para los distintos tratamientos de fertilización.

ina fueron significativamente mayores y el rastrojo remanente se incrementó de manera importante por efecto de la fertilización. Anteriormente habíamos expuesto que esta podría ser una de las causas de las diferencias en materia orgánica entre testigo y fertilizado.

Al evaluar los contenidos de residuos en super-

ficie se comprobó, entre testigo y fertilizado, similar concentración de C y mayor contenido de P, S y N en el fertilizado. En este tratamiento la relación C/N de los residuos resultaron menores (53) que en el testigo (67). Posiblemente estas diferencias en calidad también hayan incidido en el mayor contenido de MO del suelo fertilizado.

b. Fertilización en maíz

En el tratamiento testigo se establecieron parcelas, durante los cultivos de maíz, con la finalidad de evaluar la respuesta a distintas dosis de N.

El estrés nitrogenado es frecuente de observar en maíces no fertilizados con N, y en este caso sin limitaciones hídricas (bajo riego). La deficiencia de N hace que las hojas tomen una coloración verde claro a amarillento debido a la merma en el contenido de clorofila. El amarillamiento y senescencia foliar producido por la escasez de dicho nutriente comienzan en las hojas basales que remobilizan N hacia las más jóvenes.

Las funciones del nitrógeno en la planta incluyen la formación de clorofila y proteínas, por lo tanto, el diagnóstico de la deficiencia de N puede realizarse por medio de la determinación del contenido de clorofila en hojas y el contenido de N en distintos órganos de la planta.

Las deficiencias de N reducen el número de granos y el rendimiento en grano a través de la merma de la materia seca total y también por medio de la caída en la partición de la materia seca hacia los granos. Las diferencias en el número de granos están más asociadas con variaciones en la fijación granos (fertilización y aborto de granos) que con variaciones en el número de espiguillas o granos potenciales (Uhart, 1995).

Las deficiencias de N reducen el rendimiento

afectando tanto el número de granos como el peso de los mismos (Uhart y Andrade, 1995).

El número de hojas totales por planta fue similar entre los diferentes tratamientos, pero sí se registraron diferencias en el tamaño y el número de hojas activas por planta durante el llenado del grano entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados. Aproximadamente el 50% del área foliar de las plantas que no recibieron aportes de N alcanzaron la senescencia en contraste con los tratamientos de fertilización, donde las hojas prolongaron su actividad durante unos 40 días.

La evaluación del número de granos (y sus subcomponentes) y el peso de los mismos se llevó a cabo al estado de madurez fisiológica. El peso de mil granos y el número de granos por espiga fueron menores en el tratamiento Testigo, y ambos componentes del rendimiento aumentaron conforme lo hizo la fertilización (Tabla 5).

En cuanto al rendimiento de grano se registraron diferencias entre el testigo y los tratamientos fertilizados, comprobándose además diferencias entre los tratamientos N40 y N40+S10 y el tratamiento N80 (Figura 7). De esta manera se confirmó respuesta significativa a dosis creciente de N (0, 40 y 80 kg/ha). Similar respuesta se encontró en la campaña 2006/2007 (Figura 8).

En relación con los contenidos de agua del

Tabla 5: Numero de hojas, biomasa, hojas activas, peso de mil granos (PMG) y número de granos/espiga en los diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamiento	N° hojas	Biomasa (kgMS/ha)	N° hojas activas	PMG (g)	N° granos/espiga
Testigo	11	12000	6,2	240	460
N40	10	16000	9,8	280	600
N80	10	15800	10,2	310	590
N+S	10	19000	10,1	300	605

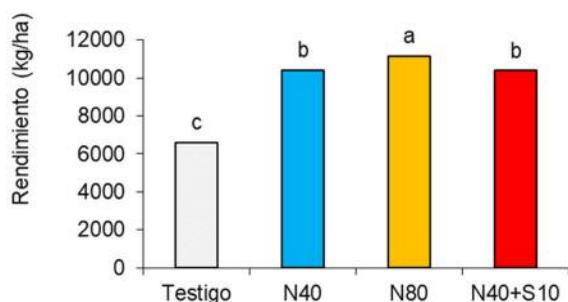


Figura 7: Rendimiento (kg/ha) según tratamiento (2003/04).

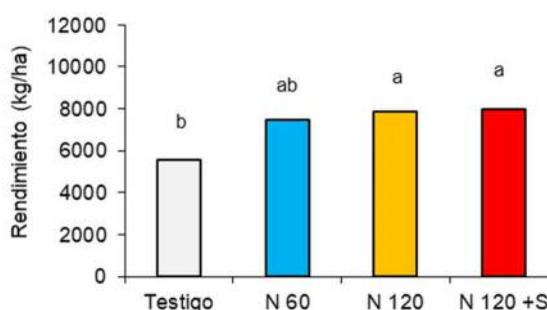


Figura 8: Rendimiento (kg/ha) según tratamiento (2006/07).

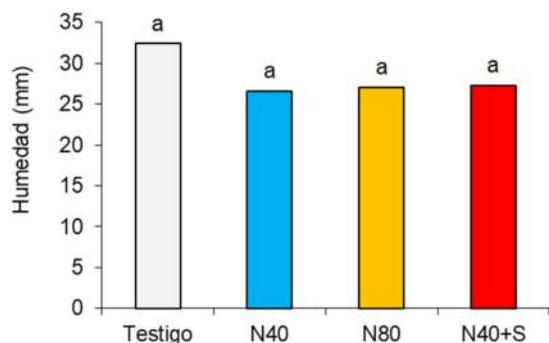


Figura 9: Humedad (mm) en los primeros 20cm.

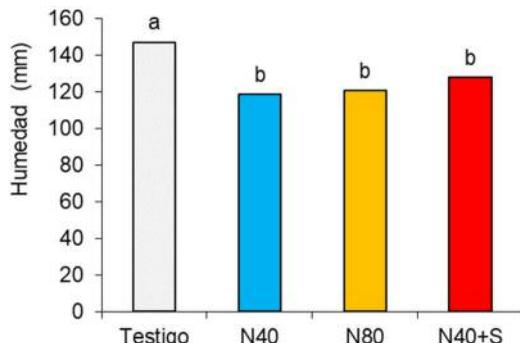


Figura 10: Humedad del perfil (140cm).



Foto 7: Desuniformidad en pastura de alfalfa.



Foto 8: Raíces de alfalfa de crecimiento horizontal limitadas por compactación subsuperficial.

suelo no se registraron diferencias entre tratamientos al considerar los primeros 20 cm del perfil (Figura 9). Sin embargo, las diferencias resultaron significativas entre el tratamiento testigo y los tratamientos fertilizados cuando se analizó el contenido de agua hasta 140 cm de profundidad (Figura 10). El mayor contenido de agua remanente en el suelo en el tratamiento testigo estaría asociado con el menor consumo a partir de un menor número de hojas activas en la etapa reproductiva. Esta disminución en la superficie de transpiración que puede darse por reducción del crecimiento foliar y/o aceleración de la senescencia ante un estrés hídrico y/o nutricional disminuye el consumo de agua y puede limitar el rendimiento incidiendo negativamente sobre la eficiencia en el uso del agua por parte del cultivo.

c. Experiencias con Alfalfa

A partir de la preocupación expuesta por productores tamberos sobre la menor producción y persistencia de algunos alfalfares, realizamos un muestreo de suelos en unos 30 tambos del Oeste

de Buenos Aires (desde 30 de Agosto-América) y del Este de La Pampa. En el análisis del conjunto de lotes se identificaron tres limitantes: bajos contenidos de P, saturación de bases menores al 80% e importantes compactaciones subsuperficiales que dan lugar a manchoneo y desuniformidad de la pastura. Favoreciendo en muchos casos el desarrollo localizado de malezas y/o encostramiento superficial. Las Fotos 7 y 8 ilustran sobre estos efectos.

Otro de los interrogantes fue en cuanto el riego complementario puede incidir sobre la producción y longevidad de la pastura. Al respecto, nos pareció oportuno presentarles una experiencia que realizamos durante la década de los `80, que tiene el valor de haber realizado riego durante 7 años evaluando producción y eficiencia en el uso del agua, contrastando con alfalfa sin riego. Los antecedentes de esa época señalaban que "la disponibilidad de agua en el suelo durante la estación de crecimiento era un importante factor en el mantenimiento del número de plantas de los alfalfares". Comprobándose que el stress hídrico

Tabla 6: Precipitaciones, riego, materia seca y eficiencia en el uso del agua en los 7 años de experiencias en alfalfa.

Año	Precipitaciones (mm)	Riego (mm)	Materia Seca (kg/ha)		Efic uso agua (kg/ha mm)	
	Agosto- Mayo		Secano	Riego	Secano	Riego
1	868	620	12126	13001	13,9	8,7
2	682	700	10385	14516	15,2	10,5
3	644	660	3217	14546	5	11,1
4	702	410	-	15776		14,2
5	557	365	-	10906		11,8
6	688	530	-	20813		17,1
7	640	610	-	21339		17,1
Promedio	683	556	8576	15842	11,4	12,9

durante la estación de crecimiento provoca rápida pérdida de plantas (Leach, 1978). Por ello, el objetivo de comparar secano y riego.

La pastura se estableció el 15 de marzo, inoculada y fertilizada con P (200 kg/ha de superfosfato triple de calcio). El riego se realizó con un equipo portátil tipo Nicolussi-Manessman, con picos MR20 y toberas de 6mm y una pluviometría de 10 a 15mm/h a 3 atmósferas de presión. El riego se realizó durante la estación de crecimiento (agosto a mayo) y se regó cuando se detectaba un agotamiento del 40% del agua útil del suelo. La evapotranspiración de la pastura es de 1200 mm/año según la fórmula de Blanney y Criddle, dato que se aproxima a las mediciones realizadas con micro lisímetro (1026 mm). En la Tabla 6 se resumen los principales resultados de la experiencia.

La oferta hídrica total que recibió la pastura fue en promedio de 1239 mm/año, de los cuales el 45% fue aporte del riego. La pastura en secano se perdió al cuarto año, mientras que bajo riego continuó con alto nivel de producción luego de 7 años. Incluso el ajuste de control de adversidades (pulgón, tucura, oruga grasienta e isoca) se ajustó en los últimos años de riego e implicó una mayor producción de la pastura. Si bien es difícil explicar los resultados en secano y tomando como base a trabajos realizados en Australia, se infiere que factores asociados a la disponibilidad de agua han sido principales responsables de la temprana pérdida de la pastura. También adquiere especial importancia que el suelo húmedo en el sector bajo riego en la pastura soportó mejor las primeras heladas, prolongando el descanso otoñal. Esta

mayor acumulación de reservas podría haber sido una de las causas de la mayor longevidad. Considerando el promedio de los 3 primeros años, el riego incrementó en un 60% la producción de materia seca, con una eficiencia en el uso del agua que varió entre 8,7 y 17,1 kg MS/ha año.

Consideraciones finales

En base a los resultados aportados por el módulo, se pudo comprobar que el riego complementario incrementó un 22% en promedio el rendimiento de la secuencia, considerando las producciones acumuladas. Por sobre este efecto (solo riego), el aporte de nutrientes incrementó 21% el rendimiento promedio durante los 5 años de estudio. La respuesta más importante fue a N. Complementariamente se realizó una experiencia en maíz que mostró la significativa respuesta del cultivo a dosis crecientes de N. Los tratamientos con y sin aporte de P se diferenciaron significativamente en sus contenidos evaluados en los estratos superiores del perfil del suelo. Los niveles de materia orgánica mostraron un leve incremento, que resulta importante desde el punto de vista del balance de carbono. En relación con el aporte del riego en la pastura de alfalfa, el mismo incrementó significativamente la producción de materia seca y la longevidad de la misma. En secano se alcanzaron buenos niveles de producción durante los dos primeros años y una rápida declinación de la pastura a partir del tercer año. Este comportamiento es señalado, como lo expresamos anteriormente, por muchos productores.

CAPÍTULO 5

Efectos de la fertilización sobre la eficiencia de uso del agua de la rotación en un suelo arenoso franco

Otamendi Hernán¹, Fernández Romina², Funaro Daniel², Álvarez Cristian², Quiroga Alberto^{2 3}

1 Ex asesor CREA, 2 INTA, 3 Fac Agronomía

Experiencia llevada a cabo en Trili

Hacia fines de la década de los `90 se plantea que el avance de la agricultura en los sistemas mixtos de producción podía producir cambios significativos en el ciclo de algunos nutrientes. Principalmente al modificarse el uso consuntivo, la profundidad efectiva del perfil explorado por las raíces, la fijación de N, la cantidad y calidad de los residuos aportados y el uso de fertilizantes. En este sentido, resultaba evidente que la respuesta de los cultivos al aporte de un nutriente iba a aumentar la tasa de extracción de otro nutriente "no aportado". Con el objetivo de generar información al respecto, se evaluaron los efectos del aporte de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) (periodo 2001-2007) sobre la productividad de los cultivos, eficiencia de uso del agua y propiedades edáficas. La experiencia fue conducida en siembra directa, sobre un Molisol con 76% de arena, en el establecimiento El Pavon (Trili).

Contenido del capítulo

- Objetivos
- Características de la experiencia
- Resultados
 - Cultivo de maíz, girasol, trigo y verdes, propiedades edáficas, respuesta a la fertilización, inclusión de cultivos de cobertura.
- Consideraciones finales

Objetivos

La exportación de nutrientes "tranqueras afuera del sistema de producción" supera ampliamente la reposición que se realiza a través de fertilizantes. Si bien el uso de fertilizantes en Argentina

ha aumentado en los últimos años, solo tres nutrientes son aplicados: N, P y en menor medida S. Hace unos 15 años el Proyecto de INTA sobre "nutrición mineral de cultivos, biofertilidad y remineralización" planteaba que asociado a la intensificación de la agricultura y el uso de fertilizantes pueden tener lugar cambios en el pH de los suelos. Podríamos agregar que estos cambios se darían en mayor medida en suelos de granulometrías más gruesas que caracterizan la Planicie Medanosas, compuesta por Molisoles y Entisoles con baja capacidad de intercambio catiónico (menor capacidad buffer) donde resultados preliminares muestran disminuciones en la saturación de bases del complejo de intercambio. Este tema también fue expuesto en el capítulo 4 cuando se analizaron algunos factores que inciden sobre la producción y persistencia de alfalfa.

Del análisis de la información disponible, el proyecto de INTA sobre "diagnóstico, reposición de nutrientes y tecnología de la fertilización" también planteaba que para algunos nutrientes no se han logrado desarrollar métodos de diagnóstico adecuados y que es necesaria la generación y/o ajuste de la tecnología de aplicación de fertilizantes a fin de optimizar la eficiencia de uso de los mismos (manejo por ambientes). Principalmente en Regiones como la Semiárida Pampeana donde la inclusión de cultivos de cosecha gruesa en planteos agrícolas prácticamente continuos resultaba incipiente a fines de los `90. Por otra parte, los cambios en los sistemas de labranza modificaron propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, alterando los procesos de transformación de los nutrientes y su eficiencia de uso por los cultivos. El nutriente más afectado es el N (Fox y



Foto 1: Perfil del suelo de la Planicie Medanososa de textura arenoso-franco, con 75% de arena. El paisaje se compone de Zonas planas del relieve con Haplustoles énticos y lomas con Ustipsamentes típicos.

Bandel, 1986) por lo cual es necesario considerar sus transformaciones y analizar la respuesta y estrategias de fertilización. No solo buscando mayor rendimiento sino también teniendo en cuenta la calidad (ej. contenido proteína de trigo). Por otra parte la significativa disminución en los contenidos de P (Romano y Roberto, 2007) muestra que frecuentemente este nutriente limita los rendimientos de los cultivos y la eficiencia de uso del N.

El principal objetivo del módulo fue "Evaluar los efectos de la fertilización en la eficiencia de uso del agua de los cultivos de la rotación que predominan en este ambiente edáfico, acumulando efectos sobre el suelo". El agua es la principal limitante de la productividad de los cultivos en las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana y la eficiencia con que distintos cultivos la utilizan normalmente es condicionada por la disponibilidad de nutrientes.

Características de la experiencia

El ensayo fue conducido en un Haplustol éntico, arenoso-franco (76% arenas) perteneciente a la región de la Planicie Medanososa (Agustoni/Dorila, Foto1). La información analizada corresponde a 6 años de efectos acumulados (período 2001-2007).

Secuencia de cultivos:

Antecesor verdeo de invierno (2000) - soja (2000/2001) - maíz (ensayo, 2001/2002) - girasol (2002/2003) - trigo (2003) - verdeo invierno (2004)- cult. cobertura/soja (2005/06) - cult. cobertura/maíz (2006/07). Se utilizaron parcelas de 5 m de ancho y 20 m de longitud.

Sistema de labranza y fertilización:

La secuencia de cultivos fue conducida en siembra directa, aplicando parte de los fertilizantes previo a la siembra (Ejemplo, en maíz con sembradora de grano fino). Durante el cultivo de trigo el aporte de N se realizó con SOL UAN. En el verdeo de invierno se utilizó Superfosfato triple de Calcio incorporándolo a la siembra y el aporte de N (SOL UAN) y N+S (SOL Plus) se realizó luego de la siembra y antes de emergencia. En el cultivo de cobertura el aporte de N (SOL UAN) y N+S (SOL Plus) se realizó buscando efecto residual de S en la soja que se estableció en octubre de 2005. Sobre soja se estableció centeno como cultivo de cobertura se fertilizó (con N y N+S) y se realizaron aplicaciones de glifosato en tres momentos (julio, agosto y setiembre) conservando un testigo sin cultivo de cobertura. Sobre estos tratamientos se estableció maíz sobre el cual se evaluó la respuesta a las distintas tecnologías aplicadas en el cultivo de cobertura.

Tratamientos de fertilización:

En la Tabla 1 se resumen los aportes de nutrientes realizados en los distintos tratamientos y cultivos de la secuencia.

Observación: para definir la cantidad de nutrientes a utilizar en los distintos tratamientos se consideraron los siguientes rendimientos objetivos: Maíz (8000 kg/ha) - girasol (3000 kg/ha), trigo (3500 kg/ha), verdeo invierno (3500 kg materia seca/ha), cultivo de cobertura (3000 kg materia seca/ha) y soja (3000 kg/ha), cobertura (3000 kg/ha) y maíz (6000 kg/ha).

En suelo se realizaron una serie de determinaciones que son necesarias en este tipo de experimentos: materia orgánica total (Walkley y Black), MOj (50-2000 μ m) obtenidas por tamizado en húmedo (Andriulo et al., 1991) y textura (hidrómetro de Bouyoucos). Contenidos de humedad y agua útil a intervalos de 20 cm hasta 140 cm (método gravimétrico), punto de marchi-

Tabla 1: Aporte de nutrientes en los distintos tratamientos (2001/2005).

Tratamiento	MAÍZ			GIRASOL			TRIGO			VERDEO			CULTIVO COB/SOJA			CULTIVO COB/MAÍZ		
	P	N	S	P	N	S	P	N	S	P	N	S	P	N	S	P	N	S
P1	20	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1-N1	20	140	-	-	-	-	-	40	-	-	20	-	-	20	-	-	20	-
P1-N2	20	250	-	-	-	-	-	80	-	-	40	-	-	40	-	-	40	-
P1-N1-S	20	140	40	-	-	-	-	40	-	-	20	10	-	20	20	-	20	10
P1-N2-S	20	250	40	-	-	-	-	80	-	-	40	10	-	40	20	-	40	10
P2	50	-	-	-	-	-	-	20	-	40	-	-	-	-	-	-	20	-
P2-N1	50	140	-	-	-	-	-	40	-	40	20	-	-	20	-	-	20	20
P2-N2	50	250	-	-	-	-	-	80	-	40	40	-	-	40	-	-	20	40
P2-N1-S	50	140	40	-	-	-	-	40	-	40	20	10	-	20	20	-	20	20
P2-N2-S	50	250	40	-	-	-	-	80	-	40	40	10	-	40	20	-	20	40

tez permanente (a 1500 KPa, membrana de presión, Richards), nitratos de 0-20 cm y de 20-60 cm (extracto acuoso con sulfato de calcio y determinación calorimétrica con ácido cromotrópico). El contenido de fósforo disponible fue determinado utilizando el extractante Bray 1 (Bray y Kurtz, 1945). En algunos cultivos se efectuaron medicio-

nes de biomasa aérea a cosecha, rendimiento de grano, peso de mil granos y se analizaron las concentraciones de N, P y S presente en la cobertura de residuos remanente.

La Tablas 2 y 3 resumen las principales características edáficas "iniciales" del sitio donde fue conducido el ensayo (2001). Esta información es nece-

Tabla 2: propiedades edáficas evaluadas previo al establecimiento del modulo de experimentación (laboratorio de suelos de INTA Anguil).

Tratamientos	Bloque	Prof (cm)	MO %	pH	P(ppm)	Nitratos (ppm)	Textura %		
							Arcilla	Limo	Arena
P1	I	0-20	1,04	5,13	41,75	43,47	6,4	17,1	76,6
		20-40	0,61	5,9	28,24	28,11	6,4	18,1	75,6
P2	I	0-20	1,16	5,47	40,86	53,31	6,4	16,1	77,6
		20-40	1,03	5,61	37,08	41,4	6,4	15,1	78,6
P1	II	0-20	1,1	5,65	28,5	35,17	7,4	18,1	74,6
		20-40	1,15	5,8	20,85	38,8	7,4	18,1	74,6
P2	II	0-20	1,15	5,67	37,19	41,38	6,0	16,4	77,6
		20-40	1,17	5,98	32,08	45,93	6,0	17,4	76,6
P1	III	0-20	1,18	5,41	48,84	69,37	6,0	16,4	77,6
		20-40	1,17	5,57	38,73	73,16	6,0	15,4	78,6
P2	III	0-20	1,42	5,72	28,23	47,75	6,0	18,4	75,6
		20-40	1,66	5,78	22,47	32,71	6,0	17,4	76,6
P1	IV	0-20	1,35	5,75	29,21	33,97	7,0	18,4	74,6
		20-40	1,3	5,96	29,05	30,96	7,0	18,4	74,6
P2	IV	0-20	1,41	5,67	31,95	33,8	6,0	17,4	76,6
		20-40	1,15	5,81	37,08	35,22	6,0	18,4	75,6
Promedio			1,19	5,68	33,26	42,78	6,39	17,31	76,31

Tabla 3: Contenido inicial de nutrientes (ppm) evaluados al momento de establecer el módulo.

Tratamientos		S-SO4	S-SO4	K	Mg	Ca	Na	Zn	Mn	Cu	Fe	B	B
		0 - 20	20 - 40	0 - 20	0 - 20	0 - 20	0 - 20	0 - 20	0 - 20	0 - 20	0 - 20	0 - 20	20 - 40
Bloque I	P1	7,5	8,1	469	134	383	39	1,83	7,6	0,53	22,1	0,3	0,36
	P2	9,4	7,2	477	123	404	41	0,82	6,2	0,48	29,4	0,41	0,39
Bloque II	P1	9,4	7,7	383	126	439	35	1,33	5,5	0,5	25	0,34	0,34
	P2	9	8,2	453	132	457	32	1,84	6,5	0,57	26,7	0,44	0,37
Bloque III	P1	8,8	7,5	461	136	443	41	0,87	6,8	0,55	24,7	0,42	0,38
	P2	9,5	7,2	492	139	504	41	1,01	6,9	0,55	28,5	0,39	0,38
Bloque IV	P1	10,3	8,2	438	136	478	39	1,08	8	0,5	28	0,48	0,42
	P2	11,6	11,8	516	130	464	41	0,55	7,3	0,47	28	0,51	0,42
Promedio		9,4	8,2	461,1	132,0	446,5	38,6	1,17	6,9	0,52	26,6	0,41	0,38

saria (línea de base) para evaluar los efectos acumulados de la fertilización en el tiempo.

Precipitaciones:

En relación al requerimiento de agua por parte de los cultivos, estudios previos muestran usos consuntivos de 500 mm durante el periodo 1 octubre/28 febrero en cultivos de verano (girasol, maíz) y de 380-400 mm durante el periodo 1 julio/30 noviembre, en cereales de invierno (trigo y cebada). Asumiendo que el perfil del suelo al momento de la siembra se encuentra en capacidad de campo, (112 mm de agua útil en 140cm de profundidad), los requerimientos de precipitaciones durante los cultivos serían de 390 (verano) y 270mm (invierno).

Normalmente en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana las precipitaciones (durante el periodo de cultivo) no cubren los requerimientos de uso consuntivo de los mismos y normalmente limitan el rendimiento y la respuesta a la fertilización. Debido a ello la secuencia de cultivos y la realización de barbechos de dos o tres meses con adecuada cobertura (mayor al 60%) generan condiciones para una mayor eficiencia en el uso de los nutrientes, tanto aportados por fertilización como por mineralización de la materia orgánica. En tal sentido, Lampurlanes et al. (2002) señalan la importancia de la conservación del agua durante el barbecho, la cual resulta principalmente dependiente del tipo de suelo, sistema de labranza, probabilidad de precipitaciones y capacidad de retención de agua del suelo en el perfil que van a explorar las raíces.

Resultados

A continuación se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos en cada cultivo y un análisis conjunto de los efectos de la fertilización sobre la eficiencia de uso del agua.

Cultivo de maíz (2001/02)

En base a lo expuesto en el punto anterior, los contenidos de agua del perfil del suelo en distintos momentos del ciclo de los cultivos fue evaluado en capas de 20 cm hasta una profundidad de 140 cm, para dos tratamientos: con menor (P1) y con mayor (P2 N2 S) aporte de nutrientes. Las Tablas 4, 5 y 6 resumen los principales resultados obtenidos durante el cultivo de maíz, en base a los mismos se estimó el uso consuntivo y eficiencia de uso del agua por parte del cultivo. De similar forma se procedió en los distintos cultivos establecidos en los 6 años de experimentación.

Una síntesis de los principales resultados obtenidos en el cultivo de maíz se presentan en la Tabla 7. Es importante observar el contenido de N en biomasa en los distintos tratamientos, principalmente en los que solo fueron fertilizados con P.

Complementariamente en algunos tratamientos se evaluó el contenido de C y N en el rastrojo remanente posterior a la cosecha. La relación C/N fue modificada por la fertilización, alcanzando los valores más bajos (32) en el tratamiento de mayor aporte de nutrientes (P2 N2 S).

El contenido inicial de N-nitratos al momento de establecer los tratamientos de fertilización, previo a la siembra del cultivo, resultaron equivalentes en el promedio de los bloques entre los tratamientos principales de fertilización: 53 kg/ha 40

Prof./Trat.	P 1	P 2 N2 S	P 1	P 2 N2 S	P 1	P 2 N2 S	P 1	P 2 N2 S
20	9,2	9,4	9,4	10	9,1	9,2	10,6	10,1
40	10,3	10	8,1	10,5	10	10,3	10,1	9,7
60	11,6	9,2	9	10,7	9,5	9,1	10,1	9,7
80	11	8,7	9,3	9,9	8,7	8,9	10	10,3
100	10,4	8,7	8,8	9,4	8,1	9	10,9	10,1
120	10,8	8,5	9	9,4	8,6	9,6	10,9	10,5
140	11,1	8,3	9	9,4	9,6	10	11,3	10,2

Tabla 4: Contenido de agua a la siembra de maíz (%).

Prof./Trat.	P 1	P 2 N2 S						
0-20	5,5	4,8	5,4	5,7	5,1	5,9	6,1	5,2
20-40	5,6	5,2	5,4	5,5	4,9	5,7	6,2	5,8
40-60	6,5	5,7	6,1	6,8	5,2	5,7	5,3	5,9
60-80	5,9	5,9	6	6	5,5	6,1	5,4	5,4
80-100	6,2	6,1	6,3	5,7	5,6	5,5	5,5	6,4
100-120	5,8	6	6	5,5	6,3	5,4	6,2	6,2
120-140	5,6	5,8	5,8	5,6	6,3	5,2	6	5,7

Tabla 5: Contenido de agua en floración (%).

Prof./trat.	P 1	P 2 N2 S	P 1	P 2 N2 S	P 1	P 2 N2 S	P 1	P 2 N2 S
	Noviembre		Diciembre		Febrero		Marzo	
0-20	9,6	9,7	5,5	5,4	7,9	9,8	14,8	14,8
20-40	9,6	10,1	5,5	5,6	9,2	8,6	12,5	13,7
40-60	10,1	9,7	5,7	6	8,4	7,7	11,1	11,8
60-80	9,7	9,5	5,7	5,9	7,6	5,4	11,5	12,4
80-100	9,5	9,5	5,9	6	5,5	4,8	13,1	13,2
100-120	9,8	9,6	6,1	5,8	4,3	4,4	16	14,5
120-140	10,2	9,5	5,8	5,6	4,2	4,6	20,1	16,8

Tabla 6: Resumen de los contenidos promedios de agua (%) en distintos momentos del cultivo.

Tratamiento	Materia seca (kg/ha)	N biomasa (%)	N biomasa (kg/ha)	PMG (gr)	Rend.grano (kg/ha)
P 1	9031	1,19	107	275	7554
P 1 N1	11100	1,25	139	272	8214
P 1 N2	11618	1,49	173	280	8502
P 1 N1 S	11822	1,49	176	279	8610
P 1 N2 S	12486	1,37	171	275	8256
P 2	10973	0,87	95	279	7953
P 2 N1	11852	1,27	151	283	9177
P 2 N2	12663	1,3	165	284	9126
P 2 N1 S	13418	1,62	217	286	9411
P 2 N2 S	12633	1,58	200	275	9981

Tabla 7: Biomasa aérea, contenido de N en biomasa y rendimiento de grano.

cm (en P1) y 50 kg/ha 40 cm (en P2).

Los contenidos iniciales de agua del perfil resultaron de 176 mm y 174 mm para los tratamientos P1 y P2, respectivamente. A fines de diciembre los contenidos de agua se reducen a 100 mm debido a las bajas precipitaciones (N + D = 104 mm), dando lugar a un uso consuntivo parcial de 238 mm. En el periodo enero-marzo las precipitaciones son importantes (388 mm) y los perfiles se recargan de agua, llegando a cosecha con 254 y 250 mm en P1 y P2. El uso consuntivo parcial de este periodo fue de 240 mm, dando lugar a un uso consuntivo total de 478 mm. La densidad del híbrido DK 696 varió entre 60.000-65.000 plantas/ha.

Los resultados preliminares de este ensayo de larga duración muestran además un importante efecto de la fertilización sobre la biomasa aérea, N en biomasa y producción de grano. El N total en planta a diciembre se relacionó con la biomasa aérea ($r = 0,84$) y con el rendimiento de grano ($r = 0,79$). El rendimiento de grano parece estrechamente relacionado con la biomasa a diciembre ($r = 0,80$).

En cuanto a la producción de biomasa se registraron diferencias significativas en los tratamientos de fertilización con S (con y sin N y P) y sin S.

En cambio, al evaluar el contenido de N en biomasa (kg/ha), se comprobaron diferencias signifi-

cativas entre los tratamientos que recibieron el mayor aporte de N y S (N2 S) y el resto de los tratamientos. Por su parte la concentración de N (%) en biomasa resultó significativamente mayor solo cuando se utilizó mayor dosis de P.

Girasol 2002/2003

En girasol se procedió de forma similar a maíz, evaluando los contenidos de agua y nitratos, producción de grano y eficiencia de uso del agua (ejemplo Tablas 8 y 9).

Al momento de la siembra no se registraron diferencias entre tratamientos (P1 y P2 N2 S) en los contenidos de nitratos y de agua útil en el suelo. En base a los datos de las Tablas 8 y 9, y considerando que el punto de marchitez permanente (0-140 cm prof.) es de 94 mm, se registraron contenidos de agua útil a la siembra de 43 y 50 mm. Dadas las escasas precipitaciones (328 mm) que no cubrieron los requerimientos de uso consuntivo de girasoles de alto rinde (550 mm) el contenido de agua útil a cosecha alcanzó prácticamente el punto de marchitez permanente en los primeros 140 cm del perfil. Sin embargo los rendimientos y respuesta a la fertilización nitrogenada permiten inferir que el cultivo utilizó agua de mayor profundidad. Los tratamientos con las mayores dosis de N y S (N2 S) se diferenciaron significativamente del tratamiento con menor aporte

Profundidad	Tratamiento P 1			
	Fecha			
	06/11/2002	16/01/2003	18/02/2003	04/03/2003
0-20	22,9	22,3	29,2	23,1
20-40	25,9	18	26,6	19,8
40-60	22,7	14,4	16,9	17,1
60-80	22,6	12,6	11,1	11,2
80-100	20,3	11,1	10,4	9,2
100-120	15,7	11,8	8,8	7,5
120-140	14,1	14,4	8,1	7,6
Total de mm	144	105	111	96
Uso consuntivo parcial		259	92	16
Uso consuntivo Total			366	
Eficiencia uso del agua (kg/ha mm)			6,5	

Tabla 8: Dinámica del agua (mm) y uso consuntivo (mm) en el tratamiento con menor aporte de nutrientes.

Profundidad	Tratamiento P 2 N 2 S			
	Fecha			
	06/11/2002	16/01/2003	18/02/2003	04/03/2003
0-20	22,6	32	31,8	30,0
20-40	22,9	26,1	28,1	26,7
40-60	22,9	17,9	26,3	22,9
60-80	21,7	14	27,1	15,9
80-100	16,7	12	25,1	11,4
100-120	14	14,2	17,1	9,8
120-140	16,2	15,9	10,5	9,9
Total de mm	137	132	166	127
Uso consuntivo parcial		224	65	39
Uso consuntivo Total			328	
Eficiencia uso del agua (kg/ha mm)			9,1	

Tabla 9: Dinámica del agua (mm) y uso consuntivo (mm) en el tratamiento con mayor aporte de nutrientes.

te de nutrientes (P1). Al igual que en maíz se comprobó un importante incremento en la eficiencia en el uso del agua por efecto de la fertilización. En la Tabla 10 se presenta una síntesis de los contenidos de agua, precipitaciones, usos consuntivos y eficiencias en el uso del agua para los distintos cultivos que integraron la rotación.

Trigo y verdeos

Los resultados muestran que durante el cultivo de trigo se registraron muy bajas precipitaciones (202 mm) que asociado a un muy bajo contenido de agua útil a la siembra (28 mm hasta 140 cm de profundidad) dieron lugar a bajos rendimientos de grano.

En los resultados de verdeo de invierno (ryegrass, cv Tama), correspondientes al periodo 2004, se informan en forma separa los dos cortes realizados. En biomasa del mismo se evaluó el efecto de la fertilización en los contenidos (kg/ha) y concentración (%) de N, P y S (Tabla 11).

La Tabla 11 muestra los contenidos de N, P y S

por tn de materia seca producida y el total de nutrientes contenidos en la biomasa correspondiente al primer corte de ryegrass.

La importancia de estos resultados desde el punto de vista del manejo de la nutrición es relativa en la medida que no es considerado el factor cultivar. Nuestros resultados preliminares muestran que tanto la cantidad como el momento en que son requeridos algunos nutrientes varían entre cultivares de verdeos de invierno. Por ejemplo, en la Figura 1 se muestra que el centeno Quehué acumuló MS a una tasa de 26 kg/ha día durante los primeros 80 días registrándose una disminución en el contenido de N-NO₃ del suelo de 66 kg/ha. Por su parte en avena Don Víctor y centeno Lisandro la tasa de acumulación de MS fue de 15 kg/ha día y la disminución del contenido de N-NO₃ de 40 kg/ha. Estas diferencias en los requerimientos de agua y nutrientes, entre cultivares, prácticamente no han sido abordados ni considerados en la región Semiárida y Subhúmeda Pampeana al momento de definir la estrategia de

CULTIVOS	AGUA (mm/140 cm)		LLUVIA (mm)	USO CONSUNTIVO (mm)		EFICIENCIA (kg/ha mm)	
				P1	P2N2S	P1	2N2S
MAIZ (2001/02)							
Noviembre	177	175					
Diciembre	104	104					
Febrero	126	121	555	489	487	15.4	20.4
Marzo	265	260					
GIRASOL (2002/03)							
Noviembre	144	137					
Enero	105	132	318	366	328	6.5	9.1
Febrero	111	166					
Marzo	96	127					
TRIGO (2003)							
Julio	121	129					
Agosto	129	127	202	269	273	4.1	7.8
Setiembre	103	85					
Noviembre	54	58					
Verdeo (2004)							
Enero	130	136					
Marzo	141	116	281	296	274	1.9	4.6
Mayo	157	160					
Julio	126	123					
Agosto	213	212	193	106	104	3.5	9.3
Cult cob/ soja (2005-06)							
Marzo	181	186	182	266	262	5.2	10.8
Julio	97	106					
Cult Cob (2006)							
Marzo	158	159					
Julio	75	74	155	238	240	8.6	11.4
Maiz (2006-07)							
Octub	112	97					
Abril	175	171	565	502	491	8.9	13.6

Tabla 10: Efecto de la fertilización sobre las eficiencias de uso del agua.

Tratamientos	Nutrientes utilizados (kg por Tn MS)			Nutrientes extraídos en el 1 ^{er} corte (kg/ha)		
	N	P	S	N	P	S
P1	23	3,1	1,6	12,9	1,7	0,9
P2	27,1	3,7	1,8	21,3	2,9	1,4
P1N2S	25,4	3,2	1,8	26,9	3,4	2
P2N2S	28,3	3,3	2,4	35,4	4,1	3
Promedio	26	3,3	1,9			

Tabla 11: Contenidos de N, P y S en ryegrass.

producción, No obstante, estas limitaciones, resultó muy importante la respuesta a la fertilización con S, con diferencias significativas tanto en la cantidad (kg/ha) como en la concentración (ppm) en biomasa. Respecto a P se registraron diferencias significativas entre tratamientos en la cantidad extraída pero no en la concentración (ppm). En N se comprobó que el mayor contenido en biomasa fue influenciado por el aporte de P y S, correspondiendo al tratamiento P2 N2 S.

Propiedades edáficas

A fin de evaluar los efectos acumulados de la aplicación de fertilizantes sobre algunas propiedades edáficas del Molisol arenoso franco que caracteriza este módulo, en marzo de 2006 se realiza-

ron muestreos (0-10 y 10-20cm) para determinar MO total, P (Bray y Kurtz) y pH (actual, 1:2,5).

La Tabla 12 muestra los niveles alcanzados por las variables edáficas que acumulan los efectos de la siguiente secuencia de cultivos: soja-maíz-girasol-trigo-verdeo de invierno-cult, Cobertura/soja-cult, Cobertura en la actualidad y sale a maíz en octubre de 2006.

Los contenidos de MO de los primeros 10 cm muestran tendencia a incrementar en el tratamiento con mayor aporte de nutrientes, pero las diferencias no son significativas al 5%. Se infiere que asociado con mayores rendimientos de grano y forraje resultó también mayor el aporte de residuos en los tratamientos con mayor fertilización. Este aspecto fue comprobado y medido en algu-

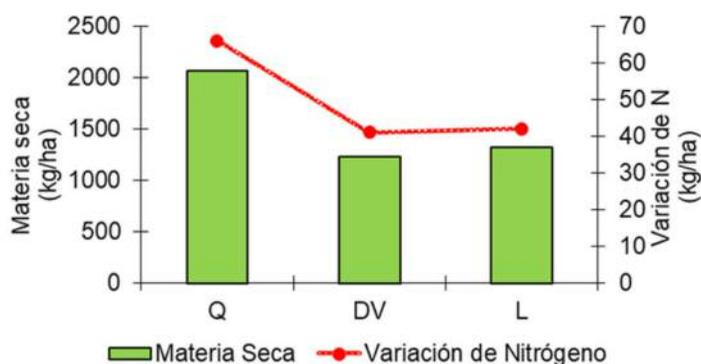


Figura 1: Materia seca del primer corte y variación en el contenido de $N-NO_3$ del suelo, Centenos Quehue (Q), Lisandro (L) y avena Don Víctor (V), (Adaptado de Fernández et al., 2004).

		T	P	NS	NPS
MO (%)	0 - 10 cm	1,58	1,66	1,59	1,94
	10 - 20 cm	1,13	1,07	1,06	1,07
P (ppm)	0 - 10 cm	39,4	50,3	37,1	46,7
	10 - 20 cm	35a	33,5a	23,9b	34,6a
pH	0 - 10 cm	5,54a	5,52a	5,05b	5,1b
	10 - 20 cm	5,42a	5,57a	5,22b	5,1b

* letras distintas indican diferencias entre tratamiento de fertilización al 5%

Tabla 12, Propiedades edáficas a dos profundidades y bajo 4 tratamientos de fertilización en un Molisol de la planicie medanosa.

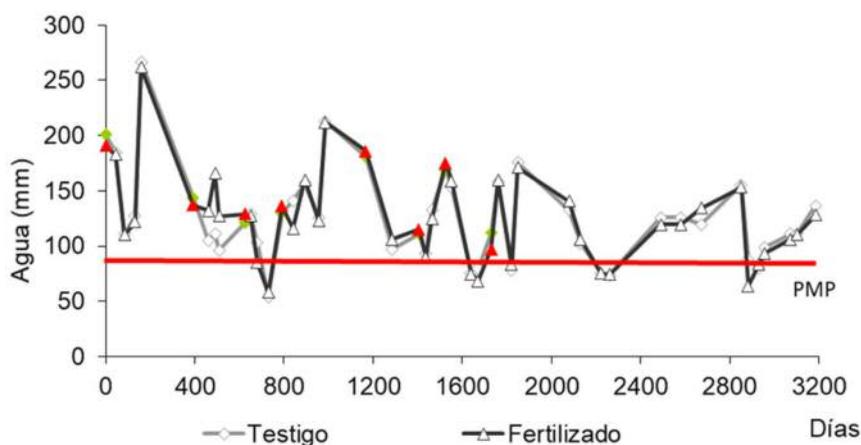


Figura 2: Contenido de agua total y disponible en el suelo (mm/140 cm) en distintos momentos de la secuencia de cultivos y en los tratamientos testigo y de máxima fertilización (reposición de N,P,S). PMP: punto de marchitez permanente.

no de los cultivos establecidos en este módulo (Ej. ver Tabla 7). Esta influencia no se comprobó a mayor profundidad (10-20cm). Resultados similares se presentaron en el capítulo 4 (experiencia en Mari Lauquen). donde asociado a un mayor aporte de nutrientes se comprobó diferencia en los contenidos de materia orgánica.

En cuanto a los contenidos de P se comprueba que los mismos son elevados en todos los tratamientos. No obstante. el tratamiento que recibió mayor aporte de NS y bajos aportes de P presentó significativamente menor contenido. Es decir que la respuesta acumulada de los cultivos al agregado de un nutriente también incrementa la extracción de otro nutriente no agregado, dismi-

nuyendo en mayor grado su contenido en el suelo. Por otra parte, el mayor contenido de P correspondió al tratamiento que recibió los mayores aportes de P y no fue fertilizado con N ni S.

Los valores de pH mostraron en muestreos anteriores cierta tendencia (no significativa) a disminuir con el mayor aporte de nutrientes. Estas tendencias se mantienen y acentúan durante el último muestreo, donde las diferencias entre tratamientos resultó significativa.

La Figura 2 muestra la evolución del agua total y disponible a la siembra y durante el desarrollo de los distintos cultivos que conformaron la secuencia del módulo. Como se mencionó anteriormente el suelo posee limitada capacidad para

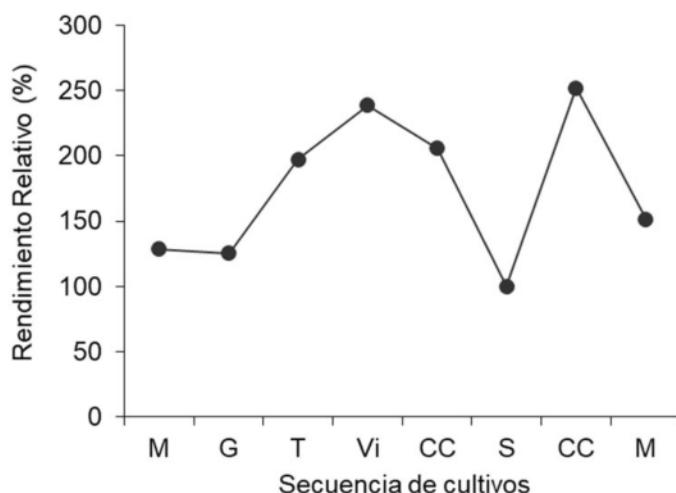


Figura 3: Rendimiento relativo del tratamiento fertilizado respecto del testigo (nivel referencia 100) para distintos cultivos durante el periodo 2001-2007, maíz (M), girasol (G); trigo (T); Verdeo de invierno (Vi); cultivo de cobertura (CC), soja (S).

almacenar agua útil (112 mm/140cm de profundidad) condicionada por los altos contenidos de arena (superiores al 75%) y bajos de arcilla (6%) y materia orgánica (1,2-1,5%), Por influencia de la napa (120/140cm) en marzo de 2002 la disponibilidad de agua superó los 150mm.

Se comprueba que prácticamente en todos los cultivos de cosecha se alcanzan valores de humedad en el suelo inferiores al 25% de agua útil, Con valores extremos durante los cultivos de trigo (noviembre) y soja (diciembre) que alcanzan el PMP, condicionando severamente el rendimiento de los mismos (trigo 1900 y soja 350 kg/ha). Estos resultados confirman estudios previos realizados en la región tendientes a determinar ambientes edáficos para el cultivo de soja en suelos arenosos influenciados por la presencia de napa, Los rendi-

mientos variaron en un amplio rango entre ambientes con (3015 kg/ha) y sin (215 kg/ha) influencia de napa freática (Garnero y Quiroga, 2003).

A pesar de esta fuerte restricción de la textura y ausencia de napa freática se comprobó una importante respuesta en la eficiencia de uso del agua cuando se realizó fertilización (Tabla 10). A continuación se realiza una síntesis de estas respuestas al aporte de nutrientes en todos los cultivos establecidos.

Respuesta a la fertilización

En la Figura 3 se presentan los rendimientos relativos (NPS respecto del testigo) de los distintos cultivos.

Cuando la disponibilidad de agua fue menos limitante (ej, durante el maíz y verdeo) se comprobó respuesta de los cultivos a fertilizaciones balanceadas entre N,P y S, Es decir que el aporte de un nutriente condicionó la respuesta de los otros nutrientes (Tabla 13).

Los resultados muestran que la respuesta a P (a pesar de los altos contenidos del suelo) resultó dependiente de NS. De la misma manera la respuesta de NS resultó dependiente de la aplicación de P. Este es un tema que merece especial consideración y requerirá de estudios más específicos, principalmente la respuesta a la fertilización con P. Puede inferirse que por un lado el pH es bajo y esto puede tener alguna influencia, por otro lado el estrato superficial del suelo posee muy baja capacidad de almacenaje de agua útil (12mm) con lo cual permanece la mayor parte del ciclo de los cultivos con humedades cercanas a PMP, limitando la

Tabla 13: Rendimiento de maíz para distintos tratamientos de fertilización, Para: dosis bajas de P como arrancador; Pr: dosis de reposición; NS: dosis reposición.

Tratamiento	Pa	Pr	Respuesta
Sin NS	7554	7953	399
Con NS	8256	9981	1725
Respuesta	702	2028	

Tabla 14: Rendimientos acumulados de 7 cultivos (2001/2006), Respuesta a la fertilización con N, P y S, Pa: dosis bajas de P como arrancador; Pr: dosis de reposición; NS: dosis reposición.

Tratamiento	Pa	Pr	Respuesta
Sin NS	14530	16160	1630
Con NS	18774	22133	3359
Respuesta	4244	5973	

extracción de los nutrientes menos móviles.

Finalmente en la Tabla 14 se muestra el rendimiento acumulado y relativo de los 7 cultivos establecidos en el modulo que marcan una tendencia respecto de los beneficios de la fertilización balanceada.

Inclusión de Cultivos de cobertura

El cultivo de cobertura utilizado fue centeno Quehué, la siembra se realizó el 3 de marzo de 2006, y se establecieron tres momentos de secado (con glifosato en julio, agosto y septiembre), además se mantuvo un tratamiento sin CC (Foto 2).

La producción de MS fue mayor a medida que la fecha de secado se prolongó hasta septiembre (Foto 3, 4 y 5) además en cada fecha de secado se encontró en el tratamiento fertilizado respuesta positiva en la producción respecto del testigo (Figura 4). Es importante destacar que la respuesta a la fertilización anticipó la producción de biomasa aérea 30 días, de esta manera el fertilizado secado en agosto produjo similar materia seca que el no fertilizado secado en setiembre. Estas diferencias pueden ser estratégicas cuando consideramos "los tiempos de recarga de agua" del perfil del suelo.

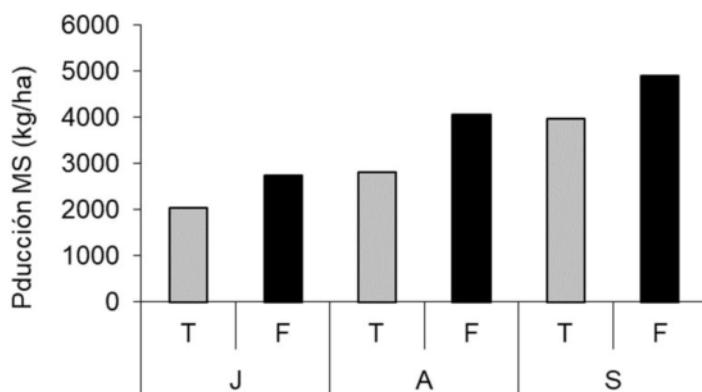


Figura 4: Producción de materia seca (MS) del cultivo de cobertura a julio (J), agosto (A) y septiembre (S) con (F) y sin (T) aportes de nutrientes.



Foto 2: Maíz sobre antecesor soja sin inclusión de cultivo de cobertura.



Foto 3: Maíz sobre antecesor soja con inclusión de centeno como cultivo de cobertura secado fines de julio.



Foto 4: Maíz sobre antecesor soja con inclusión de centeno como cultivo de cobertura secado fines de agosto.



Foto 5: Maíz sobre antecesor soja con inclusión de centeno como cultivo de cobertura secado fines de setiembre.

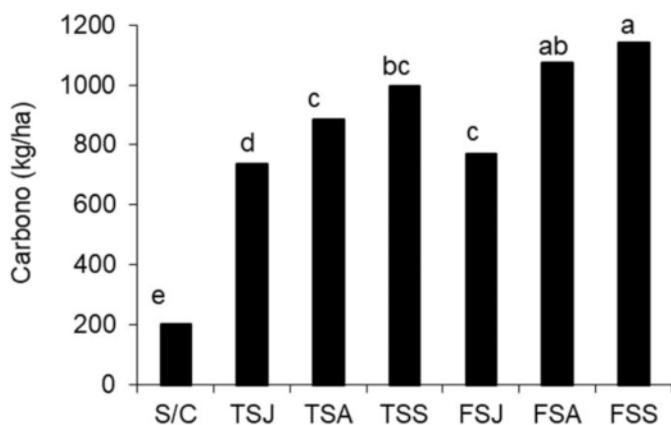


Figura 5: Contenidos de C en residuos remanentes del cultivo de cobertura al momento de la cosecha de maíz, S/C (sin cultivo cobertura), TSJ (testigo secado en julio), TSA (testigo secado en agosto) TSS (testigo secado en septiembre), FSJ (fertilizado secado en julio), FSA (fertilizado secado en agosto) FSS (fertilizado secado en septiembre).

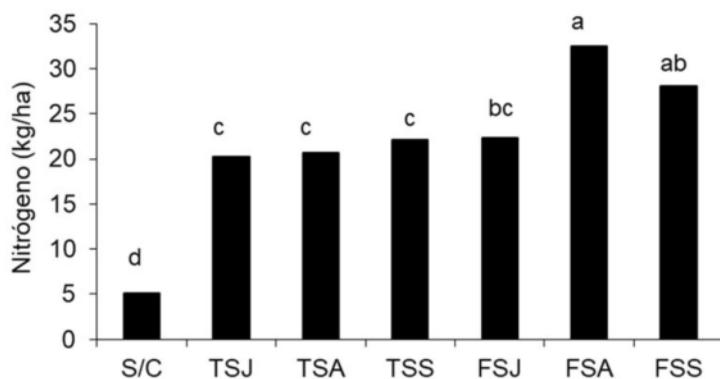


Figura 6: Contenidos de N en residuos remanentes del cultivo de cobertura al momento de la cosecha de maíz, S/C (sin cultivo cobertura), TSJ (testigo secado en julio), TSA (testigo secado en agosto) TSS (testigo secado en septiembre), FSJ (fertilizado secado en julio), FSA (fertilizado secado en agosto) FSS (fertilizado secado en septiembre).

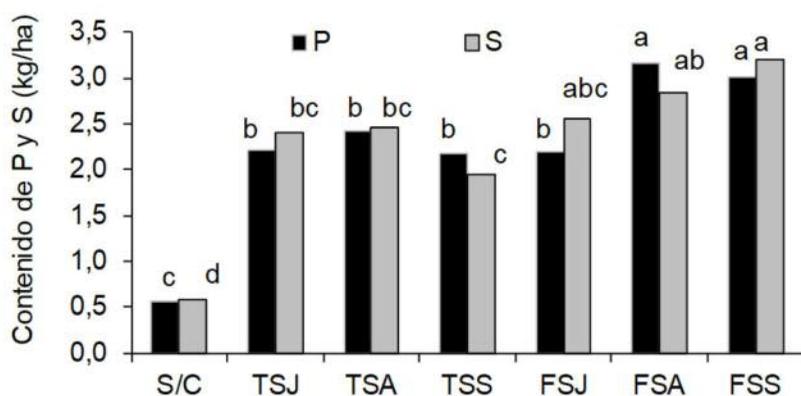


Figura 7: Contenidos de P y S en residuos remanentes del cultivo de cobertura al momento de la cosecha de maíz, S/C (sin cultivo cobertura), TSJ (testigo secado en julio), TSA (testigo secado en agosto) TSS (testigo secado en septiembre), FSJ (fertilizado secado en julio), FSA (fertilizado secado en agosto) FSS (fertilizado secado en septiembre).

En las Figuras 5, 6 y 7 se muestran los contenidos de C, N, S y P en los residuos remanentes del cultivo de cobertura al momento de la cosecha del maíz. Esta línea de trabajo ha sido priorizada en los distintos módulos de larga duración dada la significativa influencia de las fracciones lábiles de materia orgánica sobre el rendimiento de los cultivos. Estos resultados son muy importantes, desde varios puntos de vista. La mayor cobertura de residuos ha posibilitado disminuir la incidencia de malezas al momento de la cosecha del maíz; la

mayor permanencia de nutrientes en biomasa remanente de los cultivos de cobertura es una forma de "capturar" los mismos reduciendo pérdidas por lixiviación, lo cual se magnifica en suelos tan arenosos. Los secados más tarde, posiblemente asociado a una mayor relación C/N, mantienen una mayor cobertura de residuos.

Finalmente, en la Figura 8 se muestran los rendimientos de maíz establecido sobre el cultivo de cobertura en sus distintos momentos de secado y fertilización y sobre el rastreo de soja (antecesor

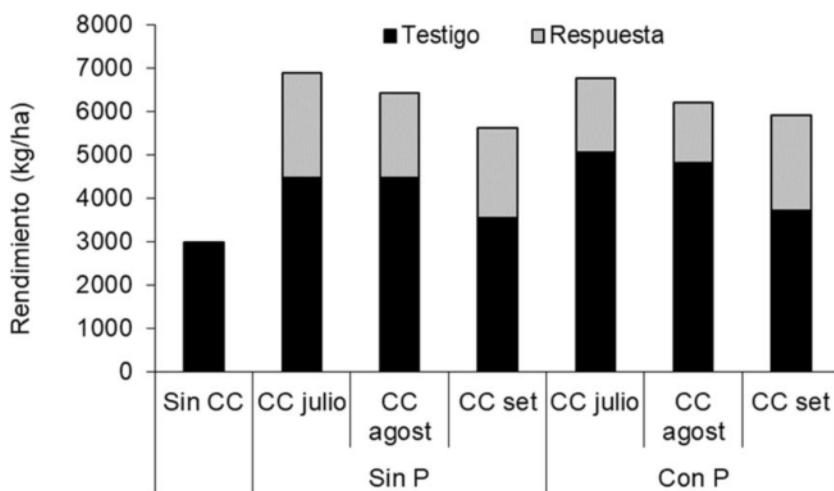


Figura 8: Rendimientos de grano de maíz para los tratamientos testigo (sin CC), con CC secado en tres momentos con y sin aporte de P y con y sin aporte de N (respuesta).

sin cultivo de cobertura).

Es importante destacar además que la biomasa de malezas resultó superior en el tratamiento sin CC, mientras que con CC solo resultó necesario la aplicación del herbicida al momento del secado del mismo. Estas diferencias en rendimiento de maíz y dinámica de malezas asociada al uso de una mayor cobertura del suelo abre toda una línea de trabajo que podemos considerar nueva para la Región Semiárida-Subhúmeda Pampeana, Sin dudas que será necesario integrar los efectos de la inclusión de cultivos de cobertura al momento de analizar "el costo/beneficio" de los mismos.

Consideraciones finales

El aporte de nutrientes como N, P y S (periodo 2001-2007) provocó incrementos significativos en

el rendimiento y eficiencia de uso del agua de maíz, girasol, trigo y verdeo de invierno.

Además, y principalmente en el espesor de 0-10cm del perfil se registraron tendencias a incrementos en los contenidos de materia orgánica, P y disminución del pH. Es importante tener presente que el alto contenido de arenas constituye una limitante genética muy importante para el secuestro de carbono orgánico en este tipo de suelos.

Finalmente, de la experiencia con CC y los tres momentos de secado se comprobó mayor biomasa en el secado tardío, pero menor rendimiento de grano del cultivo de maíz en siembra temprana (octubre).

CAPÍTULO 6

Incidencia de 20 años de agricultura continua en siembra directa sobre propiedades edáficas: seguimiento de lotes

Quiroga Alberto^{1, 2}, Sabatini Luis³, Bono Alfredo¹, Kloster Nanci¹, Fernández Romina¹

1 INTA, 2 FA-UNLPam, 3 CREA

Experiencia que se lleva a cabo en Mari Lauquen-30 de Agosto

Durante la década de los '90, al planificarse cambios importantes en los sistemas de producción (labranzas, rotación), se planteó la necesidad de evaluar los efectos acumulados de esos cambios en el tiempo. Se establecieron 3 estrategias: a) evaluar situaciones que ya habían iniciado estos cambios, muestreando lotes de productores de distintas texturas y bajo distintas prácticas de uso; b) establecer módulos experimentales de larga duración donde se contrasten distintos tratamientos que permitan ir monitoreando (estudiando, evaluando) sus efectos en el tiempo; c) seguimiento de lotes de productores caracterizando la secuencia de cultivos y los efectos que van teniendo lugar sobre distintas propiedades de los suelos. En el presente capítulo se analiza esta tercera estrategia, a partir de la evaluación de cambios en propiedades edáficas luego de 20 años de efectos acumulados (1998-2018) en 8 lotes del CREA Mari Lauquen-30 de Agosto.

Contenido del capítulo

- Objetivos
- Resultados
 - propiedades edáficas, contenidos de materia orgánica, contenidos de fósforo (P), secuencia de cultivos, saturación de bases del complejo de intercambio
- Consideraciones finales

Objetivos

El CREA Oeste se localiza en la región subhúmeda y en la transición semiárida-subhúmeda pampeana, compartiendo parte del territorio con la Zona Oeste Arenoso. En 1996 los sistemas de producción eran mixtos, basados en una rotación de cultivos anuales (forrajeros y de cosecha) y en pasturas de alfalfa pura y con gramíneas perennes, con una buena planificación de barbechos a fin de realizar las siembras con perfiles de agua "completos".

Los sistemas de labranza (discos y vertical), la secuencia de cultivos y el uso de rastrojos por la

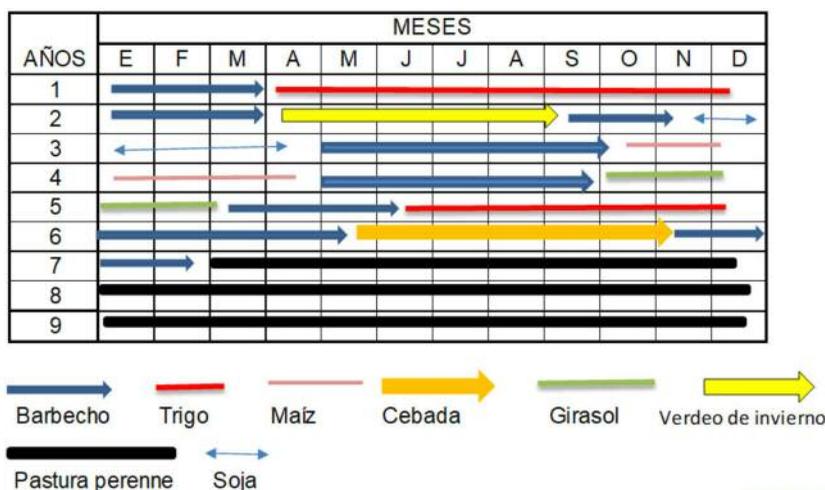


Figura 1: Región semiárida-subhúmeda pampeana: sistemas mixtos de cultivos anuales y pasturas perennes.

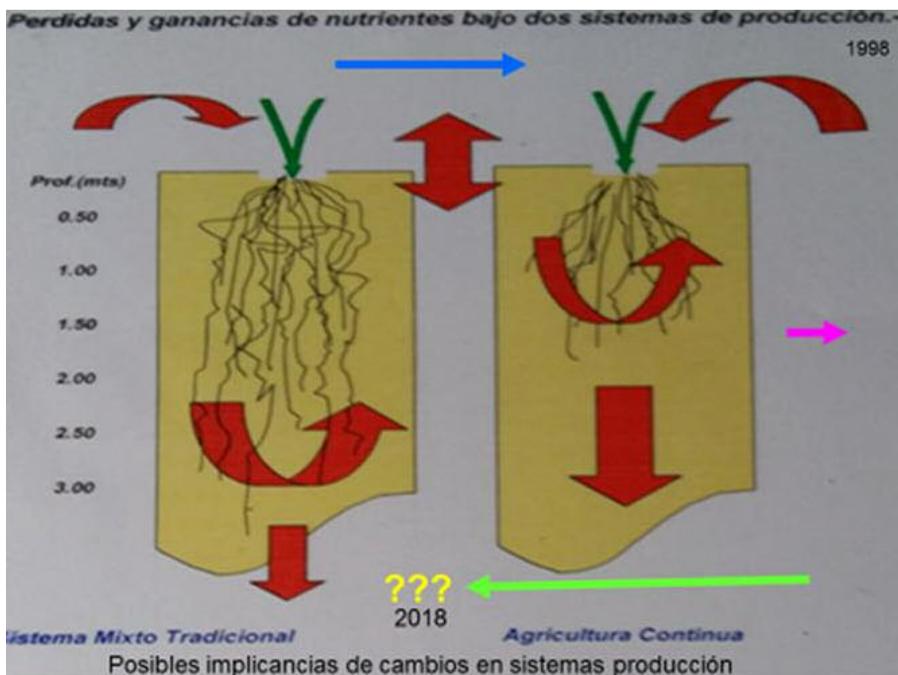


Figura 2: Posibles implicancias de cambios en los sistemas de producción, de sistema mixto tradicional (4 años pasturas x 4 años cultivos anuales, con labranzas) a agricultura continua en siembra directa. Nota: copia de la filmi-na original expuesta en reunión realizada en Trenque Lauquen en 1998.

ganadería daban frecuentemente lugar a muy bajos niveles de cobertura, propiciando la erosión eólica y el planchado de los suelos. Ante la magnitud de estos procesos, a partir de 1998 comienza a incorporarse en forma significativa la siembra directa (SD) de cultivos con la premisa de mitigar esos efectos y mejorar la eficiencia de uso del agua. Complementariamente se decide regular el uso de los rastrojos por la ganadería a fin de mantener niveles de cobertura superiores al 50% y realizar ajustes oportunos de la fertilidad nitrógeno-fosforada, considerando que bajo SD la mineralización es menor.

Sobre este planteo inicial y por efecto acumulado en el tiempo se infería que podrían estabilizarse o aumentar los contenidos de materia orgánica en el estrato superficial. Esto podría darse por un balance positivo de carbono o, lo más probable, por una redistribución de nutrientes y residuos hacia la superficie al no realizar más labranzas.

Al decidir estos cambios muy importantes para los sistemas de producción se consideró conveniente monitorear los efectos y las tendencias en algunas propiedades edáficas a lo largo del tiempo. Dar alguna respuesta a ¿"estaremos haciendo las cosas bien"?, ¿"a dónde nos llevan estos cambios?".

El primer problema que se planteó fue dónde hacerlo, dado que el CREA Oeste posee suelos texturalmente muy contrastantes que incidirían

sobre estos cambios y además limitarían la extrapolación de resultados, como lo mostraban estudios previos realizados a inicios de los 90 por el CREA Oeste Arenoso (capítulo 1). Por ello se decide realizar los seguimientos sobre dos tipos de suelo: 1) los de 30 de Agosto con mayor contenido de arcilla y limo, mayor contenido de materia orgánica (MO) y capacidad de intercambio catiónico y prácticamente doble capacidad de retención de agua útil, con pH neutro a ligeramente ácido y contenidos medios a bajos de fósforo (P); 2) en los suelos de Mari Lauquen, donde predomina la fracción arena y consecuentemente baja capacidad de retención de agua, bajos contenidos de MO y de capacidad de intercambio catiónico que da como resultado un pobre desarrollo de estructura y alta susceptibilidad a la erosión eólica, con contenidos de P medios a altos. Ante estas diferencias se plantearon varios interrogantes/objetivos de cuál sería el efecto de la SD continua y los cambios en las secuencias de cultivos sobre propiedades edáficas de ambos tipos de suelo.

En base a lo expuesto se seleccionaron 8 lotes para realizar los seguimientos en el tiempo: 4 lotes de 30 de Agosto (El Correntino) y 4 de Mari Lauquen (Nueva Castilla). Existe acuerdo en que las tendencias que se vayan observando resultarán fundamentales para validar, ajustar o rectificar alguna de las decisiones tomadas. Diversos



Foto 1: Estructura de suelo que tiende a ser de tipo "granular" en el horizonte A de un Hapludol franco arenoso, bajo pastura perenne de gramínea.



Foto 2: Ensayo de fertilización nitrogenada en verdeo de invierno. Se analizaron producción de materia seca y contenidos de N, P y S en biomasa. Establecimiento San Hermenegildo. Foto: Carlos Arbizu.

interrogantes fueron planteados en 1998 (Figura 2), entre los cuales se propuso, además del cambio en el sistema de labranza, incorporar lotes (en general los de mayor productividad) a la agricultura continua.

Las pasturas exploran aproximadamente el doble de perfil de suelo que la agricultura. Parte de los nutrientes que "se escapan a los cultivos anuales" pueden "ser rescatados" por las mismas. El agua que se pierde por infiltración profunda será mayor, principalmente para los suelos de Mari Lauquen. El menor tiempo de ocupación de los lotes en una secuencia continua de cultivos anuales y con un periodo de barbecho muy largo, deja entrever una baja en la eficiencia de uso de agua de las precipitaciones y una mayor recarga

de las napas. Se desconoce cuál puede ser la pérdida de nutrientes por lixiviación. Las raíces más profundas de las pasturas pueden acceder a estratos de suelo con mayor contenido de cationes y contribuir a un mejor balance de los mismos en los estratos superiores. La ausencia de las mismas abre interrogante sobre la evolución de la saturación con bases del complejo de intercambio y posibles cambios en el pH. En SD continua puede tener lugar una fuerte redistribución/estratificación de nutrientes en estrato superficial que puede plantear la necesidad de cambiar la estrategia de fertilización, principalmente de los nutrientes menos móviles. Al no realizar laboreos surgen dudas de cómo puede evolucionar la densidad aparente y de distintos parámetros relacionados con la densificación de los suelos. Estos fueron algunos de los interrogantes planteados inicialmente.

Resultados

Propiedades edáficas

En las Tablas 1 y 2 se muestran resultados de algunas de las determinaciones realizadas en 1998 y 2018 sobre la misma transecta. Estos datos corresponden a uno de los 8 lotes evaluados y se presentan a modo de ejemplo de cómo se realizaron los muestreos. Si bien las diferencias no son significativas, luego de 10 años de muestreo se observa que los valores de MO y pH son algo menores. Los contenidos de P siguen siendo bajos y la densidad aparente se mantiene en los valores

Tabla 1: Valores promedios de propiedades edáficas correspondientes al lote 27 (El Correntino).

Prof	A+L (%)	MOT (%)		IMO		P (ppm)		pH		DA (g/cm ³)	
	1998	1998	2018	1998	2018	1998	2018	1998	2018	1998	2018
0-6	39	4,0	3,3	10,1	8,5	12,5	15,7	6,35	6,04	1,37	1,35
6-12	39	2,7	2,5	7	6,4	5	7,7	6,37	6,02	1,33	1,34
12-18	39	2,0	2,1	5,2	5,4	4,2	7,2	6,39	6,01	1,29	1,31
0-18	39	2,9	2,7	7,4	6,8	7,23	10,2	6,37	6,02	1,33	1,33

A+L: arcilla +limo, MOT: materia orgánica total, IMO: índice de materia orgánica, P: fósforo, DA densidad aparente.

Tabla 2: Distribución del tamaño de agregados, índice de inestabilidad estructural (IEE), densidad aparente máxima (DAM), humedad crítica (HC) y susceptibilidad a la compactación (SC), correspondientes al lote 27 (El Correntino).

Diam. mm	Agregados (%)			Test Proctor	
	1998	2018		1998	2018
2-3	6,9	4,4	IEE	0,50	0,46
3-4	7,2	6,8	DAM (g/cm ³)	1,47	1,54
4-8	10,7	12	HC (%)	21,1	18,7
>8	36,9	54,1	SC	1,3	1,7

Tabla 3: Valores medios y rango de variación de propiedades edáficas evaluadas a través de una transecta con 8 puntos de muestreo por lote, en el estrato de 0-6cm.

LOTE	MO (%)	P (ppm)	pH	DA (g/cm ³)
30	3,2 (3,7 - 2,5)	16 (26,6 - 9,9)	6,29 (6,66 - 5,80)	1,38 (1,42 - 1,33)
31	3,4 (3,9 - 3,0)	24 (41,3 - 14,5)	5,86 (6,23 - 5,24)	1,29 (1,40 - 1,17)
27	3,0 (3,3 - 2,5)	12 (19,3 - 8,7)	6,35 (6,03 - 6,57)	1,37 (1,45 - 1,32)
35	4,0 (4,3 - 3,5)	14 (23,4 - 7,6)	6,11 (6,36 - 5,82)	1,27 (1,34 - 1,20)
14B NC	2,4 (2,8 - 2,1)	33 (46,5 - 24,2)	5,95 (6,23 - 5,85)	1,34 (1,43 - 1,25)
8D AS	2,6 (3,3 - 2,3)	29 (33 - 24,1)	6,33 (6,40 - 6,23)	1,23 (1,33 - 1,18)
8A AC	2,4 (3,0 - 1,6)	32 (38,3 - 20,8)	5,89 (6,04 - 5,53)	1,33 (1,41 - 1,22)
8C NC	1,7 (2,3 - 1,4)	22 (41,6 - 16,6)	6,37 (6,65 - 6,13)	1,37 (1,44 - 1,30)

iniciales (0-18cm), con leve incremento en 12-18cm.

En la Tabla 2 se muestran indicadores más vinculados a la estructura del suelo. La tendencia es a disminuir los agregados de menor diámetro y aumentar los más grandes. Estudios previos muestran que la actividad biológica es mayor en los agregados de 2 a 4 mm y menor en los mayores a 8 mm. Cuando el suelo fue sometido a la misma presión en un ensayo de compactación realizado para ambas fechas de muestreo (1998 y 2018) se pudo comprobar que en 2018 fue más susceptible a dicha compactación, la densidad aparente máxima que alcanza es mayor y la humedad crítica disminuye. Por supuesto que si esa presión no se genera (no se pastorea, se controla el tránsito) el

suelo no se compactará a los valores indicados.

En la Tabla 3 se observa el rango de variación de las 8 determinaciones realizadas a través de la transecta de muestreo establecida en cada lote. Además, en cada uno de los 8 puntos se realizó muestreo compuesto, con la finalidad de obtener un valor medio representativo. Sin embargo, cuando se toman decisiones de manejo sobre el valor medio se debe tener presente que la mitad de los sitios muestreados tendrán valores más bajos. Por ejemplo, el lote 30 tiene en promedio 16 ppm de P y podríamos decidir no fertilizar el maíz asumiendo que para ese valor no habrá respuesta. Pero no será así, dado que ese valor se compone de sitios con menos de 12 ppm (valor umbral de P para maíz).

Contenidos de materia orgánica

Los mismos fueron evaluados en 1998 y 2018 en estratos de 0-6, 6-12 y 12-18 cm. El muestreo en cada lote se realizó definiendo una transecta de 140 m con puntos equidistantes de 20 m. Es decir que los valores promedios que se presentan son el resultado de 8 puntos de muestreo (tal como se describió anteriormente). La Figura 3 muestra una estrecha relación entre MO y contenidos de arcilla + limo en todos los estratos de suelo considerados. Luego de 20 años no se han registrado cambios importantes, se observaron algunas diferencias mínimas en algunos lotes. Ello nos permitiría decir que bajo el sistema de producción actual se han mantenido los valores iniciales de MO. Si bien no se realizan pasturas (importante aporte de carbono), es necesario tener en cuenta que se han minimizado las pérdidas por erosión que tenían lugar durante la secuencia de cultivos anuales que se realizaban con labranzas; además, de no utilizar los residuos de cosecha por la ganadería y de realizar un mayor aporte de nutrientes por fertilización. Es decir que, si bien los aportes pueden ser en promedio menores, las pérdidas también resultan menores y con ello estaríamos en un balance similar que no ha modi-

ficado en 20 años los contenidos de MO de los estratos superiores. Como se expresó, considerando cada lote en particular pueden registrarse algunas diferencias.

En la Figura 4 se puede observar una mayor tendencia a la estratificación de los contenidos de MO en los suelos de textura más fina, es decir en lotes de 30 de Agosto. Esto es así a partir de los mayores contenidos de MO, en el estrato superior respecto a los estratos inferiores.

Resulta evidente, ante variaciones en la composición granulométrica de los suelos, que la MO como "indicador individual" de calidad posee grandes limitaciones. Así, determinado valor de MO (ej. 1,6%) puede ser muy bueno para suelos con 20% de arcilla + limo y ser muy bajo para suelos con 40% de arcilla + limo. Ante estas situaciones se ha convenido en utilizar el índice de MO denominado IMO. El mismo presenta la MO por unidad de arcilla + limo. Así, para el ejemplo anterior el IMO en un suelo con 1,6% de MO y 20% de arcilla + limo es de 8, mientras que el mismo valor de MO en suelo con 40% de arcilla + limo da un IMO de 4. En general los valores de IMO varían entre 3 (suelos bastante degradados) y 8 (suelos en general de buena fertilidad). En la Figura 5 se

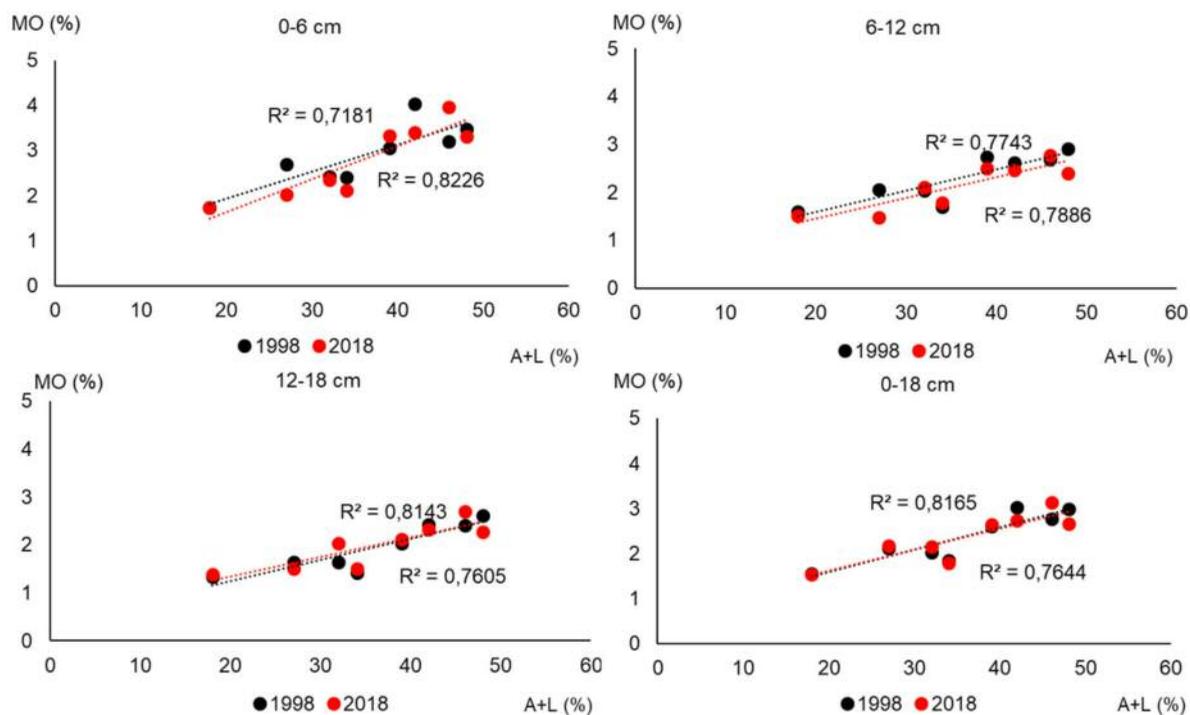


Figura 3: Contenidos de materia orgánica en función de arcilla + limo para diferentes estratos superficiales de 8 lotes de producción bajo agricultura continua en siembra directa.

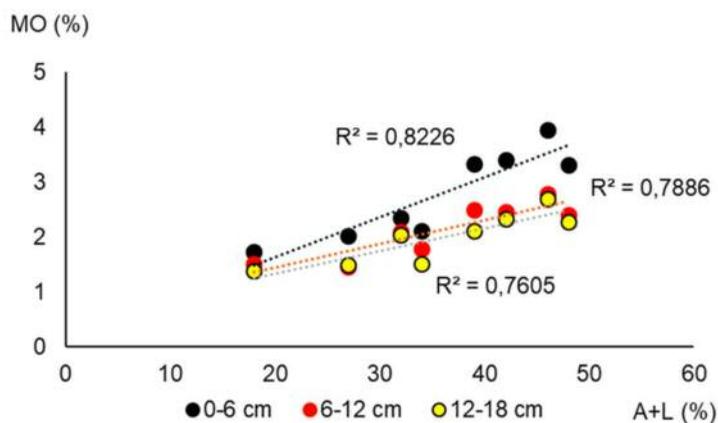


Figura 4: Contenidos de MO para tres estratos de suelo en función de arcilla + limo en muestreos realizados en 2018.

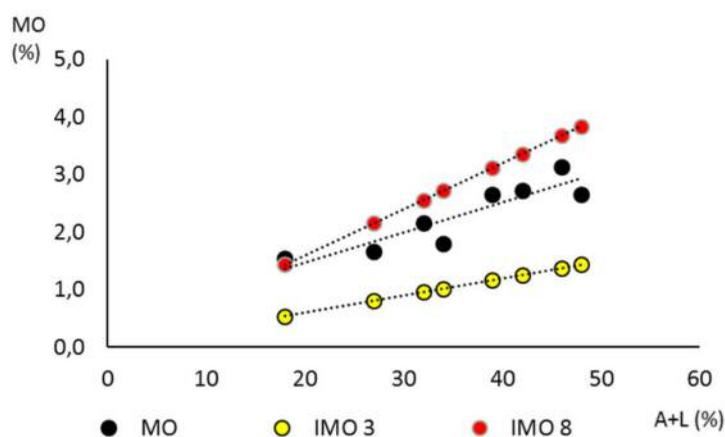


Figura 5: Contenidos de MO en función de arcilla + limo para IMO de 3 (amarillo), 8 (rojo) y el correspondiente a cada uno de los lotes (negro).

han representado para las distintas granulometrías los contenidos de MO correspondientes a los IMO de 3 (piso) y de 8 (techo); y también los IMO de cada uno de los lotes. En función de este índice podemos decir que, en general, los contenidos de MO de los lotes evaluados son medios a buenos.

Contenidos de P

Los contenidos de P, cuando se iniciaron los muestreos en 1998, diferenciaban las dos zonas de estudio (Figura 6). Mari Lauquen con valores promedios de 20 ppm, y 30 de Agosto con contenidos inferiores a las 10 ppm en los primeros 18 cm del perfil. Esta diferencia resultaba fundamental respecto al comportamiento (persistencia y producción) de pasturas perennes con base alfalfa. Algunos establecimientos de 30 de Agosto debían realizar importantes aplicaciones de P para mantener la composición botánica de las pasturas. De no hacerlo, las mismas terminaban en gramíneas puras. Luego de 20 años sorprende la importante caída de los niveles de P en Mari Lauquen a menos de 10 ppm, mientras que en 30

de Agosto se mantienen niveles bajos. En estos suelos seguramente el aporte de fertilizantes fosforados ha ido incrementando de la mano de la agricultura (en relación al planteo mixto) y se observan leves aumentos, aunque lejos de recuperar niveles adecuados del nutriente. En la actualidad "se han emparejado" en bajos niveles los contenidos de P de ambos tipos de suelo.

La Figura 7 muestra los contenidos de P para los primeros 6 cm del perfil. Los suelos de Mari Lauquen alcanzaban valores de 30 ppm e incluso existía cierta estratificación entre los estratos muestreados.

Luego de 20 años se comprueba que todos los suelos de Mari Lauquen han disminuido significativamente los contenidos de P. Se recordará en la década del 90 el comportamiento contrastante de las pasturas de alfalfa entre ambas zonas productivas. En 30 de Agosto para sostener la producción de la leguminosa, llegaban a aplicarse unos 200 kg/ha de superfosfato (40 kgP/ha). En la Figura 8a se observan los resultados de un ensayo de fertilización con distintas dosis de N y P sobre

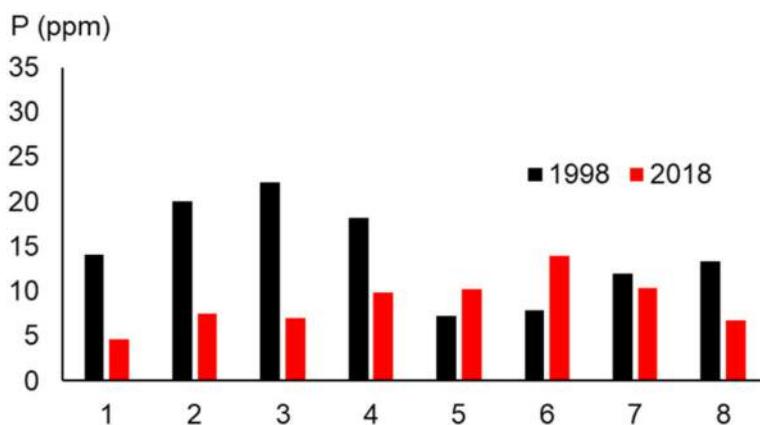


Figura 6: Contenidos de P (0-18cm) en suelos de Mari Lauquen (1 a 4) y de 30 de Agosto (5 a 8).

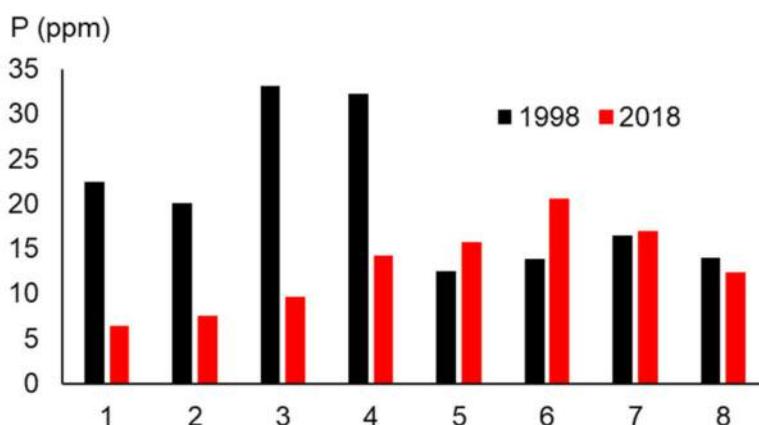


Figura 7: Contenidos de P (0-6cm) en suelos de Mari Lauquen (1 a 4) y de 30 de Agosto (5 a 8).

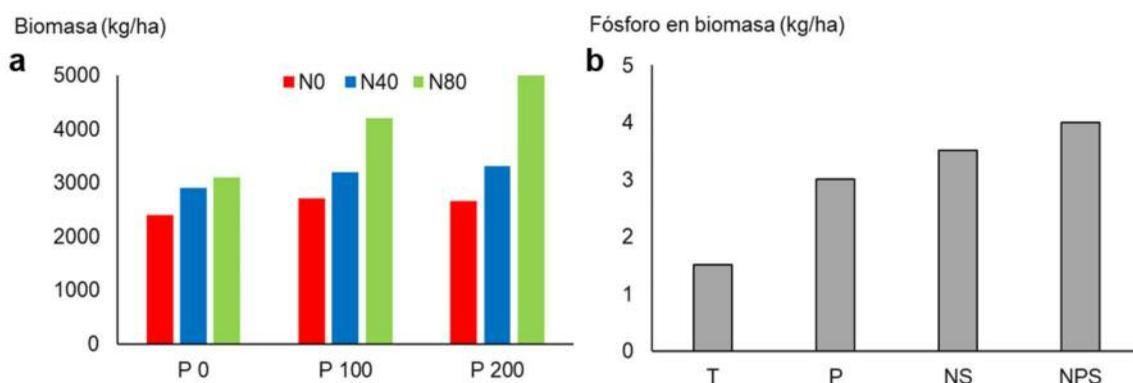


Figura 8: a) Respuesta en materia seca de raigrás a la fertilización con N y P en El Correntino (30 de Agosto); b) contenidos de P en biomasa de centeno para los tratamientos testigo y fertilizados con P, con N-S y con N-P-S en San Hermenegildo-El Carmen (Mari Lauquen).

la producción de materia seca de raigrás utilizado como verdeo de invierno en El Correntino. Se observa que, cuando no se aplica N (columna colorada) no hay respuesta a dosis creciente de P y también que, cuando no se aplica P (P0) prácticamente no hay respuesta a N. Sin embargo, cuando se aplican ambos nutrientes llega a duplicarse la producción respecto del testigo. Interacción que resultaba muy importante para

30 de Agosto y que no se manifestaba en suelos de Mari Lauquen. Sería importante evaluar, para las nuevas condiciones de Mari Lauquen, el grado de interacción entre N y P.

La Figura 8b muestra los resultados de un ensayo en verdeos de invierno realizado en San Hermenegildo-El Carmen (Mari Lauquen), donde se han representado los contenidos de P en biomasa para los tratamientos sin fertilizar, y los fer-

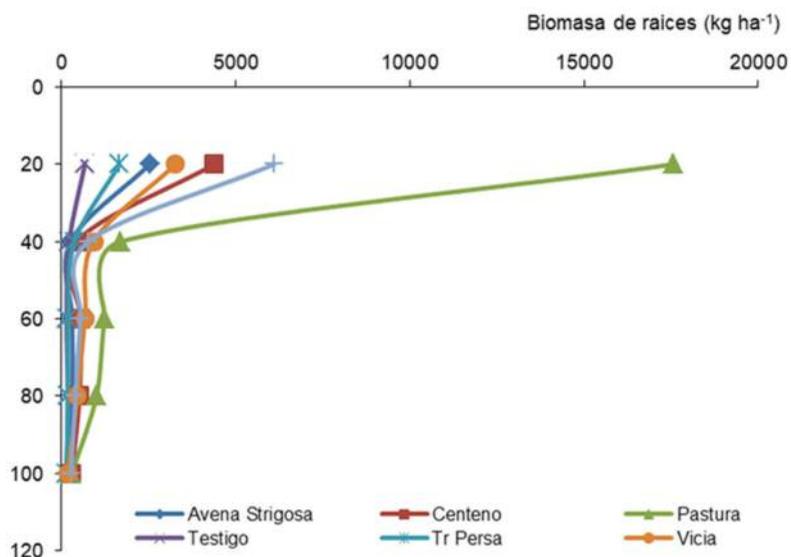


Figura 9: Biomasa de raíces evaluada al momento de secado de los cultivos de cobertura (0-100cm) en el módulo de experimentación del CREA Oeste Arenoso (Hnos. García Cabriada, Pellegrini). Ver Fotos 3 y 4.



Foto 3: Raíces de centeno incluido como cultivo de cobertura en la rotación, específicamente entre dos cultivos de verano destinados a cosecha.



Foto 4: Vista de ensayo comparando cultivos de cobertura y pastura de alfalfa donde se evaluaron Biomasa de raíces (Hnos. García Cabriada, Pellegrini).

tilizados con P, con N-azufre (S), con N-P-S. Se comprueba que la biomasa del testigo contiene 1,6 kgP/ha, mientras la que se fertilizó con N y S (no se agregó P) contiene cerca de 3,5 kgP/ha. Es decir que la fertilización nitrogenada (muy necesaria y frecuente) en los suelos de Mari Lauquen habría acelerado la disminución de los contenidos de P de estos suelos.

Secuencia de cultivos

A fin de contar con alguna información objetiva que permita caracterizar las secuencias de cultivos, se asignaron valores relativos (teniendo en cuenta aportes de biomasa aérea y de raíces) a distintos cultivos: maíz cosecha (5), maíz silo (3), soja (3), girasol (3), cereales invierno (4),

trigo/soja (5 a 6), pasturas perennes primer año (8) y segundo y tercer año (12) y cuarto año dependiendo del estado (8 a 12). Seguramente no es lo mismo soja de primera que de segunda, maíz de 6000 kg/ha que de 10000 kg/ha. No obstante, se considera apropiado tener en cuenta las rotaciones con las limitaciones expuestas. Los valores asignados se asemejan a las contribuciones de biomasa de raíces que tiene comparativamente un mayor peso sobre la MO que biomasa aérea y además es menos variable. Sobre este punto se puede profundizar en contribución de las pasturas perennes (Capítulos 9 y 10). La Figura 9 ilustra significativamente la mayor contribución de las pasturas perennes sobre el aporte de algunos cultivos de cobertura y sobre la escasa bioma-

Tabla 4: Porcentajes de pasturas y cultivos anuales, cultivos anuales de verano e invierno, cultivos de verano con bajo (BR) y alto aporte de rastrojo (AR) e índice de rotación (IR). Se consideran dos periodos, de 1998 a 2018 (20 años) y de 2008 a 2018 (últimos 10 años).

Lote	Pastura %		Annual %		Verano		C Invierno		Verano BR		Verano AR		IR	
	20 años	10 años	20 años	10 años	20 años	10 años	20 años	10 años	20 años	10 años	20 años	10 años	20 años	10 años
27	14	0	86	100	70	79	30	21	81	82	19	19	5,4	4,6
35	0	0	100	100	76	85	24	16	73	73	27	27	4,8	4,7
30	14	0	86	100	83	92	17	8	74	73	26	27	5,4	4,3
31	0	0	100	100	85	92	15	8	68	73	32	27	4,4	4,3
8C NC	22	0	78	100	75	69	25	31	61	60	39	40	6,2	5,6
8D	23	0	77	100	85	79	15	21	71	82	29	18	6,5	4,5
8A	8	0	92	100	81	79	19	21	57	73	43	27	5,3	4,3
14B NC	0	0	100	100	80	79	20	21	62	60	38	40	4,8	5
Promedio	10,1	0	90	100	79	81	21	19	68	72	32	28	5,3	4,6

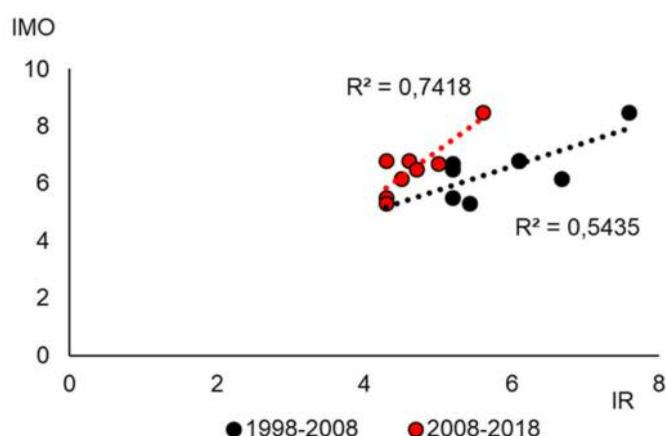


Figura 10: Valores del índice de materia orgánica (IMO) para 8 lotes en función del índice de rotación (IR), considerando dos periodos (1998-2008 y 2008-2018).

sa remanente de raíces del cultivo de cosecha al final del barbecho largo.

En base a lo expuesto en la Tabla 4, hemos representado los índices de rotación para dos periodos: los últimos 20 años (que contiene efecto de pasturas en los primeros años) y los últimos 10 años donde ya las pasturas no participan de la rotación. Se presentan los porcentajes de pasturas y cultivos anuales; de cultivos de verano y de invierno; de cultivos de verano de baja (BR) y alta (AR) contribución de residuos. Lo primero que llama la atención es cómo, en los últimos 10 años, se han emparejado los índices de rotación mostrando una tendencia a la simplificación de la rotación, predominando 2 a 3 cultivos. Una leve diferencia se observa en el lote 8c NC.

A pesar de los cambios en el índice de rotación experimentados en los últimos 10 años, no se comprueban modificaciones importantes en los valores del IMO (Figura 10). Las alteraciones en las propiedades de los suelos no son inmediatas y se requieren “efectos acumulados” durante un cierto tiempo. Distintos estudios muestran que entre 10 y 20 años son necesarios para ver ten-

dencias/cambios significativos en aquellas propiedades edáficas medianamente estables. Por ejemplo, MO, pH, saturación con bases en complejo de intercambio, estabilidad estructural, susceptibilidad a la compactación entre otras. En base a lo expuesto resultaría conveniente evaluar nuevamente los lotes en 2023, considerando que la acumulación de efectos sería suficiente para alcanzar “cierto nivel de equilibrio aparente” entre manejo y algunas propiedades edáficas.

Sobre este punto, reiteramos que el denominado “índice de rotación” no es una propuesta de trabajo ni propiciamos su uso, solo debíamos dar cierta objetividad a las diferencias de secuencia de cultivos entre lotes y a aquellas que surgen a través del tiempo en un mismo lote; nos pareció que podía aportar y aclarar lo que está sucediendo y las tendencias en los sistemas de producción.

Saturación de bases del complejo de intercambio (Porcentaje de Saturación de Bases, PSB)

Si bien las bases de intercambio no fueron evaluadas inicialmente, de acuerdo a determinaciones exploratorias consideramos que las mismas

Tabla 5: Capacidad de intercambio catiónico y bases de intercambio en el estrato de 0-20cm del suelo correspondiente al lote 35 de El Correntino.

CIC	Ca	Mg meq/100g	Na	K	SB	Ca %	Mg	Ca/Mg
12,5	7,3	0,9	0,2	2,0	83	58	7,6	7,7

deberían ser incorporadas en el listado de propiedades edáficas a monitorear. Incluso incorporando otros lotes que se encuentran bajo alta frecuencia de silos, lo que implica importante exportación de bases. Los datos de la Tabla 5 correspondiente al lote 35 de El Correntino, muestran un PSB de 83%, que, si bien puede ser considerado bueno para cultivos anuales, podría estar alcanzando un valor crítico para pasturas como alfalfa. Los contenidos de Mg y la relación Ca/Mg podrían estar indicando alguna limitación para los cultivos. Debería observarse en maíz si aparecen síntomas de deficiencias de Mg en las hojas y realizar pruebas exploratorias con aplicación de Mg foliar. También podría implementarse un módulo de larga duración donde se evalúe el aporte de P

y Dolomita (mineral que contiene Ca y Mg), solos y combinados, manteniendo un testigo sin aporte de los nutrientes.

Consideraciones finales

Finalmente, se considera muy importante contar con ensayos/seguimientos de larga duración porque resultan imprescindibles para evaluar los efectos del manejo sobre aquellas propiedades edáficas que varían en el mediano a largo plazo. Los cambios que experimentan las mismas son una medida del grado de sostenibilidad de los sistemas de producción y permiten reconocer la necesidad de ajustes en el manejo a fin de mitigar aquellos efectos no deseados.

CAPÍTULO 7

Rotación, siembra directa y fertilización en sistemas ganaderos de la Región Semiárida Pampeana

Vallejo Alejandro¹, Souto Roberto¹, Quiroga Alberto^{2 3}

1 CREA, 2 INTA, 3 FA-UNLPam

Experiencia llevada a cabo en Toay

En el presente capítulo se expondrán resultados de una serie de experiencias establecidas en la unidad cartográfica de las Mesetas Relictos de relieve plano, las cuales poseen limitaciones climáticas y de suelos, en su mayor parte limitados por la presencia de tosca. Las experiencias fueron conducidas en el establecimiento "El Estribo" de Souto Hnos., sobre un módulo de aproximadamente 300 ha. En el momento que fueron llevadas a cabo resultaba escasa la información respecto a la introducción de tecnología que permitiese mejorar la eficiencia en el uso del agua en sistemas ganaderos de ciclo completo. Se trabajó sobre los distintos integrantes de la rotación (cultivos anuales y pasturas), incorporando la siembra directa que mejoro la cobertura de los suelos lográndose una mayor eficiencia de los barbechos en cuanto al almacenaje de agua. Asociado a una mayor disponibilidad de agua se obtuvieron importantes respuestas a la fertilización, con incrementos interesantes en la producción de grano y forraje por milímetro de agua disponible.

Contenido del capítulo

- Objetivos
- Características de las experiencias
- Resultados
 - Pasturas, cereales de invierno, verdes de verano, ensayos en red, incorporación de leguminosas para mejorar la productividad de gramíneas perennes.
- Consideraciones finales

Objetivos

Parte de los sistemas ganaderos de cría y recría

de la región semiárida pampeana (RSP) se localizan sobre Paleustoles de las Unidades cartográficas de Mesetas y Valles y de Mesetas Relictos de relieve plano, con precipitaciones que oscilan entre 450 y 700 mm. A pesar de la textura franca a franca arenosa de los suelos, la presencia de tosca constituye una limitante importante de la capacidad de retención de agua

Estos suelos son cultivados desde unos 100 años, teniendo en cuenta que los mismos fueron puestos en producción a partir de 1927 (Col. Ramón Quinta, Foto 1), destinándose principalmente a la producción de trigo y ganadería ovina. Este esquema productivo se mantuvo durante 30 años y a partir de 1955 se incorporó la ganadería vacuna. A consecuencia de ello, en 1960 se establecieron las primeras pasturas de alfalfa y, a partir de 1964, los verdes de verano (sorgo) y el pasto llorón.

Este periodo (1927-70) se caracterizó por el sobreuso de los suelos y un significativo aumento de la erosión eólica como consecuencia del laboreo y la escasa cobertura de residuos, dando lugar a una importante disminución en los contenidos de materia orgánica (MO) y nitrógeno total, principalmente en la fracción de MO denominada joven o lábil (Quiroga et al., 1996). Estudios realizados en el este de La Pampa, también sobre Haplustoles, mostraron que la disminución en los contenidos de MO condicionó la disponibilidad inicial de N (nitratos), el número de macollos, la producción de materia seca y la eficiencia en el uso del agua de los cereales de invierno (Quiroga et al., 2003).

De las experiencias del Este de La Pampa, se infirió que la pérdida de MO condicionará tam-



Foto 1: Vista de la Colonia Ramón Quintas (década del 30) en el sector que se encuentra el establecimiento "El Estribo". En 1947 se vendió el campo a la familia Souto, actuales propietarios. Fuente: La Pensadera, Boletín Cultural: Entrevista a Vicente Calinger realizada por Juan J. López.



Foto 2: Trigo para cosecha establecido sobre antecesor maíz de pastoreo. Detalle de Jornada CREA región semiárida-INTA Anguil en el Establecimiento El Estribo. Rotación pastura perenne-verdeo invierno-maíz pastoreo-trigo cosecha-verdeo invierno-maíz pastoreo-trigo-pastura perenne

bién la productividad y la eficiencia de uso del agua en los sistemas ganaderos localizados al Oeste de las Planicies con Tosca. Como estrategia para revertir este proceso se consideró que la introducción de la siembra directa, el barbecho con cobertura, el control de malezas y la fertilización tendrían un efecto positivo sobre la captación, almacenaje y eficiencia de uso del agua, posibilitando la recuperación de parte del carbono perdido. En este sentido, se elaboró un Programa de Experimentación para el Mejoramiento de los Sistemas Ganaderos de Cría de la Región Semiárida Pampeana (AACREA, 1996). El mismo destaca la necesidad de mejorar la oferta forrajera y propone, como una de las principales líneas de trabajo, la siembra directa y fertilización de verdes, pasturas y la incorpora-

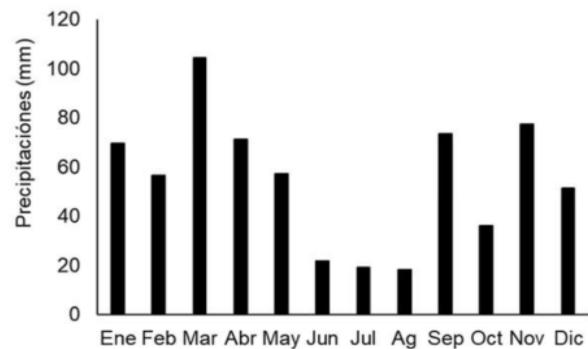


Figura 1: Precipitaciones promedio histórico (mm) para el periodo 1972-2020.

ción de la agricultura (principalmente cereales de invierno). La Foto 2 ilustra sobre las capacitaciones periódicas realizadas en el módulo a partir de jornadas de campo. Las mismas resultaron propicias para seguir la evolución de las actividades.

El objetivo principal de la serie de experimentos conducidos en "El Estribo" fue evaluar la respuesta a la fertilización y eficiencia en el uso del agua de verdes (de invierno y verano), trigo y pasturas establecidos en siembra directa en sistemas ganaderos de ciclo completo.

Características de las experiencias

Las experiencias fueron conducidas sobre un módulo de aproximadamente 300 has localizado en la unidad cartográfica de las Mesetas Relictos de relieve plano. Específicamente parte de los lotes donde fueron establecido los ensayos se corresponden con la localización de la antigua Colonia (Foto 1). Los suelos, Haplustoles énticos, poseen secuencia de horizontes A, AC, C₁, C_{2ca} y presencia de tosca a profundidad variable (entre

Tabla 1: Evolución de la distribución de la superficie (%) en el Establecimiento El Estribo.

Superficie	1992	1996	2001
Campo Natural Productivo	27	32	27
Campo Natural Degradado	26	—	—
Pasto llorón (1)	26	25	21
Pasturas Implantación	—	5	3
Producción	5	10	27
Degradadas	—	2	3
Cultivos Anuales	16	26	19
Sup. en SD	—	500	5000

40 y 120 cm). La textura predominante de los suelos es franco arenosa, con contenidos variables de arcilla: 5-12%, limo: 25-35% y arena: 55-70%.

La Figura 1 muestra la distribución de las precipitaciones, que en los últimos 48 años arrojan un promedio de 660 mm, caracterizada por la siguiente distribución: primavera: 28%, verano: 27%, invierno: 9%, otoño: 35%.

La Tabla 1 muestra los cambios cuali y cuantitativos en la distribución de la superficie ocurridos en los años previos y durante el desarrollo de los experimentos. En 1992 el 26% de la superficie con pasto llorón correspondía a pasturas de 30 años con producción de 50 raciones durante el verano. En el 2001, la superficie corresponde a llorones de menos de 10 años y producción de 200-250 raciones durante el verano.

A partir de 1996, con la incorporación al establecimiento de una sembradora de grano fino J. Deere 750, fue conducida en siembra directa la siguiente secuencia de cultivos: pastura (base alfalfa y/o gramíneas) + verdeo de invierno (avena y centeno) + verdeo de verano (maíz y sorgo) + trigo + pastura.

Tanto en trigo como en verdeos de invierno se

evaluaron tratamientos de fertilización temprana realizado en Zadocks 12, es decir entre siembra y 2 pares de hojas, evaluando los siguientes tratamientos: testigo sin fertilizar, 40 kg N/ha y 40 kg N/ha + 20 kg de S/ha). Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones y parcelas de 100 m. Todos los tratamientos recibieron a la siembra 40 kg/ha de fosfato diamónico (FDA). En verdeos de verano y pasturas de gramíneas también se evaluó la respuesta a la fertilización nitrogenada. En todas las experiencias, sobre muestras de suelo de 0-20 cm se efectuaron determinaciones de fósforo (Bray y Kurtz), MO total (Walkley y Black), N total (Kjeldahl), pH (1:2,5), nitratos (ácido cromotrópico) y humedad del suelo (gravimétrico) a intervalos de 20 cm hasta la capa de tosca. La eficiencia en el uso del agua para producir materia seca fue calculada desde las precipitaciones y desde variaciones en el almacenaje de agua en el suelo (López y Arrúe, 1997).

Resultados

Los suelos donde se establecieron los ensayos presentaron bajos contenidos de MO (1,1 a 1,5%), P (6 a 12 ppm) y capacidad de almacenaje de agua útil variable entre 50 y 110 mm en función de la profundidad de la tosca. El contenido de MO representó aproximadamente un 30% y el de P un 20% de los contenidos registrados en suelos vírgenes de similar textura. Por ello, el tratamiento testigo en siembra directa incluyó el aporte de 40 kg/ha de fosfato diamónico a la siembra y un barbecho de aproximadamente 60 días.

El barbecho químico (conteniendo 75% de agua útil) afectó positivamente el almacenaje de

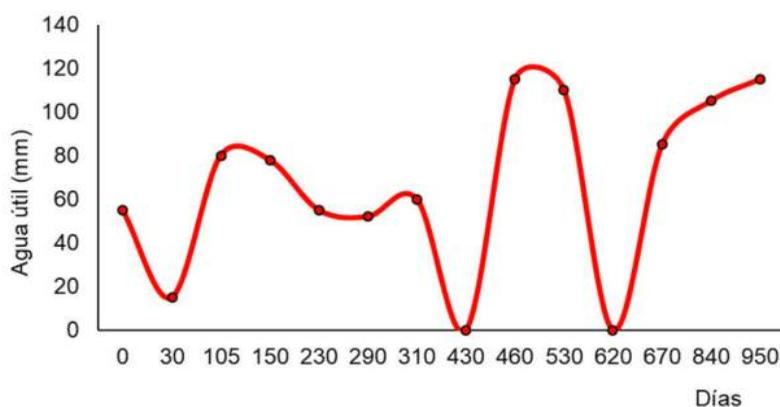


Figura 2: Variación del contenido de agua útil (mm/100 cm) durante la siguiente secuencia de cultivos: verdeo de invierno, verdeo de verano, trigo.

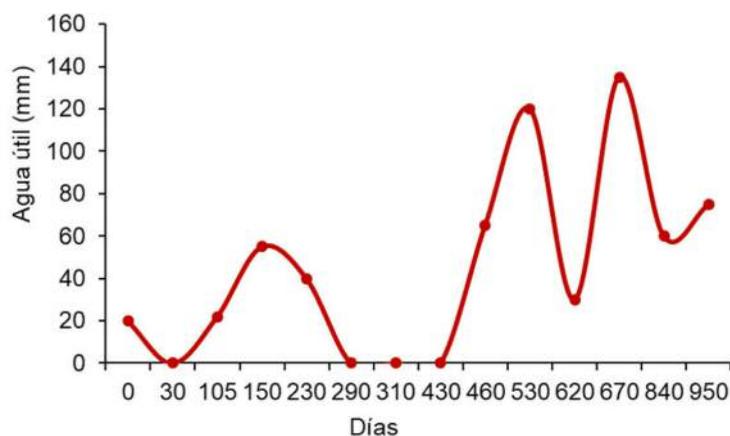


Figura 3: Variación del contenido de agua útil de suelo (mm/100 cm) bajo pastura.

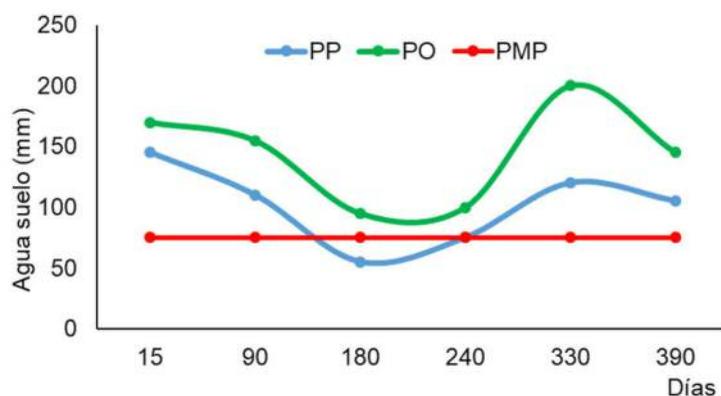


Figura 4: Variación del contenido de agua en el perfil del suelo (mm/80 cm) bajo pastura polifítica (PP) y bajo pasto ovillo (PO). Punto de marchitez permanente (PMP).

agua respecto del tratamiento sin barbecho (47% de agua útil), registrándose diferencias de hasta 31 mm en perfiles de 100 cm de espesor. Estos resultados confirman los valores registrados durante 10 años de evaluación por Monsalvo (1969), quien concluyó que en promedio el barbecho contribuyó con 32mm más de agua útil. Expresaba, en la década del '60, que estos 32mm representan "una buena lluvia adicional que el productor puede provocar a voluntad". Más recientemente, estos resultados también son confirmados por los registrados en el módulo de Dorila (capítulo 3), donde las diferencias promedio de 27 años de evaluación son de esta magnitud. La Figura 2 muestra la evolución de la humedad para la secuencia de cultivos evaluada en uno de los ensayos.

Durante el verdeo de verano el contenido de agua útil mostró la mayor variación, registrándose valores de 0 a 120 mm en los primeros 100 cm del perfil.

A continuación, se analizan los principales resultados obtenidos para cada uno de los cultivos integrantes de la rotación.

a) Pasturas:

La Figura 3 muestra la evolución del agua útil en un perfil con pastura base alfalfa. La baja capacidad de los suelos para almacenar agua al ser limitados por la presencia de tosca y los altos requerimientos de la pastura determinan que con frecuencia el perfil alcance valores de humedad de punto de marchitez. A consecuencia de ello y como mecanismo de defensa, se producen defoliaciones recurrentes dando lugar a una baja disponibilidad de forraje. No obstante, cuando el agua no es limitante la producción de alfalfa es muy buena.

Si bien uno de los aspectos buscados en las pasturas polifíticas (alfalfa y gramíneas perennes) es el aporte de N de las leguminosas, se comprueba visualmente la fuerte competencia por el agua en estos ambientes semiáridos. A fin de optimizar la productividad de la gramínea y evaluar su comportamiento respecto al uso del agua, se establecieron pasturas de pasto ovillo puro, con algunas variantes respecto al manejo de la fertilidad nitrogenada (fertilización de primavera y otoño en función de la humedad del suelo e intersiembra de vicia).

La Figura 4 muestra la evolución del agua útil en ambos perfiles de suelo, bajo pastura polifítica y bajo pasto ovinillo. La Tabla 2 resume los resultados obtenidos a lo largo de la experiencia, agrupando los mismos en 4 categorías de disponibilidad de agua: O (óptima, >75% agua útil), B (buena, 50-75%), L (limitante, 25-50), ML (muy limitante, <25%). Si bien en ambas pasturas la disponibilidad de agua resultó menor durante el verano, se comprobó una mayor restricción en el perfil bajo pastura base alfalfa.

Los resultados, si bien preliminares, son muy interesantes respecto a las diferencias en la disponibilidad del agua en el suelo entre pasturas, especialmente durante el verano y otoño. Asociado a una mayor disponibilidad de agua se comprueba que el periodo de producción del pasto ovinillo se prolonga con la posibilidad de reducir la superficie destinada a verdeo de invierno. Además, la mayor disponibilidad de agua genera mejores condiciones para la fertilización nitrogenada. Al respecto, se realizaron ensayos de fertilización en primavera y fin del verano/otoño, evaluando la producción de materia seca y contenido de proteína. La Tabla 3 muestra la importante respuesta de pasto



Foto 3: Detalle de jaulas para realizar cortes de materia seca en pastura de pasto ovinillo bajo pastoreo (ciclo completo), con y sin aporte de fertilizante nitrogenado. Ciclo de pasturas perennes en la rotación del Establecimiento "El Estribo".

ovillo a la fertilización nitrogenada, principalmente en aplicaciones realizadas durante la primavera, que afectaron tanto la producción de materia seca como el contenido de proteína (Foto 3).

b) Cereales de invierno:

La distribución de las precipitaciones permite inferir sobre el balance hídrico negativo que tiene lugar durante los cultivos de invierno. Por ello, el agua que puede ser almacenada en periodos previos a la siembra tiene significativa participación en el consumo de agua de verdeos y trigo. En la Figura 5 se muestra la producción de materia seca en función de los contenidos de agua disponible en el perfil del suelo a la siembra. Se comprobó además efecto de cultivos antecesores sobre la disponibilidad de agua a la siembra de los verdeos. En antecesores Pastura (15% de agua útil) los contenidos de agua resultaron menores que en antecesores Trigo (61% de agua útil). Experiencias realizadas en Oeste Arenoso muestran que, para siembras de verdeos en marzo sobre antecesor pasturas, estas deben entrar en barbecho a fines de diciembre (conocido como barbecho de navidad). Por supuesto que esta decisión de prolongar

Tabla 2: Disponibilidad de agua en perfiles de suelo bajo pasturas: polifítica y de pasto ovinillo. Periodos: Invierno (I), primavera (P), verano (V), otoño (O). Condición hídrica: óptima (O), buena (B), limitante (L), muy limitante (ML).

Periodo	Polifítica	Ovinillo
2000 -I	O	O
-P	B	O
-V	ML/L	LB
2001 -O	B/O	O/O
-I	B	B
-P	B/O	O/O
-V	ML	L
2002 -O	ML	ML
-I	L	B/L

Fertilización	Fecha corte	M. seca (kg/ha)		Proteína	
		Testigo	Fertilizado	Testigo	Fertilizado
Abril/00	Junio	338	1200	—	—
Sept/00	Nov.	1436	3920	9,7	11,1
Feb/01	Mayo	1949	2357	9,5	11,5
Sept/01	Nov.	1194	2655	9,4	12,1
	Febrero	1478	3236	6,8	7,9
Feb/02	Abril	1008	1932	8,2	9,5

Tabla 3: Materia seca (MS, kg/ha) y proteína (%) de pasto ovinillo, para los tratamientos fertilizado (40 kg N/ha) y sin fertilizar.

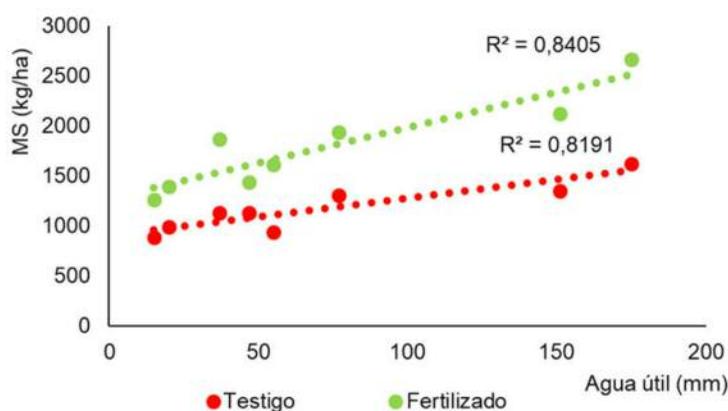


Figura 5: Producción de verdes de invierno en función del contenido de agua útil (mm), para tratamientos testigo (sin fertilizar) y fertilizado.

Ensayo	Trigo (kg/ha)			MO (%)	P (ppm)
	Testigo	Nitrógeno	Nitr + Azufre		
1	2118	2536	2403	1,52	8,5
2	1717	2290	2142	1,5	14,2
3	1382	2510	2074	1,29	8,4
4	2502	3476	4039	1,5	14,2
5	1701	2522	3042		
Promedio	1884	2667	2740		
Verdeo (kg/ha)					
1	1429	2497	3078	1,29	8,4
2	988	1396	1660	1,5	14,2
3	1306	1974	2039	1,8	9,1
4	1621	2326	—	1,52	8,5
5	1828	2808	—	1,52	8,5

Tabla 4: Rendimiento de grano (trigo, kg/ha) y forraje (verdeo de invierno, kg/ha) bajo distintos tratamientos de fertilización. Contenidos de MO (%) y P (ppm) en suelos donde se localizaron los ensayos (0-20 cm).

el ciclo estará sujeto al estado de la pastura y a la necesidad de forraje de ese momento.

Si consideramos que con una adecuada nutrición es posible obtener como mínimo 10 a 12 kg de materia seca/ha mm, la diferencia en los contenidos de agua útil de ambos perfiles implica diferencias de 600 kg/ha en la producción de materia seca.

El uso consuntivo de verdes de invierno (marzo-junio) varió entre 210 y 221 mm; la fertilización con N (11,3 kg materia seca/ha mm) y N+S (13,9 kg materia seca/ha mm) incrementó la eficiencia en el uso del agua respecto del testigo (6,4 kg materia seca/ha mm).

Similares resultados se registraron en trigo, con una importante respuesta a la fertilización nitrogenada, que superó en promedio los 750 kg/ha ante el agregado de 40 kg de N/ha (Tabla 4).

Los cereales de invierno muestran una respuesta importante a N, tanto en la producción de grano como de forraje. Es oportuno recordar que a la siembra de ambos cultivos se aplicó fosfato diamónico, dado el medio a bajo contenido de P

de los suelos (Tabla 4), lo cual seguramente favoreció la respuesta a N.

c) Verdeos de verano:

Los verdes de verano (maíz y sorgo) se establecieron sobre verdes de invierno con un distanciamiento de 52 cm entre líneas, empleando sembradora de grano fino. La densidad de plantas logradas resultó variable entre 35000 y 50000 pl/ha. Un aspecto a destacar es que durante el periodo evaluado no resultó conveniente realizar siembras muy tempranas por las heladas tardías que son frecuentes en noviembre y por la presencia de roseta cuyo control se ve dificultado en siembras de principios de octubre. La Tabla 5 muestra como el control de malezas y la fertilización, asociado a la siembra directa, afectaron significativamente la producción de materia seca de maíz. La baja capacidad de los suelos para almacenar agua asociado a los altos requerimientos del cultivo hace muy variable e impredecible la producción de los verdes de verano. Sin embargo, estos resultados preliminares muestran que es

	1998	1999	2000	2001
Sin control de malezas	9827	4000		
Con control de malezas	11153	6435		
Control de malezas y fertilización	15288	7537	7818	9410

Tabla 5: Producción de materia seca de maíz (kg/ha).



Foto 4: Ensayos de fertilización nitrogenada en verdes de invierno establecidos en siembra directa sobre antecesor trigo de cosecha.

posible incidir positivamente sobre la eficiencia de uso del agua.

El uso consuntivo de verdes de verano (maíz) varió entre 261 y 370 mm, comprobándose en los tratamientos fertilizados incrementos de la eficiencia en el uso del agua de hasta 37% respecto del tratamiento testigo.

Los resultados de cinco años de experimentación muestran que el barbecho y control de malezas asociado a la siembra directa y la fertilización (N, P) generan condiciones para un uso más eficiente del agua incrementando la producción de forraje en verdes, pasturas y de grano en trigo. La secuencia de cultivos parece tener una incidencia importante en el manejo del agua útil. Aspectos como efecto del cultivo antecesor, cobertura y uso de los verdes de verano por parte de la ganadería deberían ser profundizados.

d) Ensayos en red

Eficiencia en el uso del agua y fertilización de verdes de invierno en sistemas ganaderos de la

Región Semiárida Pampeana.

Como complemento de las experiencias conducidas en el CREA Carro Quemado-Luan Toro, durante la campaña 2001 parte de los ensayos de verdes de invierno se establecieron en el CREA Guatraché (Establecimientos La Luna y Minnesota), CREA Soven (El Oasis y Las Taguas) y CREA El Amparo (San Eduardo y La Invernada), Tablas 6 y 7; Foto 4.

Los sitios mostraron importantes diferencias en la capacidad de almacenar agua, tanto por efectos de variaciones en la textura como por limitaciones en la profundidad (ej. Tosca a 30 cm en la Luna). El contenido de agua útil varió ampliamente entre sitios con valores iniciales de 15 mm (la Luna) hasta 175 mm (Rosso). Por su parte, el contenido inicial de N de nitratos (kg/ha 60 cm) resultó medio a bajo en todos los sitios. En base a este parámetro podría esperarse buena respuesta a la fertilización con N en todos los sitios. Sin embargo, esta respuesta fue limitada por la baja disponibilidad inicial de agua en algunos perfiles de suelo que no posibilitaron cubrir los requerimientos de verdes de buena producción (abril-julio aproximadamente 240 mm).

Seguramente que asociado a estas diferencias entre lotes la producción de materia seca, al inicio del pastoreo, varió ampliamente entre sitios y tratamientos (Tabla 8). Así la respuesta a la fertilización con 40 kg de N/ha resultó variable entre 300 y 1000 kg/ha de materia seca, comprobándose además efecto significativo sobre el contenido de proteína. Altos contenidos de proteína pueden no ser adecuados al momento de uso de este forraje por la ganadería, dando lugar en algunos casos a bajas ganancias de peso.

Sitio	Arcilla	Limo	Arena	Cap. Campc	PMP	AU (mm/cm)
La Luna	7,5	27,3	65,2	16,5	7,5	1,1
Minnesota	4,2	18,5	77,3	13	5,5	0,9
Taguas	3,1	15,3	81,6	12,3	5,1	0,9
Oasis	3,1	12,3	84,6	11,5	4,8	0,8
Rosso	9,1	25,3	65,6	17,2	7,3	1,2
S. Eduardo	11,1	57,3	31,6	20,5	9	1,3
El Estribo	10	30	60	—	—	—

Tabla 6: Fracciones texturales (%), constantes hídricas de capacidad de campo y punto de marchitez permanente (%) y capacidad de almacenar agua útil (mm/cm de suelo).

Tabla 7: Contenidos iniciales de agua total (mm), agua útil (AU mm) y de N de nitratos (N kg/ha) en los 6 sitios evaluados.

Sitio	Agua total (mm)	AU (mm)	N (kg/ha)
La Luna	43	15	44
Minnesota	153	55	21
Taguas	130	37	36
Oasis	134	47	27
Rosso	308	175	35
S. Eduardo	315	151	33
El Estribo 1	114	20	-
El Estribo 2	171	77	-

Los resultados muestran que el contenido inicial de agua útil resultó principal determinante de la producción de materia seca de los tratamientos testigo y fertilizado y de la respuesta a la fertilización nitrogenada (Figura 5).

Estos resultados obtenidos resultan coincidentes con trabajos realizados por INTA y CREA Oeste Arenoso (Quiroga et al., 1999), respecto a que los factores de manejo y propiedades del suelo que inciden sobre la disponibilidad de agua condicionan significativamente la productividad de cereales de invierno y la respuesta a la fertilización nitrogenada.

e) Incorporación de leguminosas para mejorar la productividad de gramíneas perennes:

Experiencias realizadas por Cairnie (1992) muestran como los tréboles de olor pueden contribuir, a través de la fijación biológica, a mejorar tanto la producción como calidad de pasto llorón. A partir de esta asociación llegaron a registrarse incrementos en pasto llorón de 70% en la producción de forraje y de 355% en el contenido de proteína bruta. Esta experiencia no se realizó en "El

Estribo" pero dada la importante superficie de pasto llorón, que como lo expresa el productor van perdiendo productividad nos pareció oportuno incorporar al presente capítulo resultados de esta práctica.

En pasto llorones "viejos" de más de 20 años (Foto 5), con la finalidad de mejorar la condición física superficial del suelo, se procedió a incorporar melilotus adaptando el rastrón como implemento de interseembra. En lugar de utilizar el rastrón completo con todos los discos se sacaron dos de cada tres discos. De esta manera quedaron franjas de unos 40cm sin laborear alternando con un surco abierto por el disco donde se estableció la leguminosa, tal cual se observa en la Foto 6. También se procedió a dejar una franja testigo, sin pasada de rastrón a fin de evaluar el efecto de la práctica sobre la captación de agua, aspecto que en pasturas con tantos años de uso ganadero se puede tornar crítico y favorecer el escurrimiento. Al respecto, evaluaciones de infiltración realizadas a los 8 meses de la interseembra arrojaron valores de 40mm/h en el testigo y en el pasto llorón con melilotus de 132mm/h. Además, posterior a un periodo de lluvias, la humedad del suelo en el primer m del perfil fue de 86mm en el testigo y de 114mm en la interseembra, seguramente asociado a la mejora en la captación del agua.

Si bien no se realizaron evaluaciones en cuanto a producción de forraje, otra de las prácticas viables para mejorar producción, calidad y eficiencia de uso del agua del pasto ovillo fue la inclusión de vicia villosa, la cual mostró muy buen comportamiento en este tipo de suelos (franco a franco arenoso con presencia de tosca entre 60 y 120cm).

Sitio	M Seca (kg/ha)		Efic. Uso agua	Proteína (%)	
	Testigo	Fertilizad		Testigo	Fertilizado
La Luna	888	1260	6,2	13,3	17,4
Minnesota	985	1613	7,6	14,4	22,2
Taguas	1133	1866	21	24,4	24,6
Oasis	1126	1440	18	22,8	25,8
Rosso	1620	2660	11,2	14,7	21,4
S. Eduardo	1350	2124	9,9	20,8	25,3
El Estribo 1	988	1396	—	—	—
El Estribo 2	1306	1974	—	—	—
Promedio	1175	1792	12	18	23

Tabla 8: Producción de materia seca (kg/ha), contenido de proteína (%) y eficiencia uso del agua (kg/ha mm) al primer corte de verdes de invierno.



Foto 5: Perfil de suelo bajo pasto llorón limitado por tosca a 100cm.

Consideraciones finales

De esta manera resulta clave para los establecimientos ganaderos de la Región Semiárida:

1) el conocimiento de la capacidad de los suelos para almacenar agua.



Foto 6: Intersiembra de melilotus en pasto llorón de 22 años. Se empleó rastrón quitando 2 de cada 3 discos.

2) la cantidad de agua útil con que estos suelos llegan a la siembra por efecto del manejo previo (cultivo antecesor, sistema de labranza, barbecho). Así, en algunos sitios los verdeos son establecidos sobre suelos con buena capacidad de almacenar agua pero que a la siembra poseen menos del 50% de agua útil, limitando la producción y la eficiencia de uso del N (tanto del N proveniente de la fertilización como del N aportado por la mineralización de la MO).

CAPÍTULO 8

Inclusión de cultivos de cobertura en planteos de soja continua

Fernández Romina¹, Fernández Daniel², Perez Micaela¹, Noellemeyer Elke³, Quiroga Alberto^{1,3}

1 INTA, 2 Ex asesor CREA, 3 Fac Agronomía

Experiencia que se lleva a cabo en Anguil

La condición inicial de este módulo, localizado en el Establecimiento "Los Piquillines", mostraba un suelo con más de 40% de encostramiento superficial, valores muy bajos de infiltración (evaluado con simulador de lluvia) que daban lugar a encharcamiento temporario, escurrimiento de agua y manchoneo de cultivos. Frente a esta problemática se introducen cambios en la secuencia de cultivos incorporando durante 10 años una mayor proporción de gramíneas, pero manteniendo como tratamiento testigo la secuencia inicial con monocultura de oleaginosa. Esta problemática se comprueba en la mayoría de las regiones semiáridas y subhúmedas secas del mundo, donde se ha producido un rápido y creciente cambio en el uso de la tierra que convirtió los pastizales naturales en campos cultivados (Nosetto et al., 2011). Este cambio en el uso provocó pérdidas de carbono de los suelos (Fernández et al., 2016) y graves impactos negativos sobre la calidad de los mismos, afectando de manera importante procesos físico hídricos. Los efectos acumulados de cambios en la rotación, sobre la producción y propiedades de un suelo con limitaciones físicas, son presentados en este capítulo.

Contenido del capítulo

- Objetivos
- Características de la experiencia
- Resultados
- Consideraciones finales

El proceso de intensificación agrícola que se viene produciendo en los últimos 20 años, con disminución de la superficie con pasturas y cereales

de invierno, ha dado lugar a menores aportes de residuos sobre la superficie del suelo, a una menor cantidad y permanencia de raíces (Frasier et al., 2016b). Estos cambios han producido disminución en los contenidos de materia orgánica, cambios en la porosidad total, disminución en la proporción de macroporos y cambios en la morfología de los mismos, acentuando los procesos de compactación de suelos (Fernández, 2018; Deneff y Six, 2005).

La densificación de los suelos además de condicionar la eficiencia en el uso del agua incide tanto sobre la absorción de nutrientes disponibles como sobre el desarrollo de las raíces (Glab, 2014).

Incorporar cultivos de cobertura en planteos con largos periodos de barbechos, entre cultivos de renta, pueden contribuir a mejorar propiedades de suelos degradados/compactados (García González et al., 2018). Algunas raíces pueden penetrar capas endurecidas húmedas que al descomponerse crean poros estables formando bioporos abiertos, los cuales pueden ser utilizados por las raíces de cultivos posteriores (Torres-Guerrero et al., 2013). Este tipo de perforación/descompactación biológica, mediante la incorporación de especies que generen biomasa radicular en poco tiempo, puede ser físicamente beneficiosa. Con esta finalidad, se puso en marcha en el año 2009 (que continua en 2021) un ensayo de larga duración. En el mismo se cuantifican diferentes indicadores físico-hídricos y rendimiento de cultivos en dos rotaciones: soja continua (SC), y soja que alterna con maíz y centeno como cultivo de cobertura (SR).

Características de la experiencia

El estudio se desarrolló sobre un *Paleustol petrocálcico*, ubicado en el sur de la planicie con



Foto 1: Situación bajo vegetación natural (a) y agrícola con escaso residuos en superficie y compactado (b y c).

tosca de la Región Semiárida Pampeana, en el Establecimiento “Los Piquillines”. En el sitio experimental la tosca se localiza entre 80 y 100cm.

Al inicio de la experiencia, se comparó el suelo agrícola donde se instalaría el ensayo de larga duración con respecto a un suelo del mismo establecimiento, de similar textura (franca), pero bajo uso ganadero con vegetación natural (VN). Sobre la base de estudios desarrollados en este suelo VN (Fernández, 2018), se acordó en el grupo de trabajo considerar los valores de los distintos indicadores de la condición física como valores de línea de base o de referencia. Distintos estudios proponen esta metodología de “comparar los valores de base con los datos de los indicadores obtenidos bajo uso agrícola. De esta manera, es posible cuantificar la degradación y establecer una escala de valoración para cada uno de los indicadores evaluados. Este suelo en VN se consideró representativo del uso conservacionista ya que tiene vegetación perenne tipo sabana, en la cual coexisten gramíneas forrajeras principalmente invernales y algunas gramíneas estivales con especies arbóreas leguminosas. No fue labrado por más de 50 años y fue destinado a pastoreo de vacunos de cría (Foto 1 a).

El suelo agrícola, como se expresó al inicio, presentaba serios problemas físicos (Foto 1 b, c) que limitaban la captación, movimiento en profundidad y almacenamiento del agua de lluvia por presentar compactaciones superficiales (encostramiento) y subsuperficiales.

Al comparar ambos usos, se puede observar (Tabla 1) que el suelo bajo agricultura tuvo meno-

Tabla 1: Arcilla+limo (A+L), materia orgánica (MO), Índice de MO (IMO), infiltración básica (IB), densidad aparente (DA), porosidad total (PT) y encostramiento bajo uso en vegetación natural (VN) y agrícola.

	VN	Agrícola
A+L(%)	48	51
MO (%)	7	1,87
IMO	14	3,6
IB (mm/h)	120	38
DA (g/cm ³)	0,9	1,25
PT (%)	69	45
Encostramiento (%)	0	37



Foto 2: Fajas apareadas en barbecho largo (cultivo de soja continua) y con cultivo de cobertura de centeno (soja en rotación).

res valores de MO y del índice MO/arcilla+lamo (IMO). Además, presentó un alto porcentaje de encostramiento superficial (37%), un 68% menos de infiltración (simulador de lluvia), mayores valores de densidad aparente y significativamente menor cantidad de poros (PT) respecto al suelo bajo VN.

Con la finalidad de evaluar algunas alternativas de manejo tendientes a mejorar los atributos físicos del suelo, el CREA Atreucó y el INTA Anguil acordaron en 2009, incluir cultivos de cobertura entre cultivos de renta. En lo inmediato tratar de incidir positivamente sobre la eficiencia de uso del agua y el rendimiento de soja. Por ello, es que el suelo en el cual se desarrolló la experiencia, "hoy"

corresponde a un ensayo de larga duración, que ya cuenta con 11 años de efectos acumulados. El ensayo se inició con un cultivo de sorgo en el año 2009 y a partir del año 2010 se instalaron las secuencias soja en rotación (SR) con cultivo de cobertura y/o maíz; y soja continua (SC) (Foto 2 y 3). Obsérvese en la Foto 2 el desarrollo al momento de secado del cultivo de centeno que llega a etapa reproductiva con la finalidad de alcanzar una alta relación C/N y de esta manera prolongar su permanencia en el suelo. Esta decisión resulta necesaria y estratégica cuando se quiere incidir sobre propiedades físicas.

Resultados

Los rendimientos por año de ambas rotaciones que involucran al cultivo de soja tanto como la producción de biomasa del cultivo de cobertura se presentan en la Tabla 2.

En SC el menor y mayor rendimiento del cultivo de soja fue 982 y 3712 kg/ha, respectivamente. Mientras que para SR éstos se encontraron entre 1098 y 4106 kg/ha.

El CC utilizado en la mayoría de los años fue centeno Quehué INTA, y Don Ewald INTA. La producción de biomasa varió entre 2687 y 4751 kg/ha encontrándose asociada a las precipitaciones durante el cultivo ($R^2: 0,63$).

Desde que se inició la experiencia hasta el 2020, los CC aportaron 37337 kg materia seca/ha, si se considera que alrededor del 45% corresponde a carbono, arroja un total en biomasa aérea de 15181 kg de carbono/ha. Según estudios realiza-



Foto 3: Soja en rotación con cultivo de cobertura y b) soja continua

Tabla 2: Historia del ensayo y rendimientos desde el inicio de la experiencia. Soja en rotación (SR), soja continua (SC). Cultivo de cobertura (CC) en kg grano/MS/ha.

Campañas	SR		SC	
2009/2010	Sorgo		Sorgo	
2010/2011	Soja	1987	Soja	1654
2011	CC	4000		
2011/2012	Soja	3697	Soja	2800
2012	CC	2947		
2012/2013	Soja	1850	Soja	1412
2013	CC	3300		
2013/2014	Soja	1412	Soja	1068
2014	CC	3800		
2014/2015	Soja	2094	Soja	1222
2015	CC	3200		
2015/2016	Soja	4106	Soja	3712
2016/2017	Maiz	5479	Soja	1791
2017	CC	2600		
2017/2018	Soja	1098	Soja	982
2018	CC	4700		
2018/2019	Soja	1701	Soja	1269
2019	CC	2687		
2019/2020	Soja	1913	Soja	1567
2020	CC	4066		

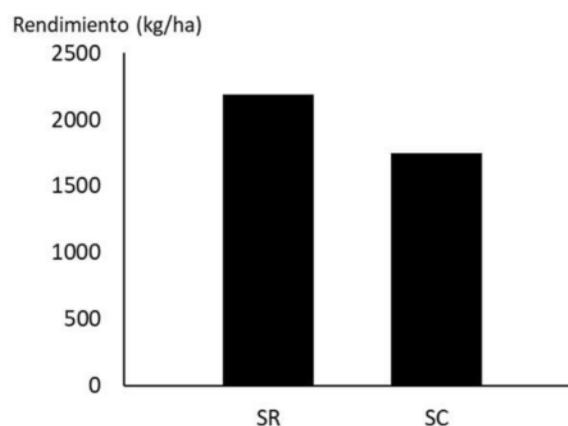


Figura 1: Rendimiento de soja en rotación (R) y en monocultivo (SC), promedio de 10 años.

dos en la región (Fraser et al., 2016) la relación entre biomasa de raíz/biomasa aérea se encuentra alrededor de 0,6, lo que arroja un resultado de 9108 kg carbono por parte de las raíces. En los 10 años de efecto acumulados de CC en el módulo, el aporte de carbono (aéreo+ raíces) fue de 24290 kg de carbono/ha.

El uso consuntivo promedio por parte de la soja en las dos rotaciones fue similar, 395 mm para SC y 406 mm para la SR, pero la eficiencia en

el uso del agua fue mayor en soja en rotación (5,7 kg de grano/ha mm) con respecto a soja continua (4,7 kg de grano/ha mm). De esta manera, la utilización del CC en la rotación propició un incremento promedio del rendimiento de soja de 441 kg/ha año (Figura 1), además de mejorar el control de malezas y establecimiento del cultivo. En la Foto 4 se puede observar el desarrollo de la soja en ambas rotaciones. Debido a lo expuesto se enfatiza que la rotación de cultivos constituye un factor importante de los sistemas de producción ya que facilita el manejo de malezas, enfermedades y fertilidad del suelo. Además, permite estratificar el uso del agua y nutrientes del suelo a través de diferentes profundidades y tiempo de ocupación de raíces y mejorar la eficiencia en el uso del agua de los cultivos (Moroke et al., 2005; Anderson et al., 2002). Las Fotos 4 a y b ilustran sobre parte de estos efectos, comprobándose en



Foto 4. Cultivo de soja en a) rotación y b) soja continua.

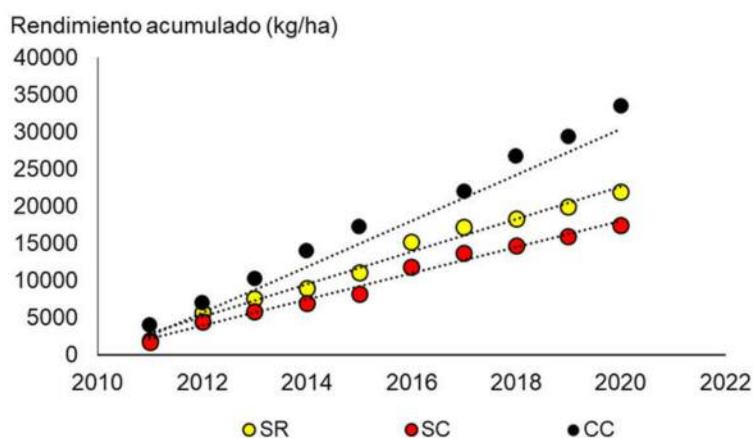


Figura 2: Rendimiento acumulado en soja en rotación (SR), soja continua (SC) y en la producción de biomasa del cultivo de cobertura (CC).

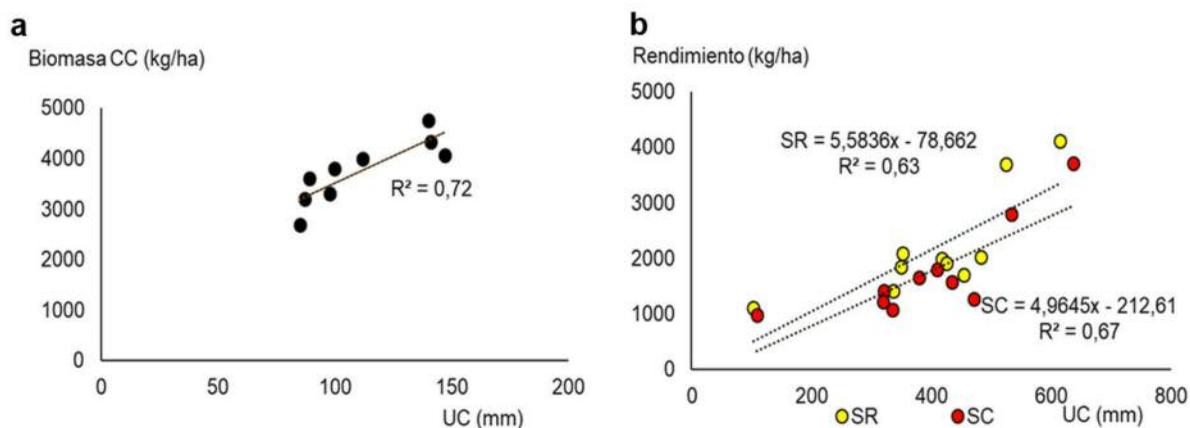


Figura 3: a) Producción de biomasa aérea de los CC y b) Rendimiento de soja en rotación (SR) y soja continua (SC) en función del uso consuntivo (UC).

SR mayor uniformidad del cultivo y menor presencia de malezas, lo que se tradujo además en menor uso de herbicidas.

En relación a los rendimientos obtenidos desde el inicio del ensayo, en la Figura 2 se observa, que el rendimiento acumulado correspondió a 17478 y 21888 kg/ha para SC y SR, respectivamente. Esta diferencia, de 4410 kg/ha equivale a 2 cosechas más de soja en SR, teniendo en cuenta el rendimiento promedio de soja en SC durante los 10 años.

Las relaciones entre el uso consuntivo con la biomasa aérea del CC y con el rendimiento de soja se presentan en la Figura 3. Tanto para los CC como para el cultivo de soja el UC incidió positivamente en la generación de biomasa a) y en el rinde de soja de ambas rotaciones b). Los CC necesitaron en promedio 111 mm para generar 3749 kg/ha, lo que arroja una EUA de 33,7 kg/ha mm. Para SC y SR el UC fue similar (395 y 406 mm, res-

pectivamente), no obstante, se puede observar en la Figura 3 el rango de variación tanto del UC como en los rendimientos de soja fue mayor en el tratamiento con CC respecto a soja continua.

La disponibilidad hídrica, considerando el agua almacenada en el suelo al momento de la siembra, fue similar para los CC y soja. En este sentido se encontró que el agua a la siembra aportó al UC 55 y 59 mm para CC y soja, respectivamente, mientras que el aporte por parte de las lluvias fue de 55 y 341 mm para CC y soja, respectivamente. Si estos resultados se expresan en valores relativos, la contribución del agua a la siembra para CC representó el 50 % del UC mientras que para el cultivo de soja solamente el 15%. (Figura 4). Estos resultados concuerdan con expresiones de Martín Monsalvo quién sostenía que “los cultivos de invierno son cultivos del suelo”, mientras que, los cultivos de verano son cultivos del ambiente.

Asociado a la utilización de gramíneas en la

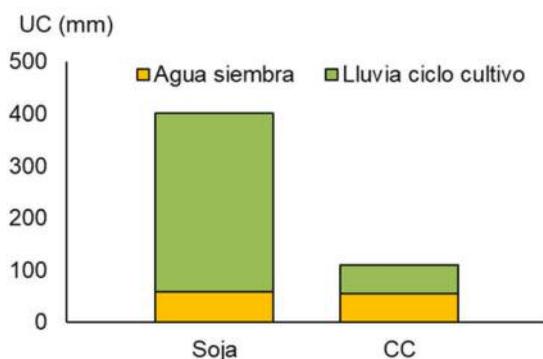


Figura 4: Uso consuntivo promedio (UC) para soja y cultivo de cobertura (CC).

rotación se encontró una mayor cobertura en SR y por ende una reducción en el porcentaje de encostramiento superficial, el cual, varió de un 37% en SC a un 17% en SR (Tabla 3). La infiltración básica (IB) que es una medida de la velocidad de ingreso del agua al perfil del suelo a tasa constante, también fue influenciada positiva y significativamente por la inclusión de gramíneas, incrementándose en un 70% respecto de la soja continua (Tabla 3). La distribución del agua en el perfil del suelo, luego de realizado el ensayo de infiltración, se puede observar en la Foto 5. Se observa que en SR el frente de humedad se extendió a mayor profundidad, lo cual se relaciona con el mejor funcionamiento del sistema poroso y la mayor conductividad hidráulica respecto de SC. Esta mejora en la captación y distribución del agua estaría indicando, al mismo tiempo, una mejora en el acceso al agua almacenada en el

Tabla 3: Cobertura, encostramiento, densidad aparente (DA), densidad aparente máxima (DAM), infiltración básica (IB), conductividad hidráulica (K), porosidad total (PT), en el cultivo de soja continua (SC), soja en rotación (R).

	SC	SR
Cobertura %	46	64
Encostramiento %	37	17
DA (gr/cm ³)	1,25	1,23
DAM (gr/cm ³)	1,42	1,38
IB (mm/min)	0,6	1,1
K (cm/h)	7,9	11,7
Raíces deformadas (%)	30	19

suelo (y seguramente nutrientes) por parte de los cultivos. Esto podría explicar en parte las diferencias de rendimiento registradas.

Por otra parte, se puede inferir que las gramíneas fueron efectivas en incrementar la porosidad en los primeros 10 cm del perfil, la cual se correspondió con una mayor conductividad hidráulica (K). Esta variable presentó valores inferiores bajo soja continua respecto de soja en rotación. Los resultados obtenidos también mostraron que los valores de K presentaron menor coeficiente de variación en la rotación con gramíneas, respecto a soja continua.

Los valores de densidad aparente y densidad aparente máxima (obtenida mediante test Proctor) fueron mayores en soja continua, con respecto a los valores hallados en soja en rotación (Tabla 3).

Durante la cosecha de soja en el año 2020 se



Foto 5: Imagen del perfil de suelo luego de medición de infiltración de agua, a) fecha de quema del cultivo de cobertura en soja rotación y b) barbecho en soja continua.



Foto 6: Evaluación de crecimiento de raíces en soja en rotación y soja continua.

evaluó el crecimiento de raíces en ambas rotaciones. Asociado a un mejor ambiente edáfico en SR se comprobó que el 19% de las mismas presentaron un crecimiento normal, mientras que, para SC el 30% de las raíces observadas tuvieron problemas para explorar el perfil del suelo y consecuentemente para el uso de agua y nutrientes (Foto 6). Al analizar las relaciones entre algunos indicadores físico-hídricos se comprobó estrecha relación entre los mismos: K del estrato superficial e infiltración ($R^2=0,93$) y entre densidad aparente e infiltración ($R^2= -0,79$), encostramiento e infiltración ($R^2= -0,80$). Como se expresó anteriormente, estos cambios y relaciones entre propiedades edáficas permiten inferir sobre una mejora en los procesos de captación, almacenaje y uso del agua. Cambios positivos bajo SR pero que en cierta manera resultan insuficientes si tenemos en cuenta que aún se registran cierto porcentaje de encostramiento y de raíces limitadas en su crecimiento.

La implementación de prácticas conservacionistas en regiones semiáridas resulta fundamental debido a la fragilidad de los suelos y su menor resiliencia respecto de climas más húmedos (Fultz et al., 2013; Hevia et al., 2003). Covas (1989) señaló que la rotación con pasturas perennes alternado por iguales periodos con cultivos anuales, es la base para preservar la productividad de los suelos de la "Pampa Semiárida". Puede inferirse que durante el periodo de pasturas perennes nos acercamos al "método de la naturaleza" y recuperamos fertilidad (Bono y Fagioli, 1991). Luego, durante el periodo de cultivos anuales utilizamos parte de esa fertilidad con mayor o menor intensidad dependiendo del sistema de labranza y de las especies que integran la rotación.

Efecto acumulado de 5 años de CC, sobre la materia orgánica total y la fracción lábil

A fin de evaluar el efecto acumulado de incluir CC en la rotación se presentan en la Tabla 4 los contenidos de materia orgánica total (MOT) y joven (MOJ) en los primeros 5 y 20 cm de profundidad. El valor encontrado en el contenido de MOT al inicio de la experiencia (año 2009) fue similar al medido en el año 2017 en 0-20 cm de profundidad. En el muestreo del año 2017, se observó que los contenidos de MOT y MOJ en el suelo bajo SC y SR fueron similares tanto en 0-5 como en 0-20 cm. De estos resultados se desprende que la inclusión de CC durante 6 años no logró aumentar los contenidos de materia orgánica. No obstante, luego de 10 años de efectos acumulados de gramíneas (9 años de CC y 1 año de maíz), se comprobó en SR que el contenido de MOT aumentó 0,4 %, mientras que en SC el contenido de MO fue similar (1,87%) al valor inicial (2009). Para 0-5 cm de profundidad, teniendo en cuenta el año 2017 y 2021, tanto SC y SR lograron aumentar 0,11 y 1,03%, respectivamente.

De la Tabla 4 se desprende que para suelos con 57% de arcilla + limo resultan adecuados contenidos de MO superiores a 2,5% ($IMO > 4,5$) para contar con condiciones físicas que no limiten de manera importante el uso del agua. En el suelo bajo estudio, al tener un valor de IMO de 3,3 (muy bajo) y condiciones físicas que limitan el adecuado uso de los recursos, probablemente 5 años de CC resulten insuficientes para incrementar los contenidos de MO de manera significativa, como lo podrían hacer pasturas perennes. Algunos estudios concuerdan con nuestros resultados ya que comprobaron que fueron necesarios más de 6 años para registrar influencia positiva de los CC. En los capítulos 9 y 10 trataremos sobre los efectos

Año	MOT (%)		MOJ (%)	
	SC	SR	SC	SR
0-20 cm				
2009	1,87	1,87	sd	sd
2017	1,89 A	1,88 A	0,51 A	0,53 A
2021	1,87 B	2,27 A		
0-5 cm				
2009	sd	sd	sd	sd
2017	1,93 A	1,94 A	0,59 A	0,60 A
2021	2,04 B	2,97 A		

Tabla 4: Materia orgánica total (MOT) y joven (MOJ) en el suelo bajo la rotación soja (SC) y soja en rotación con cultivo de cobertura (SR). Letras diferentes indican diferencias significativas entre secuencia para cada uno de las variables y profundidades evaluadas ($p < 0,10$). Sin dato: sd.

tos de las pasturas perennes, que resultan claves por sus efectos sobre propiedades del suelo. En base a lo expuesto es necesario tener en cuenta, al elaborar estrategias de manejo buscando ciertos efectos, la condición inicial de los suelos. Sin dudas que la contribución de los CC será menor en suelos cuya condición inicial sea muy limitante. Estudios en la región han encontrado un valor de 4,5 considerado como IMO umbral, que condiciona la productividad de los cultivos. Suelos con menores valores al umbral, principalmente con importantes contenidos de limos y arenas finas, frecuentemente presentan problemas de estructura, densificación con pérdida de macroporosidad condicionando no solo la captación del agua de las precipitaciones y el uso eficiente de las mismas sino también la eficiencia en la captura de carbono por parte de los cultivos agrícolas (Quiroga et al., 2006). Probablemente debido al valor bajo de IMO (3,3), es que 5 años de CC no resulten suficientes para aumentar los contenidos de MO. Se desconoce y plantean interrogantes de cuántos años serán suficientes y si verdaderamente podrán elevar los CC los contenidos de MO en suelos con más de 50% de arcilla + limo que presentan cierto grado de degradación en sus propiedades físicas.

En la Región Semiárida Pampeana, los cultivos anuales en secuencias agrícolas continuas con alta incidencia de oleaginosas no serían suficientemente efectivos en mantener y/o aumentar los niveles de materia orgánica. En cambio, las rotaciones mixtas (5 años de agricultura-5 años de pasturas perennes) resultarían más efectivas para recuperar y/o mantener adecuadas condiciones físicas de los suelos y además aumentar los contenidos de MOT y MOJ (Fernández et al., 2020).

Consideraciones Finales

El efecto positivo de incluir gramíneas en la rotación se evidenció sobre las propiedades físico-hídricas permitiendo incidir sobre una mayor eficiencia en los procesos de captación, almacenaje y uso del agua que han dado lugar a un mayor rendimiento del cultivo de renta.

El ensayo de larga duración demostró que después de 5 años de inclusión de cultivos de cobertura en la rotación con soja no hubo efecto positivo sobre los contenidos de MOT y MOJ. No obstante, sí se encontró mayor contenido de MOT luego de 10 años de utilización de gramíneas (9 años de CC y 1 año maíz) en la rotación.

A partir de estos resultados parciales surgen una serie de interrogantes. Por un lado, se infiere que, limitado por las condiciones iniciales, se requiere de una mayor cantidad de años para incidir significativamente sobre las fracciones orgánicas mediante la inclusión de CC. Alcanzado cierto grado de recuperación en algunas propiedades físicas (ej. menor encostramiento, mayor infiltración), existe interrogante de ¿cuánto dura este efecto? y ¿con qué frecuencia deben incluirse cultivos de cobertura en la rotación? para mantener los niveles alcanzados. Las pasturas perennes son más eficientes para recuperar este tipo de suelos? ¿La complementación de descompactador mecánico y CC puede ser una estrategia para modificar más rápidamente la condición física de estos suelos?

Para dar respuesta a parte de estos interrogantes que generan gran preocupación entre los productores y colegas de diferentes regiones del país, se han establecido una serie de ensayos de “descompactación” en una transecta edafoclimática norte-sur de 400 km abarcando desde B Larroude, Trili, Trenal, Anguil y Guatraché. El principal objetivo que se persigue es evaluar la posibilidad que

diferentes estrategias de manejo como descompactador mecánico, descompactador biológico (cultivos de cobertura), descompactador mecánico + cultivos de cobertura, permiten revertir la compactación (perdida de poros) /densificación. En general no existen estudios que integren diferentes prácticas/manejos para la recuperación de suelos compactados de textura franco-arenosa a franca de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana.

Parte de estos resultados se encuentran publicados en:

Fernández R, C Álvarez, E Eggmann Owen y A

Quiroga. Efecto del uso de cultivo de cobertura en una secuencia de soja continua en la Región Semiárida Pampeana. 2020. SEMIÁRIDA 30:37-49. DOI:[http://dx.doi.org/10.19137/semiari-da.2020\(02\).3749](http://dx.doi.org/10.19137/semiari-da.2020(02).3749).

Fernández R, Daniel Fernández, Ileana Frasier, Mauricio Uhaldegaray, Agustín Oderiz, Eric Sherger y Alberto Quiroga. 2017. Importancia de las gramíneas en secuencias agrícolas con alta incidencia de oleaginosas en la Región Semiárida Pampeana. Simposio IPNI-Asociación Civil Fertilizar. Actas.

CAPÍTULO 9

Producción, calidad y eficiencia en el uso del agua de pasturas perennes en rotación. Respuesta a la fertilización

Fernández Romina¹, Scherger Eric², Uhaldegaray Mauricio³, Oderiz Agustín², Frasier Ileana¹, Quiroga Alberto^{1 4}

1 INTA, 2 Ex becario INTA, 3 Becario INTA, 4 FA-UNLPam

Experiencia que se lleva a cabo en EEA INTA Anguil

Son escasos los estudios que muestran efectos de pasturas perennes sobre propiedades de suelos en planteos de siembra directa continua. Las principales contribuciones fueron realizadas durante la década de los '80 y '90, donde las pasturas perennes alternaban por igual período (4 años) con cultivos anuales establecidos en siembra convencional. Además, en regiones semiáridas/subhúmedas han sido escasos los recursos humanos trabajando sobre las relaciones suelo-pastura. Desde la EEA INTA Anguil se han conducido recientemente dos experiencias con pasturas perennes, una localizada sobre suelo de textura arenosa franca con influencia de napa (ambiente característico de planicie arenosa) y otra conducida sobre suelo franco con presencia de tosca a 1m (característico de planicies con tosca). Es por ello que, previo a la presentación de resultados de ambas experiencias analizaremos algunos procesos influenciados por el manejo (principalmente rotación), reconociendo los principales factores que lo condicionan. Entre ellos podemos citar: agua y secuencia de cultivos; materia orgánica y rotación; densificación de suelos.

Contenido del capítulo

- Importancia de las pasturas perennes en la rotación
 - Agua y secuencia de cultivos
 - Materia orgánica y rotación
 - Densificación de suelos
- Resultados de experiencias con pasturas perennes

- En suelo de la planicie con tosca
- En suelo de la planicie medanosa
- Consideraciones finales

Importancia de las pasturas perennes en la rotación

Las pasturas perennes han sido muy importantes en la recuperación de muchos suelos de la región pampeana. Para reconocer y comprender algunos procesos que dan lugar a una mejor condición edáfica puede ser de ayuda observar "el método de la naturaleza". Es decir, por qué, sin intervención del hombre, la vegetación que se impuso en estos ambientes fue polifítica, perenne y con alta proporción de gramíneas. Las principales características de la vegetación natural son: consumen agua prácticamente todo el año, poseen un sistema de raíces muy desarrollado que les permite extraer agua en profundidad (registros que se llevaron durante la década de los 80' en EEA Anguil en *Eragrosti curvula* permitieron reconocer profundidad de extracción de recursos como P de hasta los 5 mts), toleran periodos de déficit y excesos hídricos, entre otras. Las raíces pueden alcanzar entre 2 a 5 m y la relación raíz/parte aérea variar entre 3 y 6. En gran parte de la región esta estrategia ha sido reemplazada por cultivos agrícolas principalmente de verano (Feninger, 2019) que exploran un menor espesor de suelo (1,5 a 2m) y donde la relación raíz/parte aérea se aproxima a 1, haciéndolos más sensibles a cambios en el régimen hídrico. Por otra parte, la biomasa total en el primer metro del perfil varía ampliamente entre ambos sistemas, donde bajo vegetación natural es frecuente superar las 15 tn/ha mientras que en suelos cultivados normal-

mente son inferiores a 5 tn/ha. Por ello, al analizar los sistemas actuales de producción (agrícolas y también ganaderos), debemos preguntarnos si ¿los cambios que hemos generado compromete la sostenibilidad de los sistemas de producción?, y ¿Qué podemos hacer para mitigar esos efectos negativos?. A continuación, analizaremos algunos procesos influenciados por el manejo (principalmente rotación), reconociendo los principales factores que lo condicionan.

- *Agua y secuencia de cultivos:*

Cuando se analiza la gestión del agua en un sistema de producción de regiones semiáridas y subhúmedas, en primer lugar, es conveniente considerar la rotación de cultivos como una secuencia de usos consuntivos que se suceden en el tiempo sobre una misma superficie. En segundo lugar, durante el ciclo de cada cultivo resulta necesario considerar cuál es la probabilidad de que las precipitaciones cubran los requerimientos hídricos del mismo. En una tercera instancia, es necesario evaluar si la diferencia entre las precipitaciones (oferta) y los requerimientos del cultivo (demanda) puede ser cubierta con el agua almacenada en el suelo en periodos previos a la siembra (barbecho). Esto dependerá, entre otros factores de las condiciones de captación del agua (macroporosidad dependiente de materia orgánica y estructura), de la capacidad de retención de agua (dependiente de la textura y espesor del suelo), y también de la profundidad efectiva de las raíces del cultivo en cuestión. De este primer análisis surgiría una idea bastante aproximada sobre la viabilidad del sistema de producción implementado por el productor y la significativa contribución de las pasturas perennes al incidir positivamente sobre la macroporosidad.

En regiones húmedas puede darse una situación inversa en la medida que las precipitaciones excedan los usos consuntivos. Mientras una rotación que incluye pasturas perennes puede consumir entre 800-1000 mm al año, una secuencia que incluya un cultivo por año (ej. monocultura soja) puede consumir la mitad. Ej. llueve 1000 y consumo 500 mm, sino hay escurrimiento hacia otras zonas es posible que aumente la recarga y tengamos las napas freáticas más cercanas a la superficie, representando un riesgo por exceso. Por ello en estos ambientes, se reconoce también la

importante contribución de las pasturas perennes que limitan la recarga de agua y con ello el ascenso de las napas freáticas y de sales en superficie y perfil.

- *Materia orgánica y rotación:*

La interacción de la materia orgánica con la fracción mineral del suelo es responsable del ambiente edáfico en el que se desarrollan las raíces de las plantas y la actividad biológica. Asimismo, es responsable de controlar la magnitud y el sentido de la mayoría de los procesos físicos, químicos y biológicos que se producen en él. De la cantidad y de las características de la materia orgánica dependen, en gran medida, las propiedades y el mantenimiento del complejo de poros que interviene sobre la dinámica del agua y aire dentro y a través de su masa, especialmente en los horizontes superficiales. Dependen también de ellas una buena parte de la provisión de nutrientes a plantas y otros organismos, la actividad y diversidad biológicas, y la capacidad de resistir disturbios y de recomponerse luego de ellos (resiliencia).

Las pasturas perennes (gramíneas y leguminosas, solas o en mezclas) han sido claves para mantener un nivel de equilibrio aparente del carbono edáfico de medio-a alto. Evaluaciones realizadas en suelos del Este de La Pampa muestran contenidos altos en suelos vírgenes (promedio 5%), medios en suelos bajo rotación (2,20%) y bajos en suelos agrícolas con baja proporción de gramíneas (1,40%). Estos valores pueden modificarse por efecto de las labranzas, cantidad de residuos aportados, secuencia de cultivos, índice de cosecha de los cultivares utilizados, por el sistema de cosecha de forraje (pastoril, mecánico). La intensificación de la "cosecha mecánica" y el traslado del forraje a corrales es hoy una gran preocupación, por la intensificación en la extracción de algunos nutrientes y la escasa cobertura remanente, que favorece los procesos de erosión y acentúa la pérdida de materia orgánica. Las consecuencias en el mediano plazo, en función de la textura del suelo, pueden ser: pérdida de macroporosidad, menor infiltración, mayor encharcamiento y encostramiento, y en algunos casos, cambios en el pH por disminución de la saturación de bases del complejo de intercambio. De acuerdo a la textura, condiciones climáticas y frecuencia de las prácticas,

estos procesos ocurren en “tiempos variables de efectos acumulados”.

Las rotaciones mixtas, con períodos bajo cultivos de cosecha alternando con períodos de pasturas (sistemas ganaderos pastoriles), ha sido la forma de producción tradicional en gran parte de la Región Pampeana y uno de los motivos por los cuales se mantuvo durante mucho tiempo la elevada productividad de los suelos de la región. Al intensificarse el corte para rollo o silo de las pasturas la pregunta es: ¿se pierden los efectos benéficos sobre distintas propiedades edáficas?. En este sentido Studdert (2017) señala que las pasturas, especialmente cuando comprenden gramíneas entre las especies intervinientes, ejercen en general un efecto beneficioso sobre la dinámica de la materia orgánica y, colateralmente, sobre las propiedades físicas superficiales del suelo. La densa y voluminosa masa de raíces con crecimiento continuo durante, por lo general, períodos de más de un año, acompañadas por un crecimiento continuo de biomasa aérea que independientemente del uso que se le dé, hace un aporte constante de material carbonado que se reciclará en el suelo. Además de la ausencia de laboreo por un tiempo relativamente prolongado, son los principales responsables de su efecto recuperador. Así, el aumento de la frecuencia de pasturas en la rotación, incrementa el tiempo de ocupación por vegetación viva y tiende a mejorar el retorno de carbono al suelo. Entonces, si bien puede inferirse

que los efectos sobre propiedades físicas y biológicas pueden seguir siendo positivos a pesar del “pastoreo mecánico”, lo que si queda claro es que la extracción de bases (calcio, magnesio y potasio) se triplica respecto a sistemas pastoriles tradicionales. Esto puede llevarnos a la necesidad de tener que incorporar enmiendas o bien a redistribuir los efluentes y/o nutrientes acumulados en corrales para mitigar los efectos negativos. En caso de tener necesidad de restituir bases para corregir pH es necesario tener en cuenta los porcentajes de saturación de los distintos cationes y la relación entre ellos (ejemplo relación Ca/Mg). Este análisis puede condicionar el tipo de enmienda a utilizar.

• *Densificación de suelos*

La disminución en los contenidos de materia orgánica da lugar a una menor estabilidad de los agregados, parte de las partículas minerales (principalmente limos) se desprenden de la partícula compuesta y en esas condiciones pueden “tapar cañería”. Es decir, reducir la cantidad de poros de mayor tamaño y con ello la velocidad de entrada de agua al suelo. Cuando este proceso tiene lugar es normal observar encostramiento superficial. En algunos suelos con buena proporción de macroporos, una lluvia de 30 mm puede entrar en el perfil del suelo en 20 minutos, mientras que en otra condición edáfica (con pérdida de macroporos) puede requerir 90 minutos. Si somos benefi-

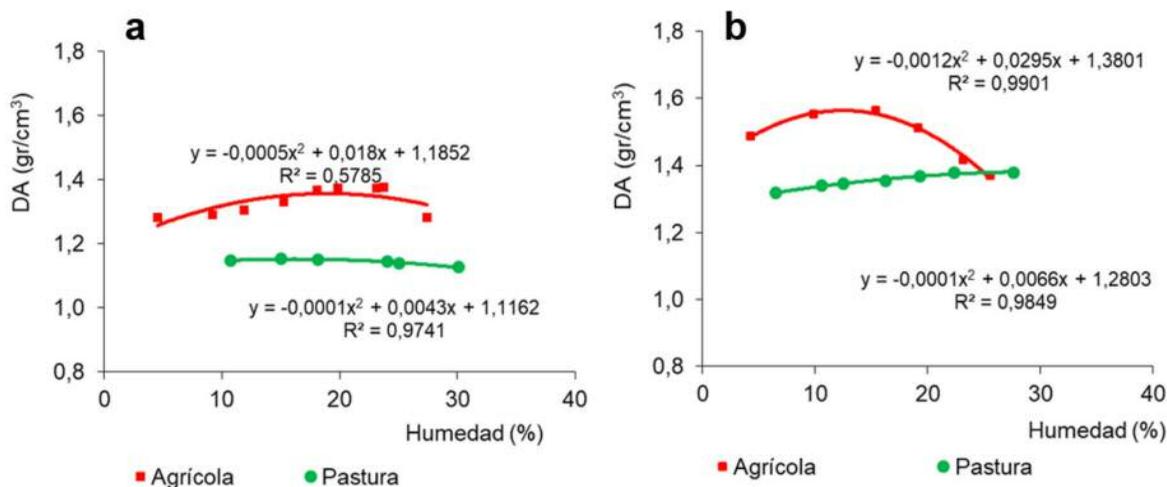


Figura 1: Variación de la densidad aparente en ensayos de compactación realizados sobre suelos con distintas prácticas de uso (agrícola con predominio de soja y pastura) y distintos contenidos de humedad, a) Datos correspondientes a 9 de Julio y b) datos correspondientes a Bolívar. Los mismos forman parte de una serie de NODOS de experimentación distribuidos en distintos ambientes de la Región Pampeana.

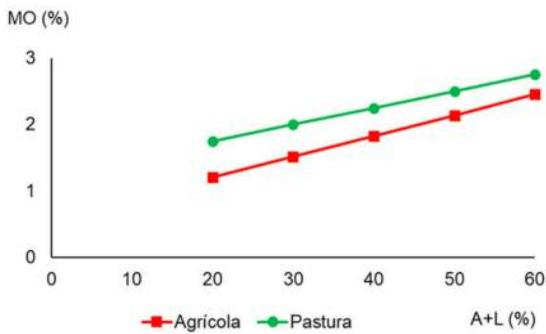


Figura 2: Influencia del manejo sobre los contenidos de MO en suelos de distintas granulometrías.

ciados por el relieve y la pendiente no es importante habrá encharcamiento, pero si hay pendiente tendremos escurrimiento y erosión hídrica.

Una forma de conocer el comportamiento de los suelos es someterlos a presión, cuando se encuentran con distintos estados hídricos y comprobar cómo va cambiando su porosidad, es decir cómo se incrementa la densidad aparente. Estos ensayos se realizan en laboratorio sobre muestras de suelos extraídas de los primeros 20 cm de cada lote o ambiente a estudiar. Con los datos obtenidos se construyen curvas donde se pueden comparar los efectos de distintos manejos. En la Figura 1 se comparan suelos bajo gramíneas perennes y bajo agricultura continua con mayor frecuencia de soja. En las distintas zonas (9 de Julio, Pehuajó, Bolívar y Anguil) se comprobó una mayor porosidad en los suelos bajo pasturas. Por ej. cuando el suelo de Bolívar (San Carlos, 63 % de arena) fue sometido a presión con un contenido de humedad del 13% (humedad crítica), la porosi-

dad total del suelo bajo pastura fue de 49,3% y bajo agricultura del 41%. Es importante resaltar que estos cambios en la porosidad total significan principalmente pérdidas de macroporosidad, y consecuentemente de infiltración. El suelo con pastura presentaba contenidos de 2.05 % de materia orgánica mientras que en el agrícola resultó de 1 %.

En base a lo expuesto, la recuperación de suelos compactados comprende necesariamente la recuperación de los contenidos de materia orgánica y consecuentemente la recuperación de parámetros estructurales determinantes de la macroporosidad, principalmente de la porosidad mayor de 100 µm de diámetro. En la Figura 2 se muestran estas diferencias entre suelos de distinta textura, bajo agricultura y bajo pastura.

La Figura 2 pone en evidencia que cuando se realizan comparaciones y/o se pretenden tomar decisiones en base a algún indicador edáfico es necesario considerar la composición granulométrica del suelo (tal lo planteado en el capítulo 1). De esta figura también se desprende que 2% de materia orgánica puede ser un valor bajo o alto dependiendo de la textura. Es decir, hay suelos que con 2% de materia orgánica se compactan y otros no. Lo mismo si consideramos el contenido de Calcio, puede resultar que 5 meq /100 gr sean suficientes para los requerimientos de una alfalfa en un suelo, mientras que en otro suelo hay deficiencia severa de este nutriente.

Asociado con la disminución en los contenidos de las fracciones más lábiles de materia orgánica y de la estabilidad estructural, en los suelos agrícola-

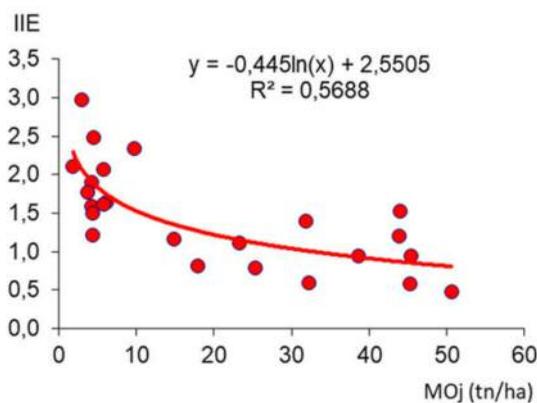


Figura 3: Variación de la inestabilidad estructural (IIE) en función del contenido de materia orgánica joven (MOj) en agregados de 2 a 8 mm.

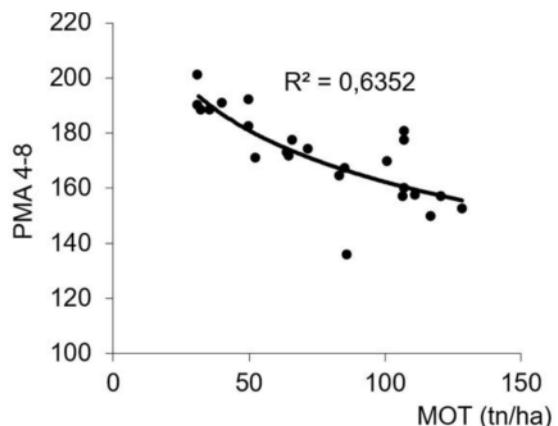


Figura 4: Peso de mil de agregados (PMA, 4-8mm) influenciados por los contenidos de materia orgánica total (MOT).

las se registraron incrementos en el peso medio de los agregados (lo que denota menor porosidad interna). El aumento en la densidad resultó de 16, 17 y 13% en agregados de 2-3, 3-4 y 4-8 mm de diámetro. Las Figuras 3 y 4 muestran los efectos de cambios en los contenidos de materia orgánica sobre la estabilidad estructural y el peso (densidad) de los agregados, respectivamente.

Luego de esta introducción a distintos procesos influenciados por el manejo, principalmente rotaciones de cultivos, se analizarán los resultados obtenidos en los ensayos de pasturas establecidos a) sobre suelo de la planicie con tosca y b) sobre suelo de la planicie medanosa.

Resultados experiencias con pasturas perennes

Suelo de la Planicie con Tosca

En un *Paleustol petrocálcico* ubicado en la EEA INTA Anguil se sembraron dos pasturas bifíticas, compuestas por Festuca (*Festuca arundinacea* var. Flecha) y Agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum* var. Hulk) (10 y 17 kg/ha respectivamente), y otra con Alfalfa (Medicago sativa) y Agropiro (10 y 25 kg/ha respectivamente) en el mes de mayo de 2012. En ambas pasturas, Festuca-Agropiro (FA) (Foto 1) y Agropiro-

Alfalfa (AA) (Foto 2) se establecieron tratamientos de fertilización, que consistieron en: sin aporte de nutrientes (T) y fertilizado (F) con nitrógeno (60 kg/ha), fósforo (20 kg/ha P) y azufre (20 kg/ha). La fertilización se realizó en septiembre del 2012, repitiéndose en abril del 2013, 2014 y 2015.

Durante 4 años se determinó biomasa aérea en las fechas que se detallan a en la Tabla 1.

En cada momento de corte de biomasa se determinó el contenido de proteína a fin de evaluar la calidad del forraje. Además, se muestreó suelo para determinar el contenido de humedad cada 20 cm hasta la presencia del manto calcáreo (120 cm de profundidad), para calcular el uso consuntivo promedio en cada pastura.

La producción de Festuca-Agropiro y de Agropiro-Alfalfa durante el primer año de crecimiento superó ampliamente al resto de los años evaluados (Figura 5). En la pastura de Festuca-Agropiro la disminución en la producción varió de acuerdo con el nivel nutricional y con el año (precipitaciones/temperaturas/otro componente climático?). La caída en la producción en el segundo año con respecto al primero fue muy importante (del 70 y 49% en T y F respectivamente). Entre el segundo y tercer año también se evidenció una

Año	Fecha de cortes			
	1º corte	2º corte	3º corte	4º corte
1 er	24/10/2012	28/11/2012	22/12/013	09/05/2013
2 do	24/10/2013	10/12/2013	10/03/2014	05/06/2014
3 er	08/10/2014	21/11/2014	26/05/2015	
4 to	30/09/2015	09/12/2015	08/04/2016	

Tabla 1: Fecha de cortes en los cuatro años de evaluación



Foto 1: Festuca- Agropiro, izquierda testigo (sin fertilizante), derecha fertilizada con NPS



Foto 2: Agropiro-Alfalfa, derecha testigo (sin fertilizante), izquierda fertilizada con NPS

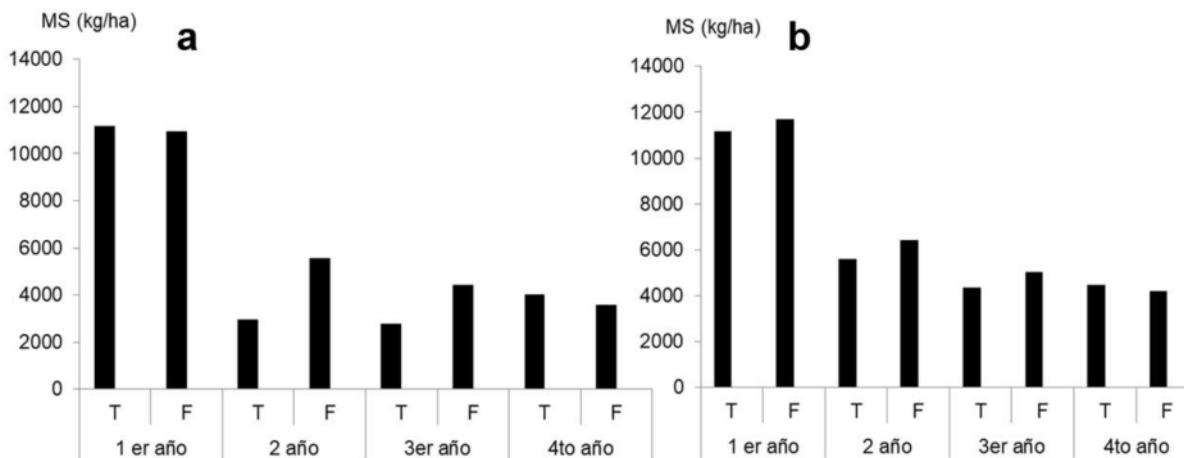


Figura 5: Producción de materia seca (MS) de testigo (T) y fertilizado (F) en los cuatro años del ciclo de la pastura en a) Festuca- Agropiro y b) Agropiro-Alfalfa.

caída en la producción, mientras que, en el cuarto año, la productividad de la pastura fertilizada mantuvo valores similares al año anterior y el testigo demostró un leve incremento (Figura 5 a). Para la asociación Agropiro-Alfalfa la producción de biomasa fue independiente del nivel nutricional. En promedio, la caída en la producción de materia seca entre el primer y segundo año fue del 50%, mientras que entre el segundo y tercer año fue del 30%, estabilizándose hacia el cuarto año (Figura 5b).

Al analizar la producción acumulada de Festuca-Agropiro, se observó que la respuesta a la fertilización fue significativa y que la misma se hizo evidente a partir de los 584 días desde la siembra de la pastura (Figura 6 a). Además, se pudo observar que al tratamiento T tardó 426 días más que el F para acumular la misma canti-

dad de forraje. Si bien el nitrógeno es un factor limitante, tal como se ha señalado anteriormente (Mills et al., 2009), la respuesta a la fertilización en la consociación Festuca-Agropiro fue más baja que las que se encontraron para Pasto ovillo en la misma región (Vallejo et al., 2002).

En Agropiro-Alfalfa no hubo respuesta a la fertilización en ninguno de los cuatro años del estudio (Figura 5 b), y tampoco fue significativa la diferencia en producción acumulada de biomasa entre el testigo y el fertilizado (Figura 6 b). Esta falta de respuesta podría explicarse por la transferencia de nitrógeno desde la leguminosa hacia la gramínea, provocando un impacto en la producción en el tratamiento sin fertilización (Louarn et al., 2015).

En el caso de nuestro estudio la acumulación de forraje fue mayor en primavera, mientras que

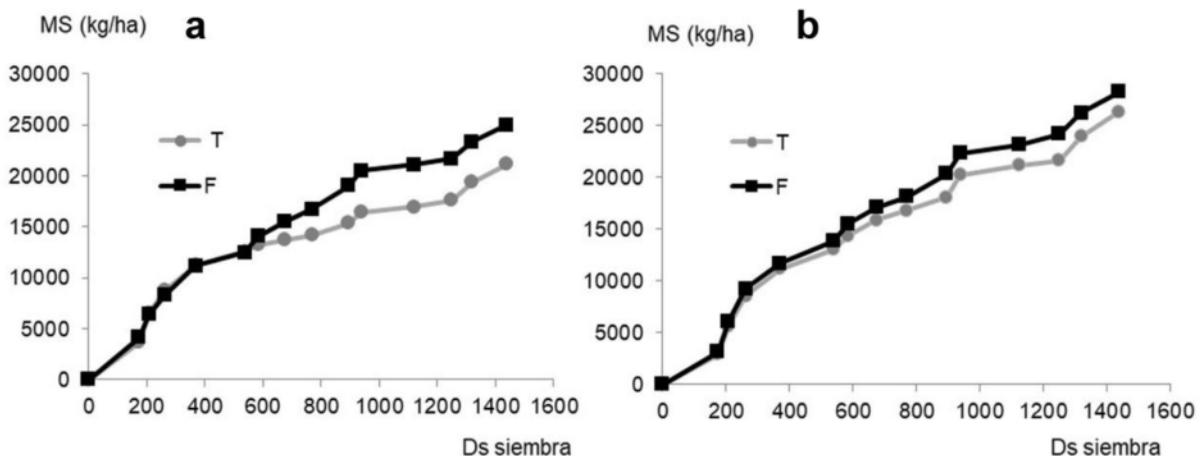


Figura 6: Producción de materia seca (MS) de testigo (T) y fertilizado (F) desde siembra hasta 1438 días en a) Festuca- Agropiro y b) Agropiro-Alfalfa.

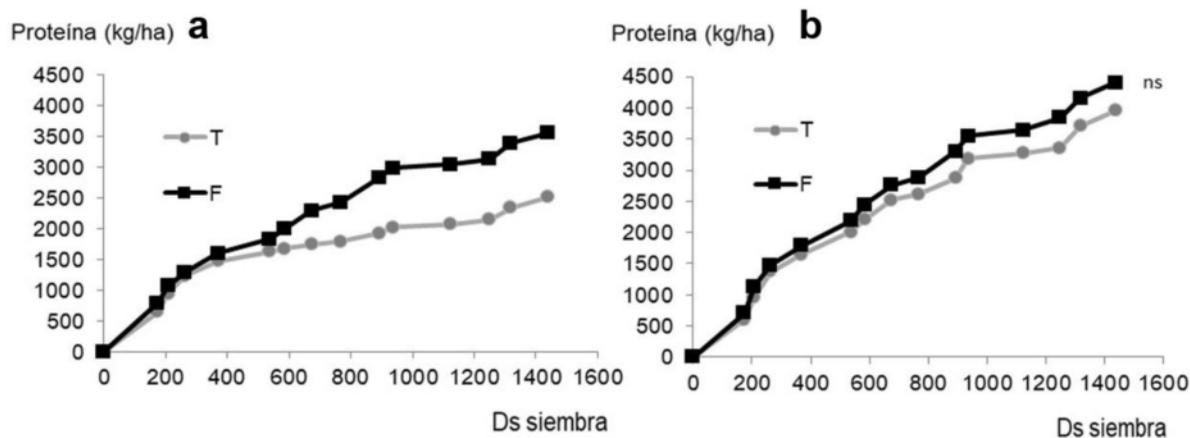


Figura 7: Contenido de proteína en la materia seca de testigo (T) y fertilizado (F) desde la siembra hasta los 1319 días en a) Festuca-Agropiro y b) Agropiro-Alfalfa.

en las estaciones de otoño y verano las productividades fueron similares y más bajas. Los porcentajes de acumulación de materia seca fueron de 62, 13 y 25% en Festuca-Agropiro, mientras que en Agropiro- Alfalfa fueron de 59, 17 y 24% para primavera, verano y otoño respectivamente.

Con respecto a la calidad, se observó que en términos de producción de proteína en kg/ha la consociación de alfalfa con agropiro fue superior a la pastura de gramíneas. Esta última presentó mayor calidad cuando fue fertilizada, lográndose 1.115 kg/ha de proteína más con respecto a T. El efecto de la fertilización fue considerablemente menor en Agropiro-Alfalfa con una diferencia entre T y F de 467 kg/ha (Figura 7).

En promedio, la pastura Festuca-Agropiro produjo por día 1,8 y 2,6 kg/ha de proteína para T y F respectivamente, mientras que Agropiro-Alfalfa presentó valores mayores de 2,8 y 3,1 kg/ha de proteína para T y F respectivamente.

El costo hídrico para la producción de este indicador de calidad para las pastura Festuca-Agropiro fue 1,07 kg de proteína/ ha. mm y en Agropiro-Alfalfa 1,51 kg de proteína/ ha. mm.

Resulta importante destacar que si bien la respuesta a la fertilización en cuanto a producción de forraje se constató aproximadamente a los 584 días desde la siembra de la pastura (Figura 2), la mayor producción de proteína debido a la fertilización resultó evidente a los 369 días de la siembra. Lo cual indicaría que el efecto de la fertilización se hizo presente primero en la calidad del forraje producido y luego en la cantidad del mismo.

La EUA y el UC han sido evaluados en rotaciones basadas en cultivos agrícolas de la región semiárida pampeana (Fernández et al., 2012; Noellemeyer et al., 2013; Civalero et al., 2014), pero poca información existe en relación a pasturas.

Ambas pasturas tuvieron similares UC (promedios de 781 mm para Festuca-Agropiro y de 758 mm para Agropiro-Alfalfa en los cuatro años), y en promedio la EUA fue superior en Agropiro-Alfalfa (10,4 kg MS/ha.mm) con respecto a Festuca-Agropiro (8,5 kg MS/ha.mm). No se encontró relación entre la producción de materia seca por corte y las precipitaciones ocurridas entre cada corte, lo cual reflejó la importancia de considerar el suelo, su textura y profundidad como factores importantes en la transferencia del agua de las precipitaciones entre distintos periodos.

La EUA fue superior el primer año evidenciando disminuciones progresivas año a año (Tabla 2). Esta tendencia podría estar asociada a las mermas en la productividad de la pastura, ya que los UC, si bien variaron, no mostraron una tendencia de disminución similar a la producción de materia seca.

Suelo de la Planicie Medanosa

En un suelo Entisol ubicado en la EEA INTA Anguil se sembró (28/4/12) Festuca arundinacea (festuca cv taita) y Bromus parodii (cebadilla intermedia) a una densidad de 10 y 14 kg/ha respectivamente, Foto 3. Se establecieron 2 tratamientos: sin fertilización (T) y fertilizado (F) con nitrógeno (60 kg/ha), fósforo (20 kg/ha) y azufre (20

Año	FA		AA	
	UC (mm)	EUA (kgMS/ha.mm)	UC (mm)	EUA (kgMS/ha.mm)
1er año	757	15,9	731	16,1
2do año	597	9	619	11
3er año	878	5,3	889	7,9
4to año	892	4,4	792	7,8
Promedio	781 A	8,5 B	758 B	10,7 A

Tabla 2: Uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) en Festuca-Agropiro (FA) y Agropiro-Alfalfa (AA).



Foto 3: Imagen tomada en 2012, al inicio de la experiencia. Derecha cebadilla, izquierda festuca continental.

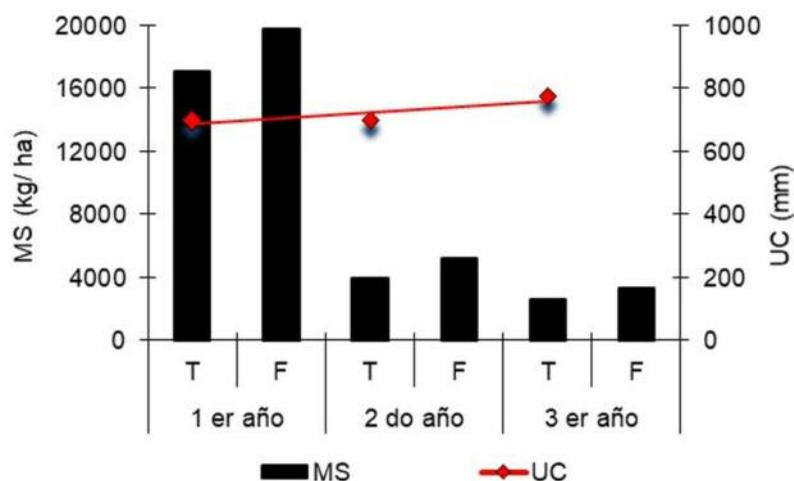


Figura 8: Producción de materia seca (MS) durante los 3 años de ensayo en cebadilla en los tratamientos sin fertilizante (T) y fertilizado (F). Uso consuntivo (UC) promedio de los tratamientos.

kg/ha). La fertilización se realizó en septiembre del 2012, y en abril del 2013, 2014 y 2015. Durante 3 años para cebadilla y 5 años para festuca se determinó la biomasa aérea, para la determinación de materia seca (MS). En cada corte de biomasa se evaluó el contenido de humedad del suelo cada 20 cm hasta los 200 cm de profundidad. Se determinó el uso consuntivo (UC) de agua

en mm promedio entre los tratamientos T y F a partir de las precipitaciones y el cambio del contenido de agua almacenada en el suelo entre los momentos de corte de la biomasa, y la eficiencia en el uso del agua (EUA) relacionando la MS y UC.

La biomasa acumulada de cebadilla durante los 3 años presentes en la rotación fue 23.513 y 28.262 kgMS/ha para el tratamiento testigo y fer-

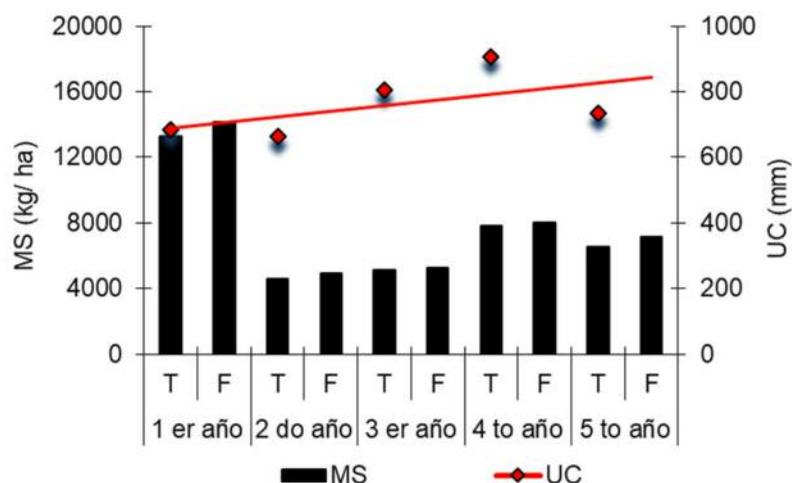


Figura 9: Producción de materia seca (MS) durante los 5 años de ensayo en festuca en los tratamientos sin fertilizante (T) y fertilizado (F). Uso consuntivo (UC) promedio de los tratamientos.

tilizado, respectivamente. Debido a que la producción disminuyó considerablemente sumado a pérdidas en el número de plantas, se eliminó de la rotación.

La producción de festuca al tercer año fue menor con respecto a cebadilla (21.753 y 23.757 kg MS/ha para el testigo y fertilizado respectivamente). No obstante, se mantuvo en la rotación durante cinco años, donde la biomasa acumulada fue de 37.456 y 39.124 kg/ha para T y F, respectivamente.

La producción de cebadilla y de festuca durante el 1er año fue muy superior con respecto a la registrada en los siguientes años (Figura 8 y 9). En el caso de la cebadilla la producción de MS respondió a la fertilización en los 3 años, en cambio para festuca la respuesta al agregado del fertilizante fue menos evidente (Figura 9).

En ambas especies el UC fue similar entre años, lo que implicó una EUA diferente entre el 1er año y los restantes. Al respecto, la EUA de la festuca en el primer año fue 25 kg MS/ha.mm ha y para el resto de los años se encontró entre 7,5 y 9 kg MS/ha.mm, mientras que en cebadilla las eficiencias fueron 26, 8 y 6 kgMS/ha.mm desde el primer al tercer año.

Consideraciones finales

La introducción de pasturas perennes en la rotación resulta clave para mejorar la calidad física y biológica del suelo. Los sistemas mixtos se

adaptan muy bien a ambientes semiáridos, donde, durante el ciclo de pasturas se recupera fertilidad que será aprovechada por los cultivos agrícolas.

De los resultados se desprende que las pasturas en ambos suelos tuvieron una producción elevada durante el primer año, disminuyendo con el tiempo. El año en el cual se instalaron las pasturas fue benigno en relación a precipitaciones, heladas y temperaturas en primavera, lo que impactó positivamente en las cuatro pasturas establecidas en ambos suelos evaluados.

Parte de los resultados presentados en este capítulo se encuentran publicados en:

Fernández, R., I. Frasier, M. Uhaldegaray, A. Oderiz, E. Scherger, A. Quiroga. 2017. Eficiencia en el uso del agua en pasturas en un molisol de la región semiárida pampeana. *Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 27: 19-25.

Fernández, R., Romano, N., Quiroga, A. Producción de festuca y cebadilla en un Entisol de la región semiárida pampeana. 38 Congreso de la Asociación Argentina Producción Animal. Septiembre 2015, Santa Rosa.

Quiroga A.; O.A. Studdert. 2014. Manejo del suelo e intensificación agrícola: agua y materia orgánica, 73-100pp. En: *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.* (Eds H.E Echeverría y F.O. García). Ed INTA, 904pp.

CAPÍTULO 10

Contribución de las pasturas perennes a la sostenibilidad de los sistemas de producción

Fernández Romina¹, Quiroga Alberto^{1 2}

1 INTA, 2 FA-UNLPam

Experiencia conducida en INTA Anguil

En el presente capítulo presentamos un mayor detalle respecto a la metodología utilizada en virtud que, a diferencia con lo que ocurre con las propiedades químicas, son escasos en el país los laboratorios especializados en física de suelos

Distintas prácticas de manejo han influenciado negativamente sobre los niveles alcanzados por propiedades edáficas, comprobándose un importante incremento de la superficie afectada por procesos de degradación en las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. Recuperar materia orgánica, mejorar la estructura, revertir la compactación, mitigar la erosión, excesos hídricos y salinización son principales preocupaciones de los actuales sistemas de producción. En este capítulo compartiremos resultados de una experiencia que trató de cuantificar y reafirmar (en planteos de siembra directa continuos) los aportes que las pasturas pueden realizar sobre distintos atributos del suelo. Se seleccionaron 3 usos diferentes, correspondientes a ensayos de larga duración: 1) pastura permanente de Pasto Llorón considerado como condición del suelo de referencia; 2) pasturas perennes de Festuca+Agropiro y Alfalfa+Agropiro y 3) uso agrícola, bajo secuencia continua de cultivos anuales. Sobre estos usos se determinaron indicadores como, materia orgánica (total, joven y vieja), densidad aparente, densidad aparente máxima, compactación relativa, humedad crítica, porosidad total, macroporosidad, resistencia a la penetración, infiltración, raíces, distribución de agregados, peso de mil agregados, porosidad de agregados, estabilidad estructural y fracción erosionable. Por ser la mayoría indicado-

res que no se determinan con frecuencia en lotes de productores y cuyo análisis normalmente no se realizan en laboratorios privados, brindaremos un mayor detalle sobre la importancia de los mismos al tratarlos en este capítulo.

Contenido del capítulo

- Problema técnico
- Objetivos
- Características de la experiencia
- Resultados
 - Materia orgánica, densidad aparente, porosidad, indicadores de compactación, infiltración, resistencia a la penetración, biomasa de raíces, estructura, valores de referencia.
- Consideraciones finales

Problema técnico

Históricamente la pérdida de carbono orgánico del suelo se ha asociado al uso de sistemas de labranzas y monocultivos con largos periodos de barbechos (Franzluebbbers et al., 1994) lo que ha provocado el deterioro de la condición física de los suelos y el incremento de la superficie afectada por procesos erosivos (Quiroga y Studdert, 2014). La bibliografía plantea que éstas pérdidas de carbono serían del orden del 35 al 56 % en regiones semiáridas, (Zach et al., 2006). Mientras que, en regiones más húmedas se encontrarían entre el 10 al 55% (Burke et al., 1989).

En algunos casos y condicionado por la inclusión de gramíneas en la rotación de cultivos, los planteos en siembra directa (SD) han logrado mantener los niveles de carbono del suelo con respecto al contenido inicial (Fernández et al., 2017). En tanto que, asociado a monocultivos con bajo aportes de

residuos (alta incidencia de oleaginosas) en detrimento de la superficie destinada a pasturas se comprobaron pérdidas de servicios ecosistémicos entre ellos- materia orgánica y degradación física de los suelos (Quiroga et al., 2016)

Una alternativa para reestablecer parte de la calidad del suelo es incrementar los aportes de materia orgánica a partir de la inclusión de pasturas perennes y/o cultivos de cobertura, que permitan incrementar la productividad física del agua proveniente de las precipitaciones en cuanto al aporte de biomasa aérea y radicular (Franzluebbers et al., 2014). Las tradicionales rotaciones entre pasturas y cultivos anuales que caracterizaron los sistemas mixtos permitían alternar ciclos de mayor y menor aporte de carbono al suelo. De esta manera suelos bajo prácticas de uso conservacionistas, generalmente poseen mayor volumen de macroporos (López et al., 2016) debido a la mayor actividad de la fauna edáfica (Logsdon y Kaspar, 1995) y a mayores contenidos de carbono orgánico (Duval et al., 2016). El efecto de la materia orgánica se puede constatar a través de reducción de la densidad aparente y de la resistencia a la penetración, y de incrementos en la infiltración (Franzluebbers, 2002). En relación a estas variables existe abundante información en la bibliografía, pero son escasos los estudios que aborden la caracterización del sistema poroso y su relación con propiedades físico-hídricas del perfil del suelo en general y de los agregados (condición interna) en particular. Al respecto, las propiedades hidráulicas de los agregados del suelo están influenciadas por la estructura de los poros (Horn y Smucker, 2005) y afectan la estabilidad de los agregados. En tal sentido, los agregados estables protegen al suelo de la deformación y forman poros continuos e interconectados (Wiermann y Horn, 2000) aumentando la infiltración de agua de lluvia (Blanco-Canqui y Lal, 2007), reduciendo consecuentemente los escurrimientos y la pérdida de suelo por erosión hídrica. Quiroga et al. (2018) señalaron que la relación causa-efecto entre el manejo del suelo y su calidad puede ser solamente establecida a través de experimentos de larga duración. Por ello, experiencias que acumulen efectos en el tiempo, son esenciales para establecer tendencias en los procesos y proveer datos empíricos necesarios para evaluar la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Se plantearon como objetivos:

- Caracterizar el sistema poroso y establecer relaciones con indicadores físico-hídricos en Paleustoles petrocálcicos influenciados por distintas prácticas de uso.
- Determinar si los indicadores físico-hídricos bajo el planteo mixto de rotación (cultivos anuales-pasturas), se aproximan a los niveles de los indicadores bajo el uso con pastura permanente de gramínea, considerando este suelo como línea de base para suelos francos de la Región Semiárida Pampeana.

Características de la experiencia

El estudio se desarrolló sobre Paleustoles petrocálcicos, ubicados en el sur de la planicie con tosca de la Región Semiárida Pampeana. Se seleccionaron suelos de textura franca, con similar contenido de arcilla, limo y arena (Tabla 1), bajo 3 usos diferentes que corresponden a ensayos de larga duración:

1) Pastura permanente de pasto llorón (*Eragrostis curvula*) con 60 años de efecto acumulado (LL). Este suelo es considerado "línea de base o de referencia" para los indicadores que se relacionan con la calidad física-hídrica y biológica (Fernández et al., 2018).

2) Planteo mixto de producción, con rotación de cultivos anuales y pastura perenne establecidos en siembra directa. Los muestreos fueron efectuados en la fase de pasturas perennes. Esta secuencia comenzó en el año 2006, sobre pastura permanente de pasto llorón, y los cultivos que intervinieron fueron: cultivo de cobertura de centeno (*Secale cereale*) + vicia (*Vicia villosa* ssp. *dasycarpa*), sorgo (*Sorghum bicolor*), maíz (*Zea mays*), girasol (*Helianthus annuus*), cultivo de cobertura centeno, sorgo, girasol, y por último centeno como cultivo de cobertura. El 2/5/2012 se establecieron dos pasturas bifíticas: una de ellas a base de festuca (*Festuca arundinacea* var. Flecha) con Agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum* var. Hulk) (F+A), y la otra de alfalfa (*Medicago sativa*) con Agropiro alargado (A+A).

3) Planteo agrícola (Ag), desde el año 2006 sobre pastura permanente de pasto llorón (de 46 años), se establecieron cultivos en siembra directa no continua que alternaron con laboreo del suelo empleando rastra de discos dobles. En la secuencia de cultivos anuales participaron cultivos de

verano como girasol, soja (*Glicine max*) y cereales de invierno para cosecha como centeno y triticale (*Triticosecale*).

De cada práctica de uso, se tomaron 4 muestras compuestas de suelo de 0-6, 6-12 y 12-18 cm de profundidad, las cuales se secaron a temperatura ambiente y se tamizaron por 2 mm a fin de determinar:

- Contenido de arcilla, limo y arena, mediante el método de Pipeta.
- Fraccionamiento físico de suelo de acuerdo a la técnica descrita por Cambardella y Elliott (1993) modificada por Noellemeyer et al. (2006), para obtener las fracciones de agregados <50 μm y 50-2000 μm , a los cuales posteriormente se les determinó contenido de carbono y nitrógeno total por método de combustión en seco (LECO Truspec™). El valor obtenido de carbono total fue considerado como carbono orgánico ya que los suelos no presentaron carbonato de calcio libre. El carbono se convirtió a MO utilizando el factor de conversión de 1,724 (Nelson y Sommers, 1996) y los resultados se expresaron como MO joven (agregados 50-2000 μm , MOJ) y MO vieja (agregados < 50 μm , MOV). La suma de estas dos fracciones se consideró MO total (MO).

Las determinaciones de propiedades relacionadas al sistema poroso fueron las siguientes:

- Densidad aparente (DA): se determinó mediante el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986).
- Distribución del tamaño de poros y curva de retención hídrica: se determinaron en muestras disturbadas mediante mesa de tensión y el equipo de tensión de Richard (Klute y Klute, 1986). Se estableció como capacidad de campo (CC) el contenido de agua a 33 kPa y como punto de marchitez permanente (PMP) la cantidad de agua retenida a 1500 kPa.
- A partir de muestras sin disturbar (cilindros) se calculó la porosidad total (PT) considerando el contenido de agua de la muestra de suelo saturada (Phs) y la muestra de suelo seco (Ps), de acuerdo con la siguiente ecuación, $PT = ((Phs-Ps)/Ps) * 100$.
- Resistencia a la penetración (RP), mediante un penetrómetro de golpe (O' Sullivan et al.,

1987) a intervalos de 5 cm hasta los 40 cm de profundidad. Considerando que la RP varía en función del contenido de agua del suelo (Krüger et al., 2008) se efectuaron determinaciones periódicas a fin de obtener los valores de RP con diferentes contenidos de agua del suelo. A partir de las curvas que relacionan ambos parámetros se obtuvieron los valores de RP a diferentes contenidos de agua (cercaños a PMP y CC).

- Para conocer la infiltración de agua en el suelo se realizaron ensayos a campo con infiltrómetro de doble anillo (Método de Kostiaikov descrito por Fernández et al., 1971).
- Se determinó densidad aparente máxima (DAM), humedad crítica (HC), susceptibilidad a la compactación (SC) a partir del test Proctor de Compactación (Stengel et al., 1984). Se calculó la compactación relativa (CR) a partir de la DA y DAM (Lipiec y Hatano, 2003).
- Para evaluar la biomasa de raíces se siguió el método propuesto por Frasier et al. (2016a), cada 20 cm hasta los 100 cm de profundidad.
- Distribución de agregados, mediante el tamizado en seco, para obtener las fracciones de 2, 2 a 3, 3 a 4, 4 a 8 y 8 mm de diámetro. La masa de suelo retenida en cada tamiz fue pesada a fin de determinar la proporción de cada tamaño de agregados.
- Peso de mil agregados (PMA), a las fracciones de agregados de 2 a 3, 3 a 4, 4 a 8 y 8 mm de diámetro, obtenidos a través del tamizado en seco, se les contabilizó el peso de 250 agregados, refiriendo los resultados a peso de mil agregados (Fernández et al., 2016)
- Porosidad de agregados (Θ) a las fracciones de agregados de 2 a 3, 3 a 4, 4 a 8 y 8 mm de diámetro, obtenidos a través del tamizado en seco. Moret y López, (2015) propusieron un nuevo método en el cual el agregado se seca a temperatura ambiente durante varias semanas, se pesa y se sumerge en alcohol durante 20 minutos. Una vez saturado, el agregado se coloca sobre una toalla de papel saturada en alcohol y se pesa inmediatamente a temperatura ambiente (20 °C). Este proceso debe ser realizado en menos de 10 segundos. El volumen interno del agregado, (V_i), se calcula mediante la Ecuación 1, convirtiendo la dife-

rencia de masas del agregado saturado de alcohol, (Mag-al) y del agregado seco (Mag) en volumen usando la densidad del alcohol (ρ_{al}):

$$V_i = (Mag-al - Mag) / \rho_{al} \quad \text{Ecuación 1}$$

El agregado saturado en alcohol se seca a 40 °C durante 8 horas y se pesa nuevamente para comprobar si se han producido pérdidas de suelo durante el proceso. Conocido V_i , V_T se estima según Ecuación 2.

$$V_T = V_i + V_r \quad \text{Ecuación 2}$$

en donde V_r es el volumen de las partículas sólidas

$$V_r = M / \rho_r \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo M la masa del agregado seco y ρ_r la densidad

El valor de ρ_r se determina por el método del picnómetro (Flint y Flint, 2002) a partir de submuestras de 10 gr de agregados mortereados y tamizados por 2 mm. Una vez estimada V_T , θ se calcula según la Ecuación 4.

$$\theta = V_i / V_T \quad \text{Ecuación 4}$$

- Estabilidad estructural en húmedo (De Boodt y De Leenheer, 1967). Este indicador se obtiene mediante la diferencia entre el diámetro peso medio (DPM) en seco, de los agregados de diámetro 2 a 3, 3 a 4 y 4 a 8 mm, obtenidos cuando se realizó la distribución de los agregados, y el DPM de los mismos luego de ser humedecidos, incubados y tamizados bajo agua. De la diferencia entre el DPM en seco y el DPM en húmedo, se obtiene el cambio en el DPM, el cual será denominado índice de inestabilidad estructural (IIE). Menor valor del IIE representa mejor estabilidad estructural del suelo.

Tabla 1: Contenido de arena, limo y arcilla en los diferentes usos de suelo. Llorón (LL), festuca+agropiro (F+A) y agropiro+alfalfa (A+A), agrícola (Ag).

Uso suelo	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
LL	45,9	36,9	17,2	Franco
F+A y A+A	45,7	35,9	18,4	Franco
Ag	44,6	36,5	18,9	Franco

- Fracción erosionable a través de la obtención del índice de erodabilidad. Este índice que se mide en Mg/ha año representa la pérdida potencial máxima de suelo que se produce en un potrero, sin protección; con una superficie sin cobertura, sin rugosidad y sin encostramiento. Para su obtención se utilizó un tamiz rotativo (Chepil, 1962) a fin de determinar la cantidad de agregados 0,84 mm de diámetro de la capa superficial del suelo, que constituye la fracción no erosionable debido a que son los agregados no susceptibles a ser transportados por el viento (Chepil, 1950).

Resultados

Materia orgánica

Los contenidos de MO, y especialmente la fracción lábil fueron influenciados significativamente por el uso (Tabla 2). Distintos autores (Duval et al., 2013; Fernández et al., 2016) señalan que el contenido de MO resulta relevante al momento de evaluar la influencia del uso del suelo sobre la sustentabilidad de los sistemas de producción.

Los resultados del estudio mostraron diferencias significativas para los primeros 0-6 cm de profundidad, el suelo Ag tuvo 30% menos de MO, con respecto al uso en LL, mientras que en el suelo con pasturas la diferencia fue menor (12 y 6% para F+A y A+A, respectivamente). En cambio, para 6-12 y 12-18 cm de profundidad, no se encontraron diferencias significativas entre diferentes usos /manejos, aunque sí se observaron mayores contenidos en 6-12 cm de profundidad, con respecto a 12-18 cm.

En relación a la MOJ, los usos LL y A+A tuvieron similar contenido y además fueron los que presentaron los mayores valores con respecto a F+A y Ag, diferenciándose estadísticamente en el estrato más superficial. En cambio, y tal cual lo ocurrido con MO, los valores encontrados en 6-12 y 12-18 cm de profundidad fueron similares entre los usos de suelo y no se encontraron diferencias significativas.

Con respecto a la MOV el mayor valor en 0-6 cm se halló en LL, pero no se diferenció estadísticamente con los demás usos. A mayor profundidad, los contenidos fueron similares y tampoco se hallaron diferencias estadísticas significativas.

Los contenidos de MOV en Ag representaron

Manejo	MO (%)		
	0-6 cm	6-12 cm	12-18 cm
LL	4,10 C	2,14 A	1,67 A
F+A	3,49 B	2,35 A	1,50 A
A+A	3,76 B	2,34 A	1,89 A
Ag	2,81 A	2,27 A	1,77 A
	MOJ (%)		
	0-6 cm	6-12 cm	12-18 cm
LL	1,83 B	0,86 A	0,53 A
F+A	1,79 AB	0,77 A	0,97 A
A+A	1,83 B	0,87 A	0,58 A
Ag	1,01 A	0,64 A	0,49 A
	MOV (%)		
	0-6 cm	6-12 cm	12-18 cm
LL	2,27 A	1,27 A	1,14 A
F+A	1,70 A	1,59 A	1,53 A
A+A	1,92 A	1,47 A	1,32 A
Ag	1,80 A	1,63 A	1,28 A

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas, entre usos en la misma profundidad.

Tabla 2: Contenido de Materia Orgánica Total (MO), Materia Orgánica Joven (MOJ) y Materia Orgánica Vieja (MOV), para los distintos usos de suelo: Llorón (LL), Festuca+Agropiro (F+A), Alfalfa+Agropiro (A+A) y Agrícola (Ag), en las diferentes profundidades estudiadas.

un 64 % de la MO, mientras que para los demás usos el valor hallado fue menor, (51, 51 y 55% para F+A, A+A y LL, respectivamente). En cuanto a la MOJ, ésta representó un 45, 49, 49 y 36% con respecto a la MO, para LL, F+A, A+A y Ag, respectivamente. Esta menor proporción de MOJ con respecto a la MO indicaría procesos de degradación bajo el uso Ag. Ha sido ampliamente demostrado que la degradación asociada al uso agrícola reduce la fracción lábil/joven de la MO en primera instancia (Bono et al., 2008; Eaton y Lawrence, 2009), ya que es más sensible a los cambios en el uso y afecta en mayor medida la condición física del suelo (Zach et al., 2006; Fernández et al., 2016;). Por consiguiente, cuando un suelo pierde calidad se observa un predominio de las fracciones más estables asociadas a la fracción mineral (Casanovas et al., 1995; Riestra, 2012). Es por ello que la fracción joven resulta clave para interpre-

tar cambios en la fertilidad del suelo y potencialmente puede ser utilizada como un indicador de calidad de los mismos (Wang et al., 2014).

Densidad Aparente

Con respecto a la densidad aparente, en 0-6 cm de profundidad, se hallaron diferencias significativas entre el suelo Ag que presentó el mayor valor (1,27 g/cm³), con respecto a los demás usos de suelo. Los resultados para F+A, A+A y LL fueron un 12, 14 y 22 % menor, respectivamente, con respecto al uso Ag (Figura 1, a).

Similar a lo encontrado en 0-6 cm, para 6-12 cm de profundidad también se hallaron diferencias significativas entre el suelo Ag que mostró el mayor valor, con respecto a los demás usos de suelo (Figura 1, b). En cambio, en los 12-18 cm todos los usos tuvieron similar valor de DA y no se obtuvieron diferencias significativas (Figura 1, c).

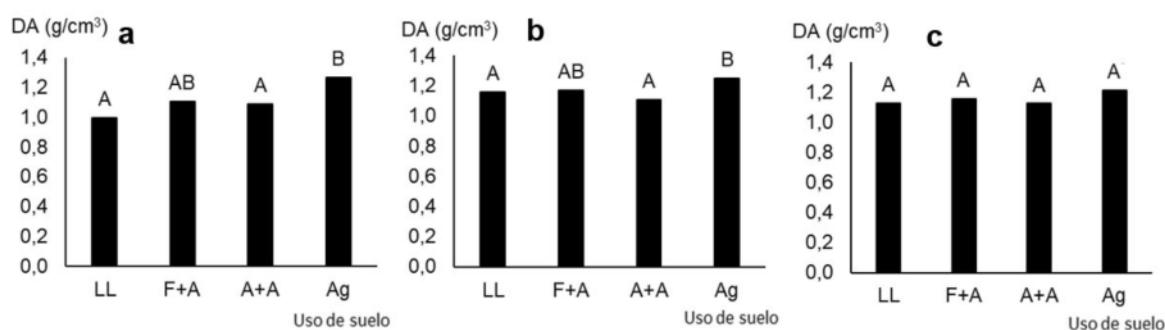


Figura 1: Densidad aparente (DA) en Llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag), a (0-6 cm), b (6-12 cm) y c (12-18 cm) de profundidad. Letras distintas indican diferencias significativas.

La DA de F+A en 0-6 y 6-12 cm de profundidad fue similar estadísticamente a todos los usos evaluados, en cambio el valor de DA en la pastura A+A fue estadísticamente similar al suelo bajo LL.

La bibliografía plantea que el uso agrícola del suelo aumenta la DA (Galizzi et al., 2018; Quiroga et al., 2016). En nuestro estudio el valor de DA bajo el uso Ag no superó 1,40 g cm⁻³ y, por ende, en suelos de textura franca no reflejaría limitaciones en el sistema poroso (USDA NRCS, 2014). No obstante, Fernández et al. (2016) encontraron que a un valor de DA considerado bajo (1,17 g cm⁻³) para suelos agrícolas de textura franca, las raíces tendrían dificultad para aprovechar el agua físicamente disponible comprendida entre CC y

PMP. En este sentido la bibliografía plantea que la densidad aparente no sería un indicador que refleje la calidad del suelo (Dexter et al., 2007), ya que por si sola no logra explicar cambios en las propiedades hidráulicas del suelo en los diferentes manejos. Debido a ello, resulta necesario abordar otros indicadores tales como, distribución del tamaño de poros, estabilidad del sistema poroso y, fundamentalmente, y continuidad del sistema poroso (Soracco, 2003). Distintos estudios muestran además influencia de la orientación (vertical, horizontal) y forma (cilíndrico, irregular, elongado) de los macroporos sobre la dinámica hídrica.

Porosidad

La PT varió entre los suelos bajo distintos usos tal como se muestra en la Figura 2. En los primeros 0-6 cm de profundidad la PT varió entre 42,4 y 54,7 % con diferencias significativas entre los usos, donde LL presentó el mayor valor (54,7 %) F+A y A+A valores intermedios (47,2; 48,4%, respectivamente) y el uso Ag el menor valor (42,4 %) (Figura 2, a). Para la profundidad 6-12 cm, el mayor valor de PT fue para A+A (46,9%) y el menor fue para el suelo Ag (38,5%) con diferencias significativas (Figura 2, b). Similar fue lo encontrado para la profundidad 12-18 cm, donde también el mayor valor de PT fue para A+A (46,8%) y el menor fue para el uso Ag (39,8%) con diferencias significativas (Figura 2, c). Las Fotos 1 a, b y c, muestran la metodología de muestreo de variables como porosidad y densidad aparente.

Con respecto a la macroporosidad, para los primeros 0-6 cm de profundidad, el patrón fue similar a lo obtenido con relación a PT donde los suelos se ordenaron LL > A+A > F+A y el menor valor fue para el manejo Ag. Para las profundidades comprendidas entre 6-12 y 12-18 cm A+A fue el uso que tuvo la mayor macroporosidad, coincidiendo con lo encontrado en cuanto a PT.

La compactación altera la PT del suelo y la distribución del tamaño de los poros, de tal manera que se produce una disminución de los macroporos y un aumento de los microporos, lo cual debería manifestarse en los valores de DA (Andriulo y Rosell, 1998) En el presente trabajo se pudo comprobar una importante disminución en la porosidad total de los suelos bajo uso Ag, la cual tendría lugar a expensas de pérdidas de la macroporosidad. Si bien es ampliamente conocido que los

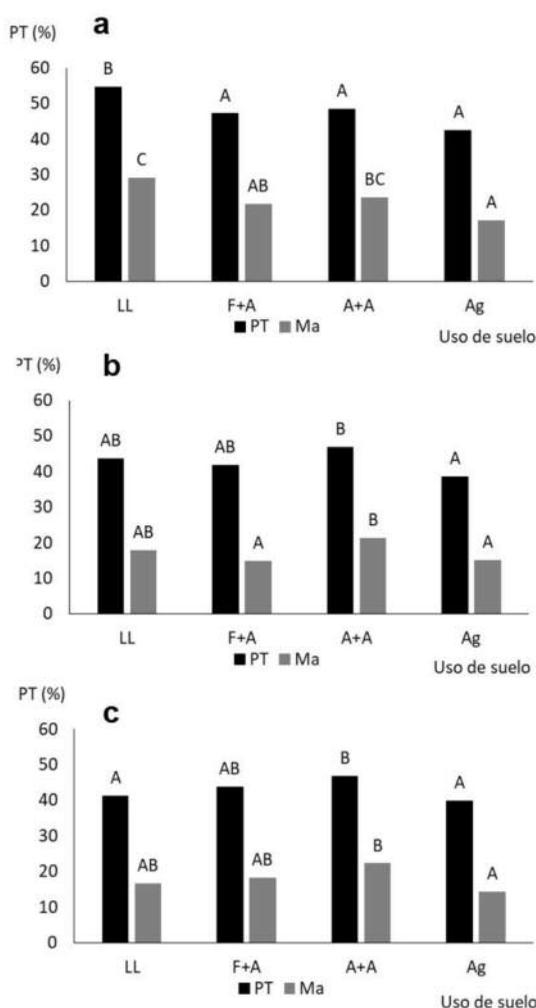


Figura 2: Porosidad total (PT) y Macroporosidad (Ma) en llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag), a (0-6), b (6-12) y c (12-18 cm) de profundidad. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.



Foto 1: a y b) Muestreo de suelo para determinar porosidad total, conductividad hidráulica y densidad aparente en superficie y c) en profundidad.

macroporos presentes en el suelo resultan esenciales para el crecimiento de la raíz, el transporte del agua y el intercambio de gases (Moret y Arrue, 2007), son escasos los estudios que brinden mayor detalle en cuanto a la caracterización de los poros mayores de 10 μm de diámetro (Rasa et al., 2012). Greenland (1981) propone un valor umbral de macroporosidad del 10 % con respecto a la porosidad total, en el cual no existirían limitantes para el funcionamiento físico-hídrico de los suelos. Sin embargo, nuestros resultados demuestran que, si bien la macroporosidad en Ag fue mayor al valor umbral, ha disminuido significativamente después de 13 años de uso agrícola con respecto al uso bajo LL.

Indicadores de compactación

Los resultados obtenidos en los indicadores que reflejan la compactación del suelo se muestran en la Tabla 3 y el instrumento utilizado se puede observar en la Figura 2. Para las condicio-

nes bajo estudio, en las tres profundidades se encontró que, si bien los valores de la DAM fueron mayores bajo el uso Ag, no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes usos. La bibliografía sugiere que al comparar situaciones que presentan distinta compactación inicial resulta necesario utilizar el indicador compactación relativa (CR), que relaciona la densidad aparente actual respecto a la DAM (Lipiec y Hatano, 2003). En los primeros 0-6 cm de profundidad, la CR fue mayor estadísticamente bajo el uso Ag con respecto a los demás usos. En este sentido se encontraron valores de 13, 14 y 20 % menos para los usos A+A, F+A y LL, respectivamente. En cambio, en las profundidades 6-12 y 12-18 la CR fue similar entre los usos de suelo y no se hallaron diferencias significativas. Los valores de CR entre 75-87% se corresponden con los valores de rendimientos máximos para varios cultivos, mientras que se ha documentado un valor umbral del 90 % por encima del cual se han registrado menores

Manejo	CR (%)					
	0-6		6-12		12-18	
LL	77,0	A	81,5	A	83,1	A
F+A	81,7	A	84,4	A	84,8	A
A+A	82,5	A	85,6	A	80,2	A
Ag	95,9	B	87,3	A	84,0	A
	DAM (g/cm^3)					
	0-6		6-12		12-18	
LL	1,29	A	1,39	A	1,37	A
F+A	1,34	A	1,39	A	1,37	A
A+A	1,29	A	1,34	A	1,40	A
Ag	1,37	A	1,42	A	1,41	A

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas, entre usos de suelo en la misma profundidad.

Tabla 3: Compactación Relativa (CR), Densidad Aparente Máxima (DAM), para los distintos usos de suelo y las profundidades estudiadas, en llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag).



Foto 2: Instrumento utilizado para realizar el test Proctor a fin de determinar parámetros de compactación.

rendimientos de cultivo de trigo (Beutler et al., 2005).

En este sentido bajo el uso Ag en 0-6 cm de profundidad la CR superó el 90 %, lo cual reflejaría condiciones no óptimas para el normal desarrollo de los cultivos, en cambio F+A, A+A y LL tuvieron valores inferiores a dicho umbral. Este mayor valor de la CR bajo uso Ag puede ser debido principalmente a menores contenidos de MO y MOJ como también al peso y cantidad de pasadas de las máquinas, situación que se agudiza cuando los contenidos de humedad no son apropiados para dicha práctica. Frecuentemente los suelos resultan más susceptibles a compactarse con contenidos de humedad cercanos a capacidad de campo. Además, en la medida que los suelos pierden materia orgánica se va incrementando la susceptibilidad a la compactación y disminuye la

humedad crítica. Es decir que con menores valores de humedad se alcanzan mayores compactaciones.

Infiltración

Entre las propiedades hidráulicas que permiten caracterizar el sistema poroso se consideran la infiltración acumulada (I Ac), infiltración básica (IB) y la conductividad hidráulica (Yu et al., 2015). La I Ac fue significativamente superior bajo el suelo LL con respecto a los demás usos. Bajo las condiciones del estudio se encontró que para A+A, F+A y Ag la I Ac fue un 22, 34, 61% menor con respecto a LL (Figura 3). Si bien ambas pasturas (A+A y F+A) presentaron valores intermedios entre LL y Ag, resultó interesante el suelo bajo A+A ya que fue el uso que tuvo los mayores valores de I Ac. En cuanto al suelo Ag se puede inferir que el manejo ha deteriorado el sistema poroso,

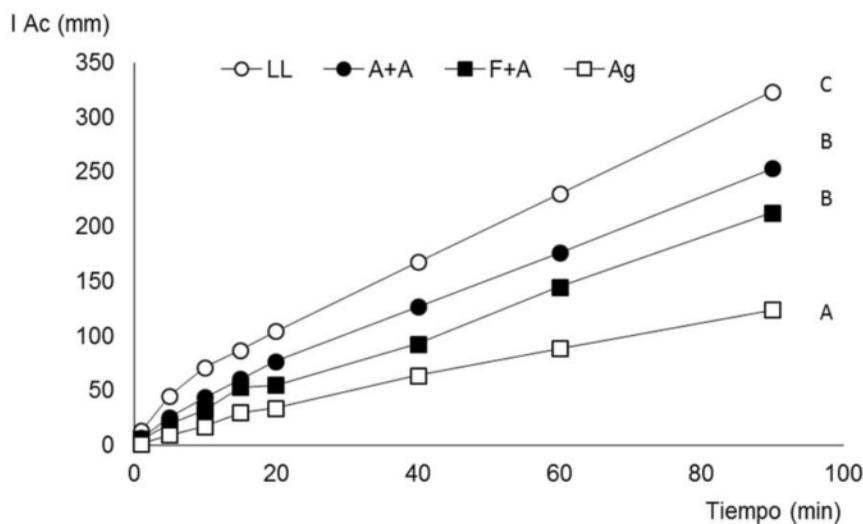


Figura 3: Infiltración acumulada (I Ac) en llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag).

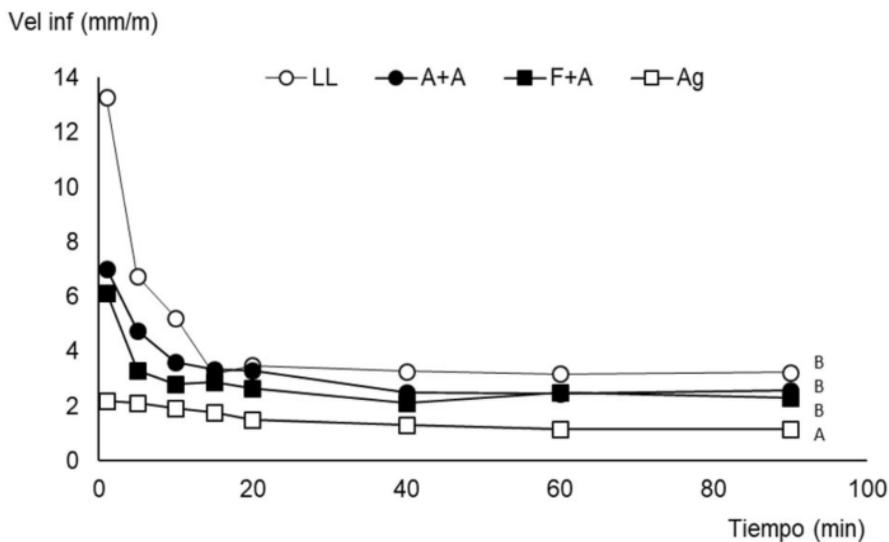


Figura 4: Velocidad de Infiltración (Vel Inf) en relación al tiempo transcurrido, para los distintos usos de suelo. Llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), y alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag).

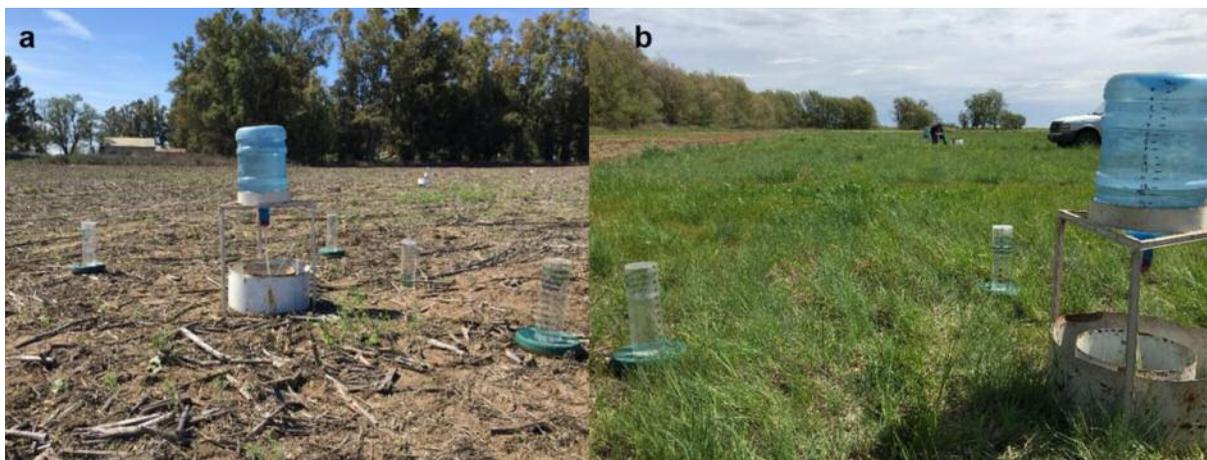


Foto 3: Medición de infiltración mediante infiltrómetro doble anillo en a) suelos agrícola y b) bajo pastura, también se observa la metodología de infiltración mediante anillos simples.

por lo cual la infiltración fue considerablemente menor. La cantidad de agua que infiltró en los 90 min bajo Ag fue 124 mm, mientras que en los demás usos, esa infiltración se registró a los 42, 30 y 22 min en F+A, A+A y LL, respectivamente. Esto pone de manifiesto que el suelo Ag ha sufrido cambios en el comportamiento hidráulico y que posiblemente podrían ser causados por la disminución de la PT y la macroporosidad tal como se planteó anteriormente.

La IB fue alcanzada a los 15 min del comienzo de la medición en todos los usos de suelo. La misma se encontró entre 1,21 mm/min para el suelo bajo Ag y 3,23 mm/min para el uso LL, mientras que A+A (2,51 mm/min) y F+A (2,32 mm/min) tuvieron valores intermedios (Figura 4). La Foto 3 muestra infiltrómetros de anillos dobles y simples.

Resistencia a la penetración

Los resultados obtenidos de resistencia a la penetración de los distintos usos de suelos se pueden observar en las Figuras 5, 6, 7 y 8. El suelo bajo LL no presentó variación de la RP con la variación del contenido de agua en el suelo en ninguna de las profundidades evaluadas (Figura 5 a, b, c, d). Los valores promedio para 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm fueron 0,5, 0,5, 0,3 y 0,3 MPa, dentro del rango de contenido de agua del 8 al 28 %. Los valores de RP en función de los contenidos hídricos en los suelos de pasturas A+A y F+A presentaron pendientes de las curvas mayores que el uso LL. Los valores más altos de RP se encontraron en la profundidad de 10-20 cm que alcanzaron 1,9 MPa para A+A y 1,6 MPa para F+A (Figura 6 y 7).

Por el contrario, el suelo Ag tuvo mayor ampli-

tud de los valores de RP con relación al contenido de agua, principalmente en 0-10 y 10-20 cm de suelo (Figura 8). En 0-10 cm de profundidad, se registró como valor mínimo 0,3 MPa por encima del contenido de agua a CC y como valor máximo 2,8 MPa por debajo del contenido de agua a PMP, entre estas dos constantes hídricas los valores de RP se encontraron entre 0,5 y 1,5 MPa (Figura 8 a). Para 10-20 cm de profundidad se comprobó como valor mínimo 0,5 MPa por encima del contenido de agua a CC y como valor máximo 2,4 MPa por debajo del contenido de agua a PMP,

entre estas dos constantes hídricas los valores de RP se encontraron entre 0,5 y 1,2 MPa (Figura 8 b). En las demás profundidades los valores de RP fueron menores (Figura 8 c y d).

La falta de relación entre la RP con el contenido de agua en suelo LL principalmente y en menor medida en F+A y A+A, podría estar relacionada al contenido de MO de los suelos, que le confiere mejor estabilidad del sistema poroso. Los valores de RP hallados bajo el uso Ag resultarían perjudiciales, debido a que superaron los valores críticos que causan disminución en el crecimiento

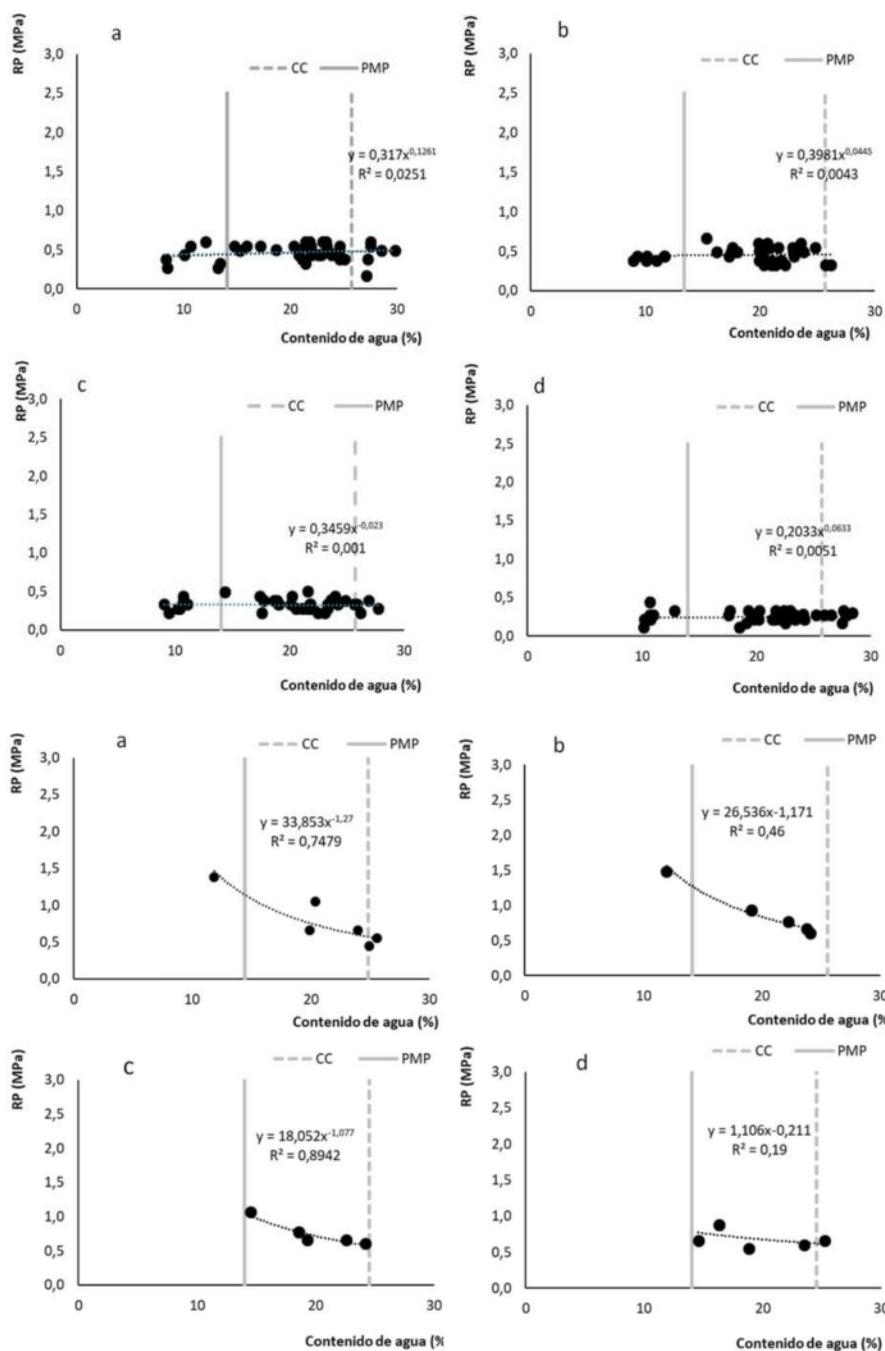


Figura 5: Resistencia a la Penetración (RP) en función al contenido de agua en Llorón, a) 0-10, b) 10-20, c) 20-30, d) 30-40 cm de profundidad. Constantes hídricas, Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP).

Figura 6: Resistencia a la Penetración (RP) en función al contenido de agua bajo el uso Festuca+Agropiro, a) 0-10, b) 10-20, c) 20-30, d) 30-40 cm de profundidad. Constantes hídricas, Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP).

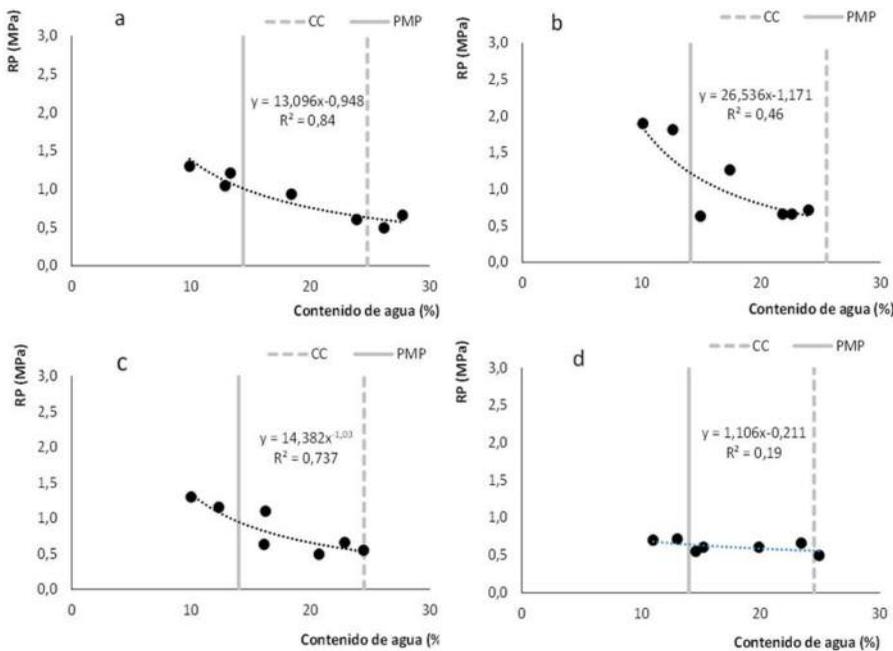


Figura 7: Resistencia a la Penetración (RP) en función al contenido de agua bajo el uso Agropiro+Alfalfa, a) 0-10, b) 10-20, c) 20-30, d) 30-40 cm de profundidad. Constantes hídricas, Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP).

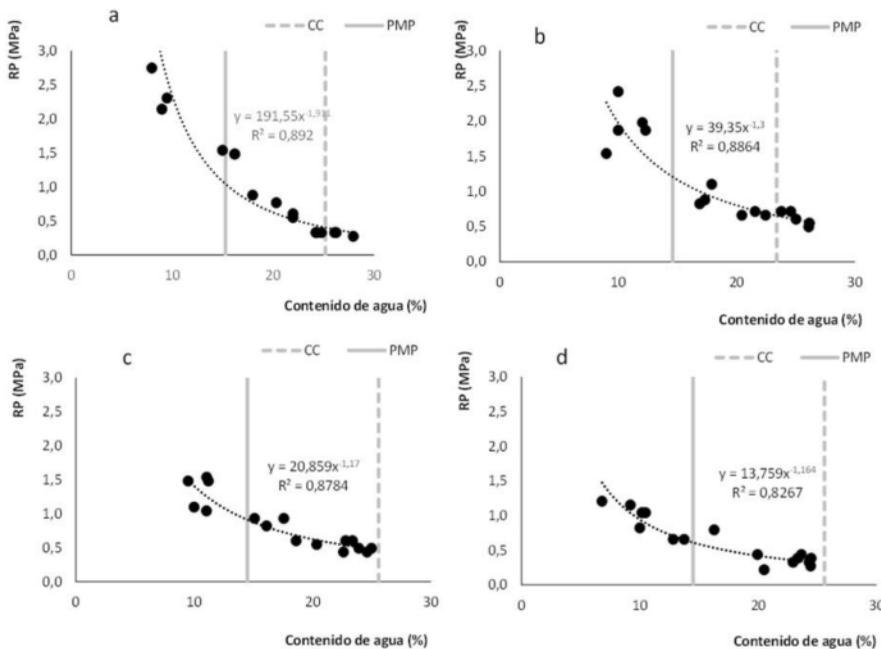


Figura 8: Resistencia a la Penetración (RP) en función al contenido de agua bajo el uso Agrícola, a) 0-10, b) 10-20, c) 20-30, d) 30-40 cm de profundidad. Constantes hídricas, Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP).

radical (entre 1 a 1,7 MPa), y valores entre 3 a 4 MPa causarían una reducción del 90 % en el crecimiento de la raíz (Ehlers et al., 1983; Hamblin, 1985).

Biomasa de raíces

La biomasa de raíces de los diferentes usos de suelos se presenta en la Figura 9, Foto 4 a, b, c y d. En los primeros 20 cm de profundidad, el rango de raíces cuantificados se encontró entre 3500 a 13311 kg/ha, los usos bajo LL, F+A y A+A tuvieron mayor biomasa de raíces con respecto a Ag con

diferencias significativas. Desde los 40 hasta los 100 cm de profundidad la mayor cantidad de raíces fue hallada en A+A con diferencias significativas con respecto a los demás usos, no obstante, estas diferencias resultaron menores a mayor profundidad. Con respecto a la distribución de las mismas hasta el metro de profundidad, la mayor proporción se registraron en los primeros 20 cm (78, 70, 53, y 53 % para LL, F+A, A+A y Ag, respectivamente). Frasier et al., (2019) encontraron que entre el 47 y 82% de las raíces se estratificaron en los primeros 20 cm de profundidad.



Foto 4: Contribución de las raíces en el suelo en a y b) bajo agricultura; c y d) cuando las pasturas están presentes en la rotación.

La relación entre la biomasa de raíces y la biomasa aérea ha sido utilizada como un indicador de cambios en la partición de fotoasimilados a estos órganos según la especie (Iwasa y Roughgarden, 1984) y el ambiente en el cual se desarrolla (Wilson, 1988). Los resultados de esta relación indicaron que F+A presentó mayor valor con respecto a A+A. Las relaciones obtenidas indicarían que, por cada kilogramo de biomasa aérea, existe por debajo de la superficie del suelo entre 3 y 4 veces más peso en raíces (Tabla 4). Estudios realizados en el Caldenal de la Región Semiárida Pampeana, sobre pastizales naturales de *Stipa tenuis* y *Piptochaetium napostaense*, reportaron relación de 7, mientras que para el pasto llorón (*Eragrostis curvula*), la relación fue menor (4) (Golberg et al., 2011). Los datos obtenidos en este trabajo se encuentran en concordancia con lo expuesto por Golberg et al. (2011) quienes concluyen además que en zonas áridas y semiáridas las plantas deben invertir una considerable pro-

porción de su productividad anual en la formación y mantenimiento del sistema radical para asegurar un suministro apropiado de agua. Además, esta relación responde a la disponibilidad de nutrientes, aumentando cuando existe una limitante en el suelo (Andrews et al., 1999; Fageria y Moreira, 2011). Siguiendo con este concepto, la mayor relación encontrada en F+A podría ser atribuida a la limitación del nitrógeno edáfico, en cambio, en A+A el aporte del nitrógeno por parte de la leguminosa produciría un ambiente con menos limitación nitrogenada resultando menor cantidad de raíces con respecto a la producción de biomasa aérea. En la región semiárida, se cuenta con información de diferentes cultivos invernales, en este sentido Oderiz et al. (2017) encontraron relaciones de 0,35 para centeno, mientras que valores superiores se determinaron en el cultivo de vicia (1,08). Actualmente se han reportado relaciones bajo usos de suelo con vegetación perenne/permanente que son significativamente

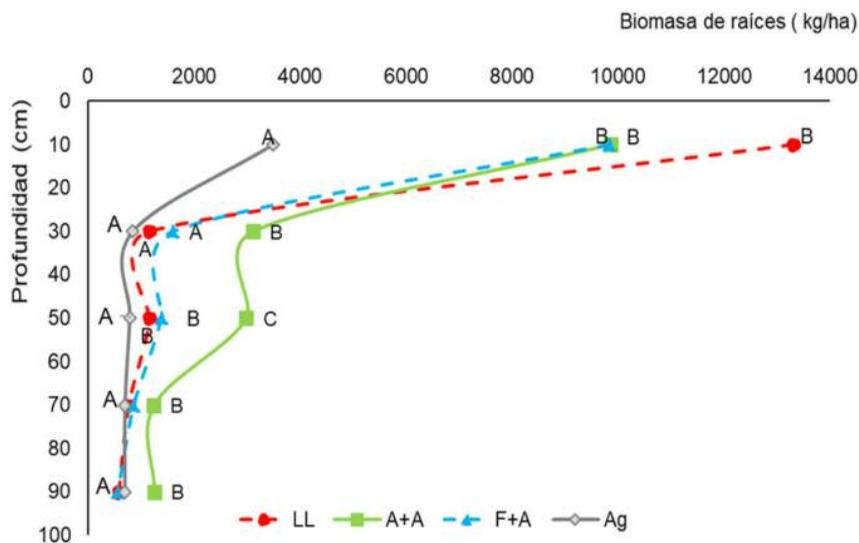


Figura 9: Distribución de biomasa de raíces en Pasto Llorón (LL), Agropiro+Alfalfa (A+A), Festuca+Agropiro (F+A) y Agrícola (Ag) hasta 100 cm de profundidad. Letras diferentes indican diferencias significativas entre usos de suelo en cada profundidad.

Tabla 4: Relación entre la biomasa de raíces hasta los 100 cm de profundidad (kg/ha) y biomasa aérea (kg ha⁻¹) en Llorón (LL), Festuca+Agropiro (F+A), Agropiro+Alfalfa (A+A) y agrícola (Ag).

Relación Biomasa Raíz-Biomasa Aérea			
LL	F+A	A+A	Ag
4	4,1	2,9	0,35

mayores a los cultivos anuales, 5,1; 1,9; 4,2 y 1 para vegetación natural, pastura perenne y pastura permanente y agrícola (Frasier et al., 2019).

El mayor valor de biomasa de raíces respecto a la biomasa aérea, encontrado en la pastura, le confiere un gran potencial de fijar carbono en profundidad a través de la producción de biomasa radicular, que explicaría el aumento de la materia orgánica en la etapa de pastura de la rotación. Frasier et al. (2019) han encontrado que el contenido de materia orgánica se relacionó principalmente con la biomasa de raíces y en menor medida con los residuos sobre la superficie del suelo.

Estructura

La caracterización de los agregados puede realizarse a partir de su forma, tamaño, configuración externa y porosidad interna. De entre estas posibilidades, la información concerniente a la porosidad interna es la que resulta más útil a la hora de caracterizar el suelo como medio para el crecimiento de las plantas (Danielson y

Sutherland, 1986). La porosidad de los agregados individuales se presenta en la Tabla 5. Para 0-6 cm de profundidad se encontró que todos los usos de suelo presentaron similar porosidad en los agregados de 2-3 mm (entre 47-50%), con respecto a los de 3-4, 4-8 y >8mm. En general LL y A+A tuvieron mayor porosidad con respecto a Ag, resultando significativas las diferencias entre A+A y Ag.

En 6-12 cm, en los agregados comprendidos entre 2-3, 4-8 y >8 mm no se encontraron diferencias en los distintos usos; en cambio en el tamaño entre 3-4 mm la mayor porosidad fue para A+A con diferencias estadísticas significativas.

Con respecto a 12-18 cm, solamente en los agregados de 4-8 y >8 mm el suelo bajo A+A tuvo mayor porosidad que los demás usos.

Con respecto al PMA, en 0-6 cm de profundidad, los comprendidos entre 2-3 y 3-4 mm presentaron similares valores entre los distintos usos, mientras que los comprendidos entre 4-8 y >8 mm registraron diferencias significativas. En este sentido se comprobó que el PMA en LL, F+A y A+A fue un 17, 18 y 28% menos respectivamente, con respecto a Ag, mientras que en los agregados >8 mm, LL, F+A y A+A pesaron un 58, 47 y 35% menos con respecto a Ag. Para 6-12 cm de profundidad, el PMA en los agregados de 2-3 fue significativamente menor en A+A y F+A, en 3-4 mm también el uso A+A fue el que menor PMA presentó, mientras que el de los agregados de 4-8 mm fue similar entre usos. En los > 8 mm se comprobó que las pasturas presentaron entre 51, 16 y

	POROSIDAD (%)			
	2-3 mm	3-4 mm	4-8 mm	>8 mm
	0-6 cm			
LL	50 A	49 AB	48 A	47 AB
F+A	51 A	49 AB	46 AB	47 AB
A+A	49 A	51 A	48 A	48 A
Ag	47 A	45 B	44 B	43 B
	6-12 cm			
LL	52 A	49 AB	48 A	45 A
F+A	50 A	49 AB	48 A	45 A
A+A	51 A	52 A	47 A	45 A
Ag	47 A	44 B	46 A	42 A
	12-18 cm			
LL	48 A	49 A	48 A	46 AB
F+A	48 A	46 A	48 A	44 AB
A+A	48 A	46 A	49 A	47 A
Ag	46 A	46 A	44 B	43 B

Letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas, para cada profundidad ($p < 0,10$).

Tabla 5: Porosidad intra-agregado en los diferentes tamaños, para llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag), en 0-6, 6-12 y 12-18 cm.

	PMA (g)			
	2-3 mm	3-4 mm	4-8 mm	>8 mm
	0-6 cm			
LL	8,0 A	27,4 A	109,1 B	684,0 B
F+A	8,5 A	27,7 A	107,3 B	853,9 B
A+A	8,6 A	25,9 A	94,3 B	1051,5 B
Ag	8,2 A	28,9 A	130,5 A	1627,6 A
	6-12 cm			
LL	9,5 AB	32,1 A	128,9 A	761,2 B
F+A	6,3 C	30,7 AB	111,1 A	1294,4 AB
A+A	6,3 C	27,2 B	106,4 A	1040,7 AB
Ag	10,9 A	30,4 AB	136,5 A	1544,2 A
	12-18 cm			
LL	8,7 A	27,8 A	103,7 B	946,4 C
F+A	8,3 AB	32,2 A	127,9 AB	837,6 C
A+A	7,2 B	28,8 A	123,8 AB	1358,8 B
Ag	8,7 A	32,9 A	151,4 A	1800,8 A

Tabla 6: Peso de mil agregados (PMA) en agregados de diferentes diámetros, para llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag), en 0-6, 6-12 y 12-18 cm. Letras distintas en cada columna indica diferencias estadísticas significativas, para cada profundidad ($p < 0,10$).

32 % menos que el suelo bajo Ag, correspondiendo el de menor peso a LL que se diferenció significativamente de Ag. En relación con la profundidad de 12-18 cm, los agregados comprendidos entre 4-8 mm pesaron un 31, 15 y 18% menos en los usos LL, F+A y A+A respectivamente, que el suelo bajo Ag, mientras que para los agregados >8, estas diferencias fueron mayores y se encontraron en 47, 53 y 24 % menos, respectivamente, que el suelo Ag (Tabla 6).

En relación con la distribución en el tamaño de los agregados, las mayores diferencias entre los diferentes usos del suelo se presentaron en los agregados <2mm y >8mm de diámetro, para las tres profundidades (Tabla 7). Para el suelo bajo uso Ag, alrededor del 40% de los agregados fueron >8mm en las tres profundidades, mientras que en las situaciones con pasturas (LL, F+A y A+A) la proporción fue más baja (entre 21 y 30%). Para los agregados más pequeños ocurrió lo con-

Tabla 7: Proporción de agregados (%) de diferentes diámetros para llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag), en 0-6, 6-12 y 12-18 cm. Letras distintas en cada columna indica diferencias estadísticas significativas, para cada profundidad ($p < 0,10$).

	Proporción de agregados (%)				
	<2 mm	2-3 mm	3-4 mm	4-8 mm	>8 mm
0-6 cm					
LL	40,6 A	10,6 A	12,4 A	11,9 A	24,6 B
F+A	41,6 A	10,7 A	12,9 A	13,5 A	21,5 B
A+A	39,1 A	9,7 A	11,9 A	12,0 A	27,6 B
Ag	30,7 B	9,0 A	10,4 A	12,6 A	37,4 A
6-12 cm					
LL	35,0 B	7,8 B	11,9 A	15,0 A	30,4 B
F+A	33,6 B	10,2 A	12,6 A	13,8 AB	29,9 B
A+A	40,5 A	8,4 B	11,3 A	11,4 B	28,5 B
Ag	26,9 C	7,7 B	11,1 A	14,3 A	40,1 A
12-18 cm					
LL	42,1 A	8,3 A	11,2 A	13,4 A	25 AB
F+A	44,2 A	9,3 A	12,1 A	13,9 A	20,5 C
A+A	39,6 A	8,2 A	9,7 A	12,5 A	30 B
Ag	31,0 B	6,7 A	9,6 A	12,9 A	39,9 A

trario, en el suelo Ag aproximadamente el 30% resultaron <2 mm, mientras que, en LL, F+A y A+A la proporción se encontró entre 33 a 44%. Los agregados de tamaños intermedios (2-3, 3-4 y 4-8 mm) también presentaron algunas diferencias, pero fueron menores a las encontradas en los agregados <2 y >8 mm.

En la Foto 5 se representan, para los 4 manejos, los distintos porcentajes de agregados de los diferentes tamaños en 0-6 cm de profundidad, en correspondencia con los valores expuestos en la Tabla 7. Claramente se visualiza que la proporción de los agregados >8 mm son superiores en Ag con respecto a los usos en pastura y se puede observar, además, la menor proporción de los agregados <2 mm. La Foto también ilustra la influencia de 5 años de pasturas en la rotación ya que según se observa el suelo bajo F+A y A+A se encuentra más cercano al LL que a la situación Ag. En la Foto 6 se presentan los agregados >8 mm a fin de observar con mayor detalle la estructura de los mismos. Los agregados bajo el uso LL, A+A y F+A fueron generalmente más irregulares con superficies más heterogéneas con evidencias de una mayor actividad biológica, mientras que en Ag tienden a ser más angulares con superficies lisas y colores más claros, indicando una estructura de suelo más pobre. La presencia de mayores propor-

ciones de agregados pequeños y menor proporción de agregados de mayor tamaño en suelos con pasturas podría estar explicada por diferencias en el tipo de estructura hallado en el epipedón mólico. La estructura más común en suelos agrícolas de la región son bloques subangulares o angulares, en cambio, en suelos con pasturas se ha observado que los bloques subangulares rompen a estructuras de tipo granular, con mayor porosidad interna, que reflejaría la mayor actividad biológica y contenidos de MO más elevados en estos suelos.

Recientemente, Zhao et al. (2020) reportaron que la textura y la MO influenciaron significativamente en la compleja porosidad interna de los agregados llamada porosidad de los "intra-agregados". La misma no es una entidad fija sino por el contrario es dinámica, se asocia con microorganismos, lombrices, raíces y se encuentra íntimamente relacionada con el ciclado de carbono. La importancia de los poros radica en que son conductos para el flujo de agua y el transporte químico, así como hábitats para microorganismos, y por lo tanto juegan un papel clave en la determinación de las tasas y magnitudes de la mayor parte de los procesos del suelo (Kravchenko y Guber 2017, Kravchenko et al., 2020).

La estabilidad de agregados es una medida de

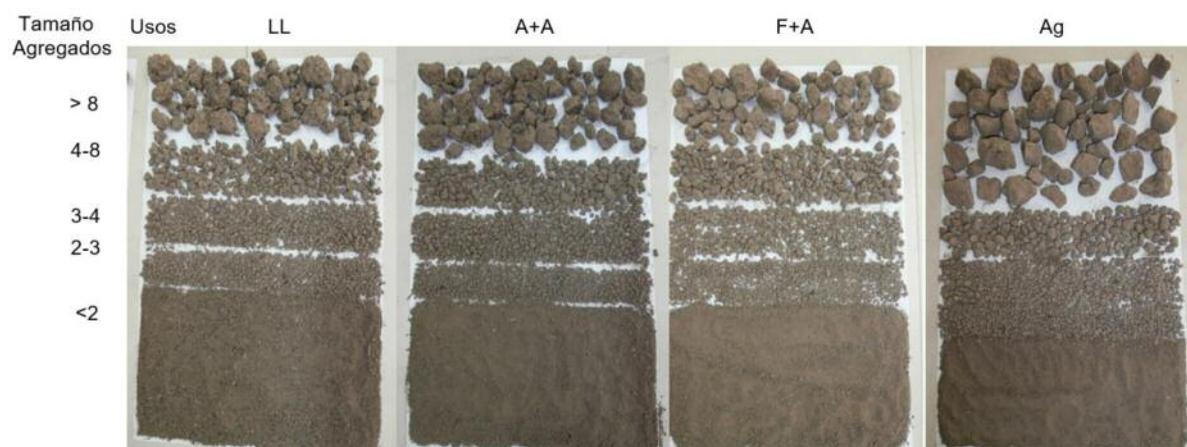


Foto 5: Imagen de la representación proporcional de los diferentes tamaños de agregados (mm) en los usos Llorón (LL), alfalfa+agropiro (A+A), festuca+agropiro (F+A) y agrícola (Ag).

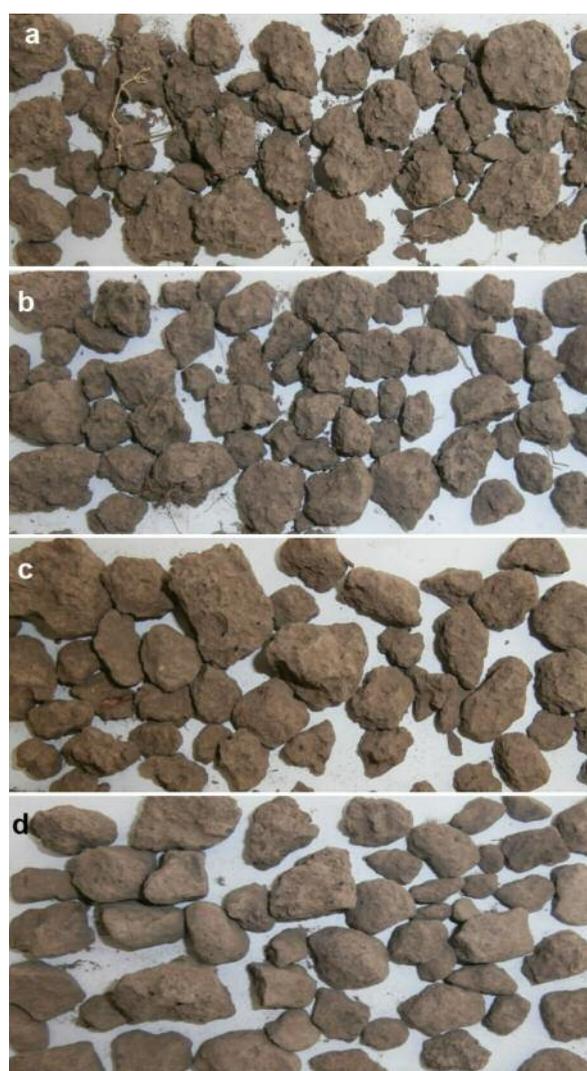


Foto 6: Aspectos morfológicos de los agregados >8 mm en los usos: a) Llorón, b) alfalfa+agropiro, c) festuca+agropiro y d) agrícola.

la resistencia que ofrecen los mismos al ser influenciados por fuerzas externas, como precipitaciones, tránsito de maquinaria, pisoteo de animales. Estas pueden ser expresadas a través de indicadores como el índice de inestabilidad estructural (IIE), siendo indirectamente proporcional a la estabilidad del suelo, es decir que el menor valor del IIE representa a un suelo con mejor estabilidad. Para 0-6 y 6-12 cm de profundidad los valores se encontraron próximos entre sí y no presentaron diferencias significativas. En cambio, en 12-18 cm los valores tuvieron mayor variación donde el uso con F+A fue el de menor índice (Tabla 8).

El proceso de erosión eólica, es una de las causas de degradación de suelos más importantes en ecosistemas secos y semiáridos (Buschiazzo, 2006). Buschiazzo y Aimar (2003) y Panebianco y Buschiazzo (2007) comprobaron que la erosión de Ustipsamments típicos y Haplustoles énticos de la RSP, superaban las tasas permisibles de pérdida de suelo (8 Mg/ha. año).

La proporción de agregados obtenidos mediante el tamiz rotativo (Foto 7) para calcular la fracción erosionable (FE) se presenta en la Tabla 9. El 46 % del suelo bajo Ag tuvo agregados >19,2 mm, mientras que en los usos bajo pasturas esta proporción fue significativamente inferior (entre 12 y 19 %). Con respecto a los agregados menores a 19,2 mm (<0,42; 0,42-0,84; 0,84-2; 2-6,4; 6,4-19,2 mm) el uso Ag fue el que registró la menor proporción con respecto a F+A, A+A y LL.

Los valores de la FE para los diferentes usos evaluados se muestran en la Tabla 10. El uso bajo

Tabla 8: Índice de Inestabilidad estructural para llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag), en 0-6, 6-12 y 12-18 cm. Letras distintas en cada columna indica diferencias estadísticas significativas.

	IIE		
	0-6 cm	6-12 cm	12-18 cm
LL	0,78 A	0,67 A	0,97 A
A+A	0,75 A	0,63 A	0,81 AB
F+A	0,63 A	0,57 A	0,61 B
Ag	0,72 A	0,74 A	1,00 A

Ag presentó el menor valor, con diferencias significativas, con respecto a los usos con pasturas (mayores valores), lo que significa que el suelo bajo uso agrícola tendría menor proporción de agregados susceptibles a erosionarse. Estudios en la Región Semiárida Pampeana demostraron que en general, los suelos con mayor contenido de MO presentaron menor FE (Méndez et al., 2015; Colazo y Buschiazzo, 2010). Este comportamiento no se comprobó en el presente estudio, donde los suelos con menor MO presentaron mayor proporción de agregados > 8 mm, probablemente estos resultados se deban a que los suelos Ag se encuentran comparativamente más densificados que dieron lugar a una menor FE.

En los últimos años la tendencia es a una evaluación de la calidad del suelo a partir de la integración de indicadores físicos, biológicos y químicos, que resulten sensibles a las distintas prácticas de uso del suelo y puedan brindar información sobre distintos servicios ecosistémicos (Karlen et al., 2003).

Los resultados del trabajo demuestran que la proporción de los diferentes tamaños de agregados, el IIE y la FE no fueron los indicadores más apropiados para evaluar el efecto del manejo sobre la estructura del suelo. Por ejemplo, la presencia de mayor proporción de agregados más grandes no se correspondió con una mejor condi-

ción física del suelo. Se encontró que la presencia de agregados >8 mm (obtenidos mediante el tamizado en seco) como los >19 mm (obtenidos por el tamiz rotativo) en el suelo Ag no fue un indicio de buena calidad estructural. En este sentido, se hubiera esperado que el menor contenido de MO en Ag se correspondiera con una mayor proporción de agregados de menor tamaño y en consecuencia una mayor FE. No obstante, nuestros resultados se encontraron en línea con los obtenidos por Colazo y Buschiazzo (2010) y Rojas et al., (2013) quienes comprobaron, en suelos de similar textura, mayor cantidad de agregados no erosionables en suelos con mayor historia agrícola, dando lugar a bajos valores en la FE.

La mayor proporción de agregados grandes en el suelo Ag se asociaría con procesos de densificación condicionados por una secuencia continua de secuencia agrícola, con bajo aportes de residuos. La menor incorporación de raíces a través del tiempo en el suelo Ag (Fernández et al., 2020) sería responsable del menor contenido de MO y la disminución de la porosidad interna de los agregados. El estudio de raíces ha tenido gran envergadura en los últimos años, en virtud de que la biomasa aportada por las mismas es estabilizada a MO y en mayor proporción aún que la derivada de la biomasa aérea (Katterer et al., 2011).



Foto 7: Tamiz rotativo, utilizado para calcular la fracción erosionable.

	Proporción de agregados (%)					
	< 0,42 mm	0,42-0,84 mm	0,84-2 m	2-6,4 m	6,4-19,2 mm	> 19,2 mm
LL	14,6 A	4,5 AB	13,7 A	17,8 A	36,6 A	12,5 C
F+A	16,9 A	4,9 A	9,6 AB	17,7 A	31,7 A	18,9 B
A+A	16,6 A	4,4 AB	8,3 B	17,2 A	33,3 A	19,0 B
Ag	8,4 B	3,4 B	5,7 C	11,1 B	24,95 B	46,1 A

Letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativa.

Tabla 9: Proporción de agregados obtenidos por tamiz rotativo, para llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag), en 0-6, 6-12 y 12-18 cm.

Tabla 10: Fracción erosionable (FE) para llorón (LL), festuca+agropiro (F+A), alfalfa+agropiro (A+A) y agrícola (Ag).

	FE (%)	
LL	18,4	A
F+A	19,9	A
A+A	18,3	A
Ag	13,08	B

Letras distintas en cada columna indica diferencias estadísticas significativas.

La explicación por la cual el IIE tampoco fue un indicador apropiado para diferenciar los efectos de los diferentes usos, podría estar condicionado por la metodología empleada que involucra los agregados de 2-8mm, los cuales comparativamente se encontraron menos influenciados por el manejo que los <2 y >8 mm. Este efecto diferencial del manejo también fue observado por Fernández et al. (2010) quienes expresan que los menores cambios en la agregación del suelo por efecto de su uso se registraron en los agregados comprendidos entre 2-4 mm.

Valores de referencia

En relación al objetivo planteado acerca de si los indicadores físico-hídricos bajo el planteo mixto de rotación, se aproximan a los niveles de los indicadores bajo el uso con pastura permanente de gramínea (LL), se confeccionaron las Tablas 11 y 12. El suelo bajo uso LL es considerado condición de referencia, debido a que representa un suelo en un óptimo estado de conservación (Fernández, 2018). Debido a ello, se propuso considerar a los valores promedios de los indicadores

como una aproximación a los valores de línea de base de indicadores físico-hídricos para los suelos francos de la Región Semiárida Pampeana y se consideró el valor de cada indicador como valor relativo al uso LL (100%). Los valores relativos de todos los indicadores evaluados de las dos pasturas perennes (F+A y A+A), se encontraron más próximos a los valores de LL que al uso Ag. En este sentido se pudo afirmar que los indicadores físico-hídricos se aproximaron al planteo mixto de rotación, pero particularmente la pastura A+A fue la que más próxima se encontró a la situación de referencia. La cantidad de raíces superó en el primer metro de profundidad a la encontrada en LL, y los contenidos de MOJ después de 5 años de producción fueron similares en ambos usos.

Consideraciones finales

Estos resultados indicarían que, en sistemas mixtos las rotaciones con pasturas perennes, y más aún si incluyen especies leguminosas, podrían mantener condiciones muy favorables de fertilidad física y biológica del suelo, en planteos de siembra directa continua. Esto sería el resultado del constante aporte de material (biomasa) a lo largo del tiempo y de la acción física directa de los sistemas radicales generalmente densos de las pasturas que generan condiciones adecuadas para la acumulación de carbono en el suelo (Studdert, 2017).

El uso Ag se encontró muy alejado de la situación de la línea de base (LL), principalmente en la cantidad de raíces, MO, MOJ, Ma e infiltración. Esta mayor dificultad para la captación del agua

	MO	MOJ	DA	PT	Ma	CR	DAM	I Ac	I B	Raíces
LL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F+A	85	97	123	86	74	106	104	66	72	84
A+A	91	100	110	89	81	107	100	78	77	108
Ag	68	55	128	78	59	125	106	38	37	39

Materia orgánica total (MO), materia orgánica joven (MOJ), densidad aparente (DA), porosidad total (PT), macroporos (Ma), compactación relativa (CR), densidad aparente máxima (DAM), infiltración acumulada (I Ac), infiltración básica (I B).

Tabla 10: Valores relativos (%) de los indicadores de suelo con respecto al uso bajo pasto llorón (LL), para festuca+agropiro (F+A), agropiro+alfalfa (A+A) y agrícola (Ag).

	PrA	PrA	PrA	PrA	PMA	PMA	PMA	PA	PA	PA
	<2	2-4	4-8	>8	2-4	4-8	>8	2-4	4-8	>8
LL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F+A	102	102	113	87	103	98	124	105	96	100
A+A	96	94	100	112	101	86	153	101	100	102
Ag	75	84	106	152	104	119	237	92	92	90

Proporción de agregados (PrA), peso de mil agregados (PMA), porosidad de los agregados (PA).

Tabla 11: Valores relativos de indicadores de la estructura del suelo con respecto al uso bajo pasto llorón (LL), para festuca+agropiro (F+A), agropiro+alfalfa (A+A) y agrícola (Ag).

de lluvia es especialmente preocupante en regiones semiáridas, donde las precipitaciones no logran cubrir normalmente el uso consuntivo de los cultivos, constituyendo la principal limitante de los sistemas de producción. Se plantea como interrogante si los atributos del suelo bajo Ag continuarán disminuyendo en los próximos años y cuál puede ser el grado de limitación a la producción en caso de que ello ocurra.

Parte de los resultados presentados en este capítulo se encuentran publicados en:

Fernández R, N Furch, M Bissolino, I Frasier, E Sherger, A Quiroga. 2020. Contribución de las pasturas perennes en la fertilidad física y biológica en molisoles de la Región Semiárida Pampeana. *Ciencia del Suelo* 38: 1-16.

Fernández R, M Lucas, L Painemilla, A Quiroga. 2021. Efecto de las pasturas perennes en la estructura de Molisoles, de la Región Semiárida Pampeana. Parte II. *Ciencia del Suelo*, en prensa.

CAPÍTULO 11

Efectos acumulados de la inclusión de cultivos de cobertura en planteos con alta frecuencia de silo

Uhaldegaray Mauricio¹, Oderiz Agustín², Frasier Ileana³, Kloster Nanci³, Fernández Romina³, Quiroga Alberto^{3 4}

1 Becario INTA, 2 Ex becario INTA, 3 INTA, 4 FA- UNLPam

Experiencia que se lleva a cabo en dos tipos de suelo en la EEA INTA Anguil

El incremento de la superficie destinada a cosecha mecánica de forraje, la alta frecuencia de cultivos destinados a silo para satisfacer los requerimientos de la intensificación ganadera abren interrogantes respecto a distintos efectos sobre el suelo. Entre ellos, la disminución de la cobertura, balance negativo de materia orgánica, mayor tasa de extracción de bases, que en el mediano a largo plazo pueden dar lugar a disminuciones de pH, degradación física y cambios importantes en la eficiencia de uso del agua. Para dar respuesta a parte de estos interrogantes fue necesario establecer ensayos de larga duración que acumulen efectos en el tiempo y en suelos de distintas texturas. Con esta finalidad se pusieron en marcha tres tesis de posgrado, que posibilitaron generar conocimiento durante 11 años. Parte de los resultados son expuestos en el presente capítulo, complementando de esta manera la diversidad de temas de manejo de suelos que fueron abordados en los capítulos anteriores.

Contenido del capítulo

- Objetivo
- Características del experimento
- Resultados
 - Aspectos biológicos
 - Suelo arenoso franco
 - Suelo franco
- Consideraciones Finales

Objetivo

El sector agropecuario argentino ha experimentado grandes cambios en las últimas décadas. Amplias regiones del país experimentaron un cambio del modelo agropecuario mixto (agricultura y ganadería) hacia un sistema de agricultura permanente. Este proceso se debió principalmente a los buenos precios agrícolas relativos y a la simplicidad productiva del cultivo de soja, en contraposición con los bajos precios y la complejidad de la producción ganadera (Álvarez et al., 2008). Este avance hizo que la ganadería cediera más de 13 millones de hectáreas del territorio nacional a los cultivos agrícolas. No solamente ocurrió un desplazamiento de la actividad ganadera hacia zonas marginales, sino también una creciente intensificación/concentración (aumento de carga). Se ha verificado una transición del sistema clásico pastoril a uno con suplementación estratégica, pasando posteriormente al encierre de los animales durante todo el año en corrales donde son alimentados mediante la realización de pastoreo mecánico (Gallardo, 2010).

La incorporación de los forrajes conservados, los aumentos en las eficiencias de cosecha del forraje (pastoreo mecánico) y la incorporación de tecnología a la producción pecuaria probablemente han permitido compensar parcialmente los impactos negativos de la menor disponibilidad de tierras e inferior calidad de las mismas sobre la actividad ganadera. En este marco, se observa una notable expansión de la práctica de engorde intensivo a corral (feed lot), que utiliza granos y forrajes procesados como base de la alimentación del ganado, desplazando gradualmente la actividad tradicional de ganadería extensiva, en la que

la alimentación se realizaba fundamentalmente a partir de pasturas. Este tipo de sistema supone además una nueva forma de articulación entre las actividades agrícolas y ganaderas, que se distingue de los esquemas tradicionales de rotación de cultivos con pasturas y forrajeras (Chavay, 2012).

Reyes (2021) señala que los feedlots ganan cada vez mayor espacio en la región en la búsqueda de intensificar la producción. En La Pampa están registrados 121 establecimientos con una producción de 182.500 cabezas bovinas. Esta cifra implica que 30 de cada 100 animales faenados pasa por un confinamiento total. Asociado a ello, y al traslado de forraje (rollos, silos) hacia corrales de engorde se ha triplicado la tasa de extracción de algunos nutrientes en relación con el sistema pastoril.

La cosecha mecánica implica la extracción total de la biomasa aérea y por consiguiente los nutrientes contenidos en ella (principalmente cationes del complejo de intercambio, nitrógeno y fósforo) para ser trasladados a corrales de encierre y alimentar el ganado. Por otra parte, este hecho produce también consecuencias negativas sobre las propiedades físicas del suelo (Quiroga et al., 2009) ya que la escasa cobertura remanente favorece los procesos de erosión (principalmente eólica) y el encostramiento - encharcamiento superficial de los suelos.

El deterioro de la condición física de los suelos guarda una estrecha relación con la pérdida de carbono, principalmente de las fracciones más lábiles. En este sentido, la degradación se manifiesta como pérdida de estructura edáfica (Quiroga et al., 2009), la cual, además de favorecer los procesos de erosión (Aimar et al., 2012; Colazo & Buschiazzo, 2010) afecta negativamente el flujo del agua, la difusión de los gases y en consecuencia también la actividad biológica del suelo (Hakansson & Reeder, 1994).

Por otra parte, además del carbono, aquellos nutrientes móviles como el nitrógeno (N) proveniente de los fertilizantes y/o de la mineralización de la materia orgánica que no es absorbido por las plantas puede perderse por procesos de volatilización y/o lixiviación. Esta pérdida resulta favorecida por el largo período de barbecho que tiene lugar entre dos cultivos de verano (marzo hasta noviembre), principalmente cuando uno de ellos es destinado a cosecha mecánica anticipada para

la confección de silo. En este contexto, la inclusión de cultivos de cobertura (CC) en la rotación aparece como una herramienta estratégica para generar cobertura, reducir los procesos de erosión, la incidencia de malezas y capturar nutrientes potencialmente lixiviables, además de contribuir al balance de materia orgánica (secuestro de carbono) mediante el aporte de su biomasa aérea y radicular (Frasier et al., 2020). El término "secuestro" se refiere al ingreso de carbono en el suelo, su transformación a materia orgánica y estabilización a largo plazo. Los procesos que involucra son principalmente bioquímicos y biológicos, mientras que los mecanismos de estabilización son del tipo físico-químicos. Estas transformaciones ocurren dentro de la matriz del suelo, en la interfase residuo-suelo y también sobre los mismos residuos que se van acumulando en superficie.

La relación entre el aporte de residuos, la materia orgánica del suelo y la biomasa microbiana se ha convertido en un tema central para comprender el funcionamiento de los ecosistemas terrestres (Anderson y Domsch, 2010), y actualmente, se reconoce la importancia de la cantidad de residuos aportados y su efecto sobre el crecimiento microbiano para el secuestro de carbono (Bradford et al., 2013). El uso de la siembra directa como práctica de manejo conservacionista y la inclusión de cultivos de cobertura en la rotación podrían ser posibles estrategias a implementar para reducir las pérdidas de carbono y capturar nutrientes durante los meses invernales (Daliparthy et al., 1994). Sin embargo, poco se conoce acerca de la contribución relativa de los residuos en superficie y las raíces en la acumulación de carbono en el perfil bajo siembra directa y su compartimentación en la materia orgánica del suelo. Gale et al. (2000) sugieren que los efectos beneficiosos de la siembra directa en la acumulación de carbono orgánico del suelo se deben principalmente al aumento de la retención de carbono derivado de las raíces.

En los sistemas de siembra directa, la ubicación de los residuos sobre la superficie del suelo y su baja calidad, surgen como limitantes para el secuestro de carbono (C). La inclusión de leguminosas como CC sería una estrategia posible para favorecer la captura de C en estos sistemas.

Teniendo en cuenta que resulta escasa la información sobre interacciones entre la rotación de

sistemas ganaderos intensificados y la evolución de propiedades edáficas, surge la necesidad de evaluar algunas tecnologías para mitigar/atenuar potenciales efectos no deseados que podrían aparecer. Una de ellas podría ser el establecimiento de especies invernales utilizadas como CC, incluidos inmediatamente después de la cosecha mecánica del cultivo de verano o bien anticipando el establecimiento mediante siembras aéreas.

En base a lo expuesto se estableció como objetivo de trabajo evaluar los efectos acumulados de la inclusión de cultivos de cobertura (gramíneas y leguminosas) sobre propiedades de dos suelos en sistemas ganaderos intensificados (con alta frecuencia de silo).

Características del experimento

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil "Ing. Guillermo Covas", en dos suelos diferenciados por sus texturas: Suelo arenoso franco, profundo y con influencia de napa (A) y suelo franco con tosca a 80-100cm (F). En ambos suelos (Fotos 1 y 2) se planteó la misma rotación de cultivos bajo siembra directa, incluyendo vicia y centeno como cultivos de cobertura intercalados entre cultivos de verano (sorgo y maíz) destinados a la confección de silo.

La experiencia se inició en 2010 y cuenta con 11 años de efectos acumulados de los siguientes tratamientos: T: Barbecho (sin CC); C: Centeno; C+N: Centeno fertilizado; V: Vicia; C+V: Centeno +

Vicia. Los mismos se dispusieron en bloques al azar con 4 repeticiones y parcelas de 300 m² (10m x 30m).

La densidad de siembra utilizada para los CC fue de 200 semillas viables/m² tanto para vicia como para centeno, y en la consociación se tuvo en cuenta una proporción de 40/60 de centeno y vicia, respectivamente. El distanciamiento entre hileras de siembra fue de 17 cm para alcanzar una distribución lo más homogénea posible. El tratamiento de centeno fertilizado (C+N) consistió en la aplicación de 60 kg/ha de nitrógeno aplicado a la siembra en forma de urea granulada (46% N). A su vez, todos los tratamientos fueron fertilizados con fósforo a razón de 20 kg P/ha utilizando superfosfato triple de calcio (46% P₂O₅). La aplicación se realizó con anterioridad a la siembra de los CC, para evitar deficiencias de este elemento. La siembra de maíz se realizó con una densidad de 70.000 plantas/ha, con un distanciamiento entre hileras de 0,52 m y en dirección perpendicular a la siembra de los CC. Luego del muestreo de la biomasa aérea del cultivo de maíz en estado fenológico de grano pastoso se cosechó el total de la superficie con una picadora simulando la práctica habitual de silaje.

El secado de los CC se realizó con la aplicación de agroquímicos utilizando la mezcla de glifosato (isopropilamonio 48%) y 2,4-D (éster isobutílico 100%) a razón de 3.000 cc/ha y 500 cc/ha, respectivamente (con el agregado de coadyuvantes para mejorar la calidad de la aplicación). Para



Foto 1: Perfil de suelo de textura franca con tosca a 100cm; Foto 2: perfil de suelo arenoso franco al momento de evaluar distribución de raíces.



Foto 3: Vista de parcelas con centeno y vicia y; Foto 4: Vista de la parcela testigo con presencia de malezas y del tratamiento con centeno.

mantener el tratamiento barbecho libre de malezas fue necesario realizar una aplicación más respecto al resto de los tratamientos con los mismos agroquímicos en el mes de agosto/septiembre. Fotos 3 y 4 muestran el desarrollo de los cultivos de cobertura.

Determinaciones en suelo:

- Densidad aparente mediante el método del cilindro.
- Materia orgánica total y sus fracciones <53 y >53 μm . Sobre cada una de las fracciones se determinó C y N total.
- Test Proctor de compactación dinámica a energía constante para determinar densidad aparente máxima, humedad crítica y susceptibilidad a la compactación.
- Temperatura del suelo a 5 y 10 cm de profundidad mediante termómetros digitales.
- Humedad de capacidad de campo a campo y mediante ollas de presión de Richards (0,3 atm). Humedad de punto de marchitez permanente mediante membranas de presión de Richards (15 atm).
- Humedad del suelo en estratos de 20 cm, basado en el método gravimétrico. Las determinaciones se realizaron a siembra y corte de los cultivos.
- Contenido de N-NO_3^- del suelo: Se determinó al mismo momento que la humedad edáfica dividiendo el perfil en 5 estratos de profundidad (0-20, 20-60, 60-100, 100-150 y 150-200 cm).
- Infiltración de agua en el suelo: Se determinó la infiltración acumulada, tasa de infiltración e infiltración básica mediante la utilización del método de doble anillo.
- En la napa se determinó el nivel de la zona

saturada, el frente de ascenso capilar, pH y conductividad eléctrica.

Determinaciones en cultivos:

- Biomasa aérea del material vegetal sobre la finalización de los cultivos de cobertura (seca químico): se tomaron 3 muestras por parcela para determinar su contenido de materia seca. Luego se molieron para realizar la determinación de C y N total.
- Biomasa aérea de sorgo/maíz: cuando el cultivo alcanzó el inicio de estado fenológico grano pastoso (R4), se cortaron las plantas de 2 hileras por 3 m lineales de cada tratamiento (3,15 m²) a 10 cm desde el suelo simulando la altura de corte de una picadora. El material se pesó en verde y luego se llevó a estufa de 60°C para determinar su peso seco. A partir del material seco se separó en hojas, tallos y espigas, que luego se molió para su posterior determinación de C y N total.
- Biomasa de raíces en el cultivo de cobertura: En cada parcela se marcó una transecta perpendicular al sentido de siembra de los cultivos en la cual se realizaron 8 piques equidistantes hasta el metro de profundidad con un barrenos tubular (5 cm de diámetro) para evaluar la distribución espacial de raíces.
- Residuos de los cultivos de cobertura: Se recolectaron los residuos sobre la superficie del suelo luego del secado de los cultivos de cobertura cada 30 días tomando una muestra compuesta por 4 submuestras por parcela.
- Para las distintas secuencias de cultivos se calculó el uso consuntivo y eficiencia de uso de agua

Resultados

En el presente capítulo se presentan algunos resultados de estos dos experimentos de larga duración que ya cuentan con 11 años de efectos acumulados. En la Figura 1 se observan las precipitaciones durante los distintos momentos de la secuencia de cultivos: cultivo de cobertura-barbecho-cultivo de verano. Se comprueba que las precipitaciones promedio del periodo de estudio son semejantes (en los tres periodos de la secuencia) con el promedio de 50 años. Este aspecto es importante al momento de considerar la representatividad de los resultados obtenidos.

Resultados de los primeros tres años

Durante los tres primeros años del experimento se buscó generar conocimiento sobre temáticas escasamente abordadas en esta región. Las mismas se centraron en buscar respuesta acerca de cómo los efectos de las distintas secuencias pueden incidir en la captura de carbono de biomasa

aérea y de raíces, relaciones C/N y fundamentalmente en la actividad biológica (Frasier, 2015). Al respecto, señala la investigadora, resulta necesario profundizar acerca de las relaciones entre los procesos de mineralización e inmovilización de manera tal de poder reconocer la conexión entre el metabolismo del C y nitrógeno (N) del suelo, y sus cambios a través de la descomposición del pool de biomasa microbiana del suelo.

Los objetivos planteados, en esta primera etapa, fueron: cuantificar el C y N orgánico en diferentes compartimientos de sus ciclos, obtener información acerca de condiciones ambientales y calidad de residuos que determinan la mineralización neta de N, evaluar el efecto de la rizósfera y disponibilidad de N sobre la composición de la población microbiana, evaluar la respuesta de las poblaciones bacterianas y fúngicas a sustratos con diferente calidad y evaluar la disponibilidad de N fijado por la vicia sobre el cultivo sucesor. Como fue expuesto en características de la experiencia,

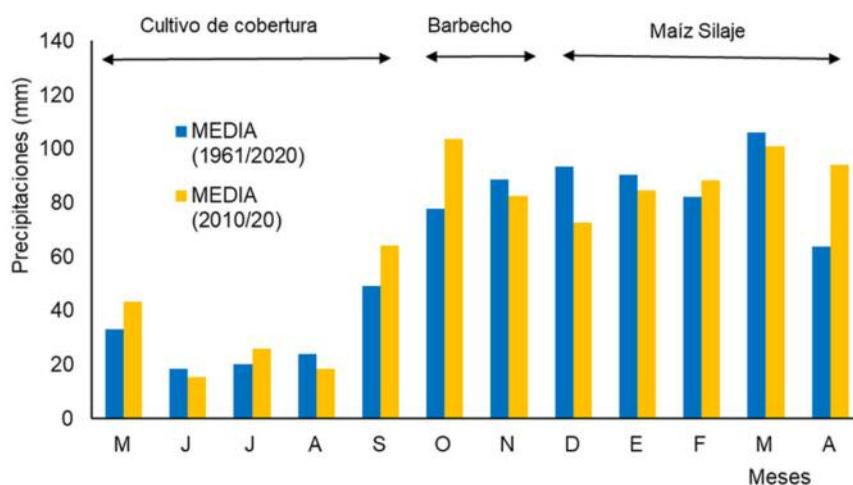


Figura 1: Precipitaciones durante la secuencia cultivo de cobertura-barbecho-cultivo de verano destinado a silo.

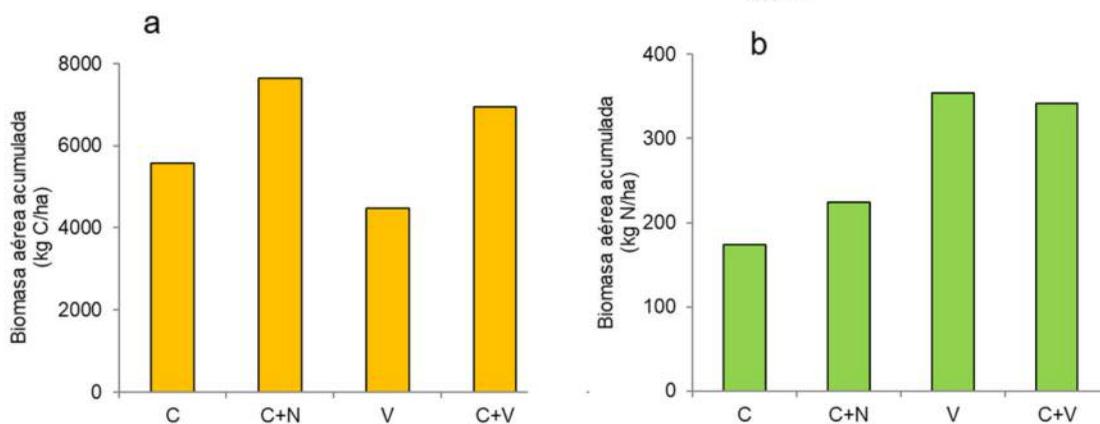


Figura 2 a y b: C y N en biomasa aérea acumulada (tres años) de los cultivos de cobertura, respectivamente.

los tratamientos testeados fueron: centeno (C), centeno + 40/60N (C+N); vicia (V); centeno+via (C+V) y un testigo sin CC (T).

En la Figura 2 (a y b) se muestran los contenidos de C y N en la biomasa aérea acumulada de los cultivos de cobertura durante los primeros tres años. La inclusión de la vicia, sola o consociada, mejoró la calidad de los residuos de la rotación e impactó positivamente sobre el cultivo sucesor, como veremos más adelante sobre la producción de silo de ambos suelos. La leguminosa contribuyó con 31 y 112 kg N/ha por fijación biológica el primer y segundo año de la experiencia. En el mismo sentido, el aporte de N por fertilización mejoro la captura de C por parte del centeno.

Por su parte la Figura 3 (a y b) muestra el C y N contenido en biomasa de raíces en los primeros 12 cm del perfil. Es importante destacar en primer lugar el bajo contenido de C y N, condicionado por la escasa biomasa de raíces, en el tratamiento T (con barbecho largo sin CC).

Complementariamente, las Figuras 4 (a y b) muestran las distintas relaciones C/N para bioma-

sas aéreas y de raíces. En este punto es importante tener en cuenta que relaciones más bajas van a entregar más rápidamente los nutrientes. Es decir, estas diferencias nos permiten inferir sobre distintos tiempos de descomposición de los residuos y aporte de nutrientes, los cuales pueden o no coincidir con los requerimientos del cultivo sucesor. Si el aporte es muy temprano se corre riesgo de lixiviación, mientras que si el aporte es tardío los nutrientes estarán retenidos en biomasa y no disponibles para el cultivo. Por ello es necesario sincronizar momento de secado de los CC con la relación C/N de los mismos y el momento en que son requeridos los nutrientes por el cultivo sucesor.

En relación con los distintos tiempos de entrega de nutrientes, la Figura 5 muestra los perfiles de N disponible evaluados a la siembra del cultivo de maíz, aproximadamente a los 40 días del secado de los cultivos de cobertura. Resulta muy evidente el efecto del cultivo de vicia, donde la menor relación C/N determina una mayor disponibilidad de N para maíz, pero también cierto riesgo de lixiviación (mayores contenidos de N a

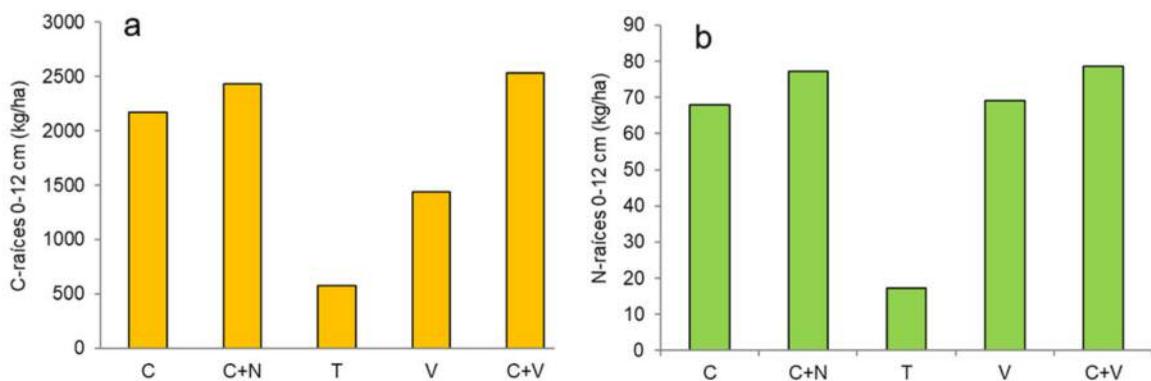


Figura 3: Carbono (C) a) y nitrógeno (N) b) en biomasa acumulada de raíces (tres años) de los cultivos de cobertura y testigo.

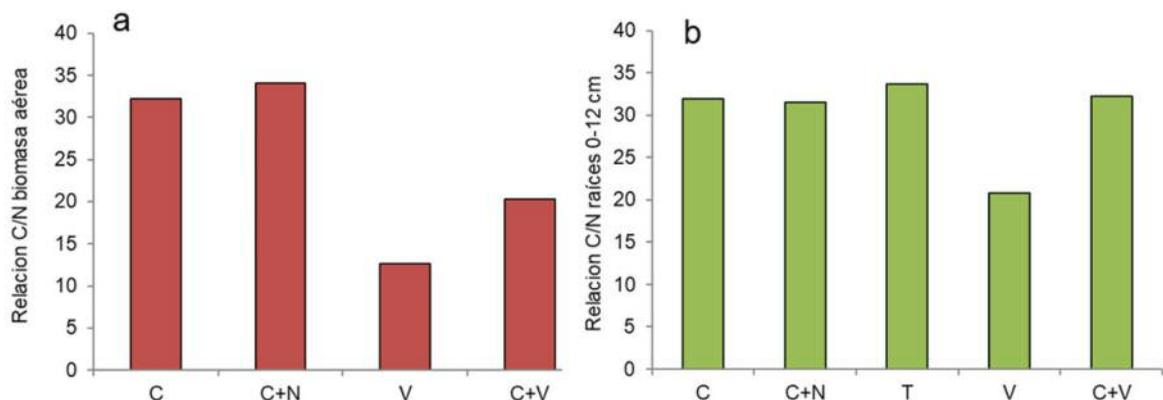


Figura 4: Relaciones C/N en a) biomasa aérea y b) de raíces.

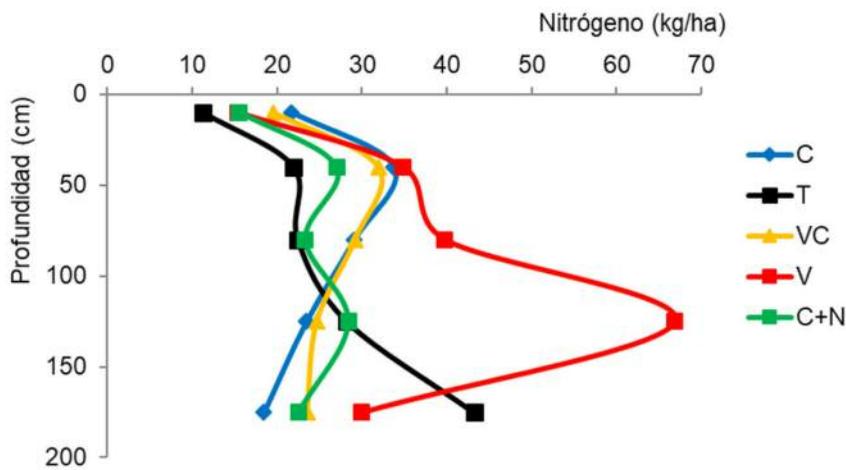


Figura 5: Distribución de nitrógeno en el perfil del suelo bajo distintos cultivos de cobertura como antecesores de maíz.

100cm profundidad). También es importante destacar que el suelo que permaneció en barbecho largo (T), sin consumo de nutrientes por 7 meses, presenta los mayores contenidos de N en profundidad (160-200cm). ¿Lo que abre interrogantes respecto a que pasó más abajo?, cuanto N pudo haber pasado los 200cm de profundidad y consecuentemente “perdido” por debajo de la profundidad efectiva de las raíces de la mayoría de los cultivos anuales.

Una mayor disponibilidad de N en el sistema se tradujo en un incremento de la tasa de ciclado de nutrientes y en consecuencia mayor secuestro de C total en ambas profundidades de suelo y más N en los primeros 6 cm del perfil. Además, la comunidad microbiana del suelo sufrió cambios en el muy corto plazo hacia una población dominada por bacterias.

Los resultados de esta experiencia demuestran el rol fundamental del N sobre el ciclado de

nutrientes por la biota del suelo y el secuestro de C y N en la MO.

La biomasa de raíces fue el sustrato que mejor explicó las variaciones observadas en la biomasa microbiana del suelo (Figuras 6 a y b).

El contenido de C-raíces de los CC explicó el 45% y el 60% de la variación observada en el carbono de biomasa microbiana (CBM) a 0-6 cm ($p=0,0002$) y 6-12 cm ($p<0,0001$). La biomasa microbiana del suelo mostró incrementos lineales por el aporte de C-raíces hasta un valor máximo de 1158 y 352 kg/ha para 0-6 y 6-12 cm (determinaciones realizadas en el suelo franco). Por encima de estos niveles la biomasa microbiana no mostró variaciones por el agregado de este sustrato y se estabilizó en magnitudes de 204 y 178kg/ha.

En base a lo expuesto se puede inferir sobre la limitación que representa el barbecho largo para la actividad biológica, asociado principalmente

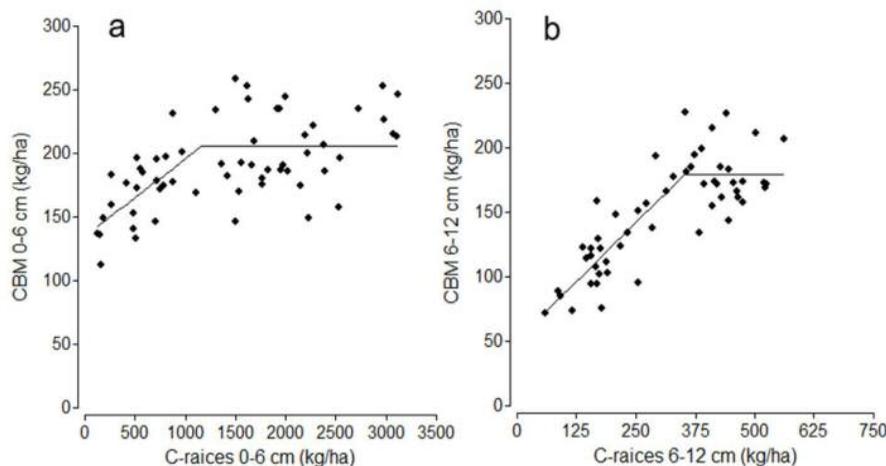


Figura 6: Carbono de la biomasa microbiana (CBM) en relación al carbono de raíces en a) 0-6 y b) 6-12 cm de profundidad.

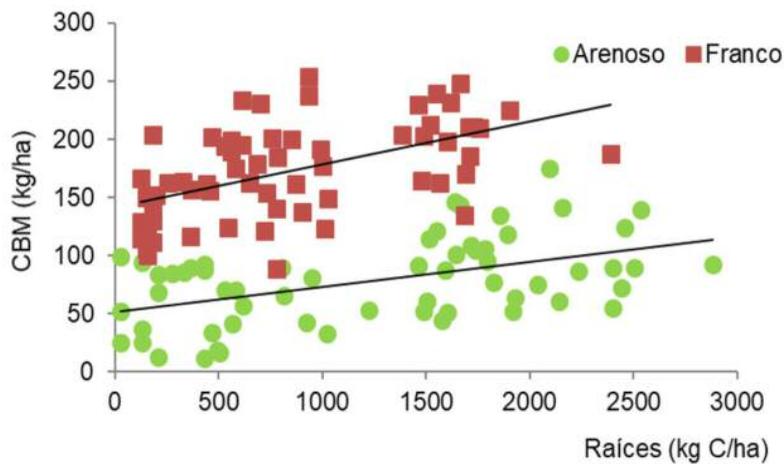


Figura 7: Carbono de la biomasa microbiana en función a las raíces, para el suelo arenoso y franco.

con el escaso contenido de biomasa de raíces. Estos bajos contenidos de raíces lo hemos corroborado en la red de ensayos de CC realizados en distintos ambientes edáficos, donde siempre se deja un testigo sin CC.

Otro factor muy importante, que se han destacado en los capítulos iniciales, es la composición granulométrica de los suelos (Textura). A mayor contenido de arcilla + limo es mayor la capacidad de almacenaje de agua, mayor la capacidad de capturar carbono. Esta influencia de la textura también se comprobó sobre el C de la biomasa de microorganismos. La Figura 7 muestra como a igual aporte de biomasa de raíces, por influencia de la textura, se alcanzan distintos niveles de CBM.

Biomasa aérea de los cultivos de cobertura y de los cultivos para silo

A continuación, se analizarán las producciones alcanzadas por los cultivos de cobertura y cultivos para silo durante los 11 años, en ambos suelos. Se

presentará información adicional sobre algunos parámetros del suelo (disponibilidad de agua, nitrógeno, infiltración, dinámica de residuos) a fin de caracterizar cada uno de los ambientes y mostrar algunos resultados preliminares sobre los efectos de las distintas secuencias evaluadas.

Resultados en suelo arenoso-franco

Este suelo con alto contenido de arena y baja capacidad de retención de agua, profundo y con presencia de napa, la cual puede contribuir significativamente sobre la productividad de los cultivos. Durante el periodo de estudio la profundidad de la napa varió ampliamente, entre 50 y 300 cm, en virtud de lo cual se sucedieron periodos de riesgo hídrico, de contribuciones positivas y periodos de "indiferencia", es decir, de no acoplamiento de las raíces de los cultivos con la napa. La Figura 8 muestra dos situaciones contrastantes, en cuanto a los perfiles hídricos al momento de la siembra de los CC: Durante 2015 la humedad del suelo se aproximó a capacidad de campo sin comprobarse

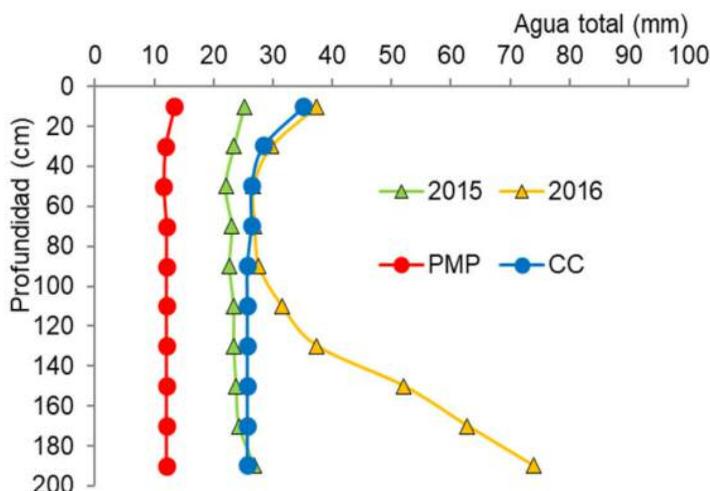


Figura 8: Perfiles de humedad del suelo (mm) al momento de la siembra de los cultivos de cobertura en las campañas 2015 y 2016.

influencia de napa en los primeros 200cm del perfil. Mientras que en la campaña siguiente (2016), la influencia de la napa se presentó a partir de los 100cm de profundidad.

La amplia variabilidad en la oferta hídrica total (precipitaciones + napa) que recibieron los cultivos se tradujeron también en un amplio rango de variación en la producción de biomasa por parte de los cultivos (kg/ha): centeno (2357-7796), centeno+N (3589-8616), vicia (1383-3480), vicia+centeno (1449-8338), maíz (8821-28799). En la Figura 9 (a y b) se muestran los rendimientos acumulados a) y promedio b) para cada uno de los CC en los 11 años de estudio.

Los resultados confirman la importante influencia de N en la eficiencia de captura de C por parte de los cereales de invierno. En 11 años se registró una diferencia acumulada de 16700 kg/ha de materia seca. Resulta promisorio el com-

portamiento de vicia y centeno juntos, dando lugar a excelentes producciones y a una biomasa compuesta más equilibrada en cuanto a C y N.

Quizás uno de los aportes más importantes para el productor lo constituya el rendimiento acumulado y promedio del cultivo de renta (maíz de silo) influenciado por distintos CC. Las Figuras 10 a y b muestran resultados muy importantes que además resultan consistentes por tratarse de un experimento de 11 años de duración. En primer lugar, el aporte de vicia a la producción de silo es muy importante, diferencia de 3800 kg/ha de materia seca promedio por año respecto del testigo (barbecho largo). Esta diferencia acumulada representa 41800 kg/ha más de biomasa. Es decir, un plus de 2 años de producción.

Por otra parte, se logró validar lo trabajado con algunos productores respecto de fertilizar el CC pensando en el cultivo sucesor de renta: “que

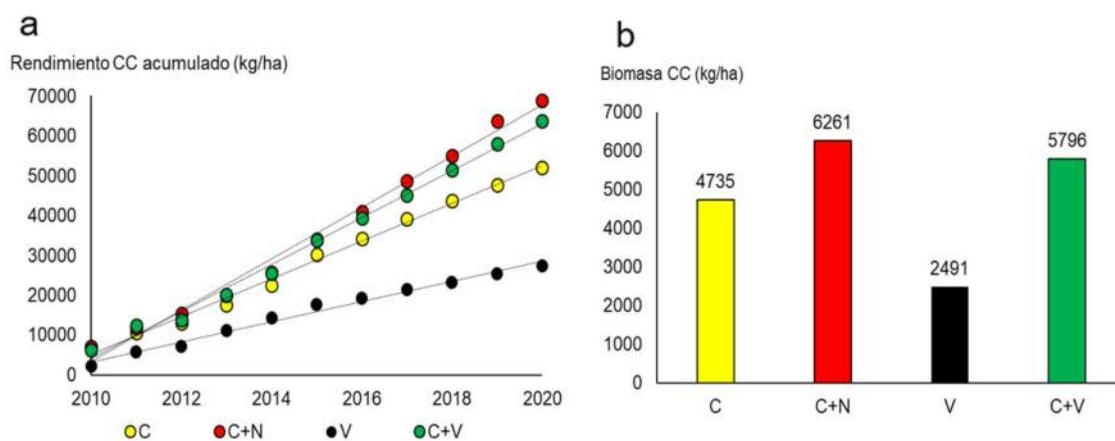


Figura 9: Rendimiento acumulado a) y b) biomasa promedio de centeno (C), centeno+nitrógeno (C+N), vicia (V) y centeno+vicia (C+V).

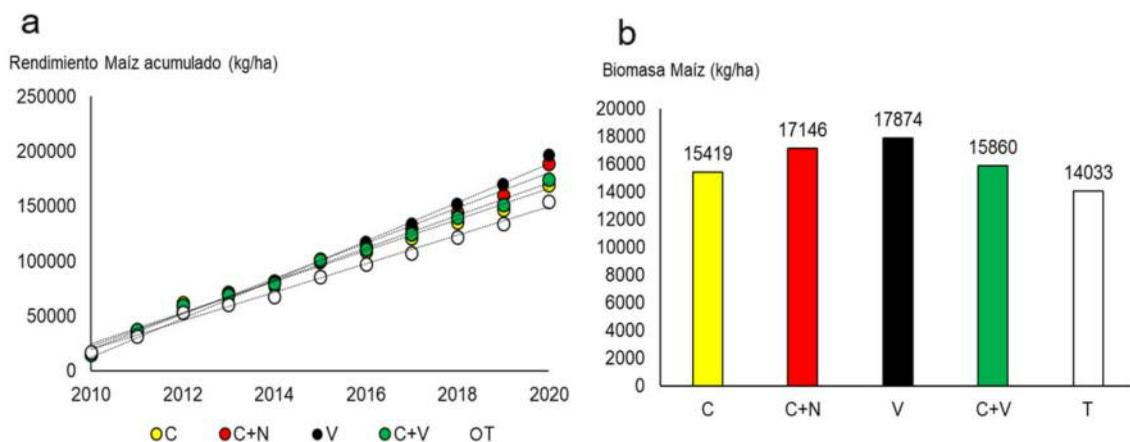


Figura 10: Rendimiento acumulado de maíz a) y b) biomasa promedio de maíz, sobre antecesor centeno (C), centeno+nitrógeno (C+N), vicia (V) y centeno+vicia (C+V) y testigo (T).

el fertilizante pase por dos cultivos". Este largo periodo de experimentación pone en evidencia que el maíz sobre C+N produce más que sobre C. Seguramente hay mucho por trabajar, pero resulta muy promisorio que el mismo fertilizante que incrementó la captura de C en el centeno también incremente la biomasa de maíz de silo.

Resultados en suelo franco

La mayor parte de los efectos observados en el suelo arenoso franco también se comprueban en el suelo franco, no obstante, algunas diferencias en cuanto a las características del perfil del suelo. Principalmente por presencia de tosca que limita el almacenaje de agua y el desarrollo de las raíces. De manera semejante a lo representado en el suelo arenoso-franco, la Figura 11 muestra los perfiles hídricos para las mismas campañas representadas en la Figura 8. Mientras en el suelo arenoso las principales diferencias se registraban en profundidad por influencia de la napa, en general en

el suelo franco las mayores diferencias son en los primeros estratos del perfil.

En cuanto a los rendimientos, también se comprueba un amplio rango de variación en la producción de biomasa por parte de los cultivos (kg/ha): centeno (1763-9643), centeno+N (3873-10439), vicia (551-4896), vicia+centeno (2309-10620), maíz (4922-29116). En la Figura 12 (a y b) se muestran los rendimientos acumulados y promedio para cada uno de los tratamientos. También en este suelo se obtuvo una importante respuesta de centeno a la fertilización nitrogenada y es para destacar el comportamiento de la consociación de vicia con centeno.

Las Figuras 13 a y b también resultan coincidentes y confirman los resultados obtenidos en el suelo arenoso-franco, donde maíz sobre vicia presenta una diferencia acumulada con el testigo que supera los 40000 kg/ha de materia seca. Además, maíz sobre centeno fertilizado produce más que sobre centeno sin fertilizar. Simplemente tener en

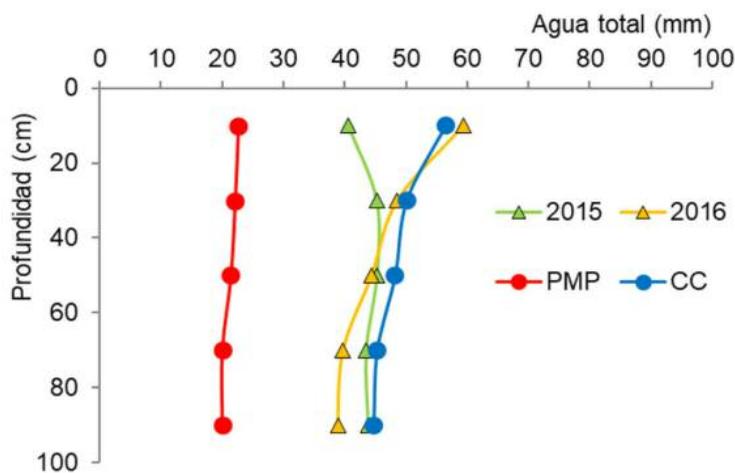


Figura 11: Perfiles de humedad del suelo (mm) al momento de la siembra de los cultivos de cobertura en las campañas 2015 y 2016.

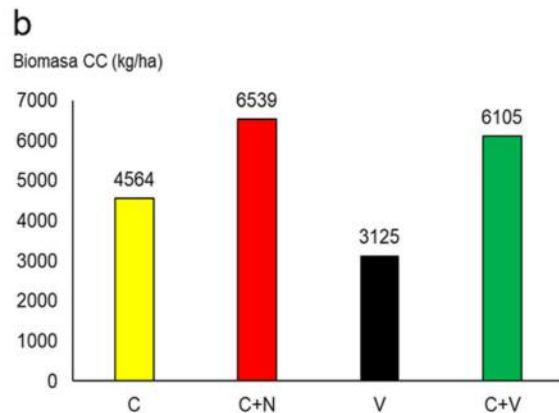
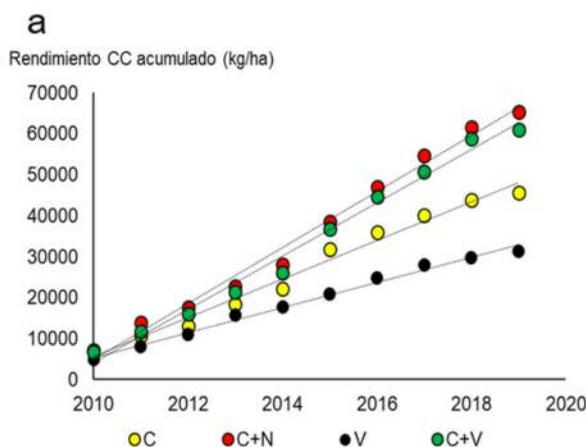


Figura 12: Rendimiento acumulado a) y b) biomasa promedio de centeno (C), centeno+nitrógeno (C+N), vicia (V) y centeno+via (C+V).

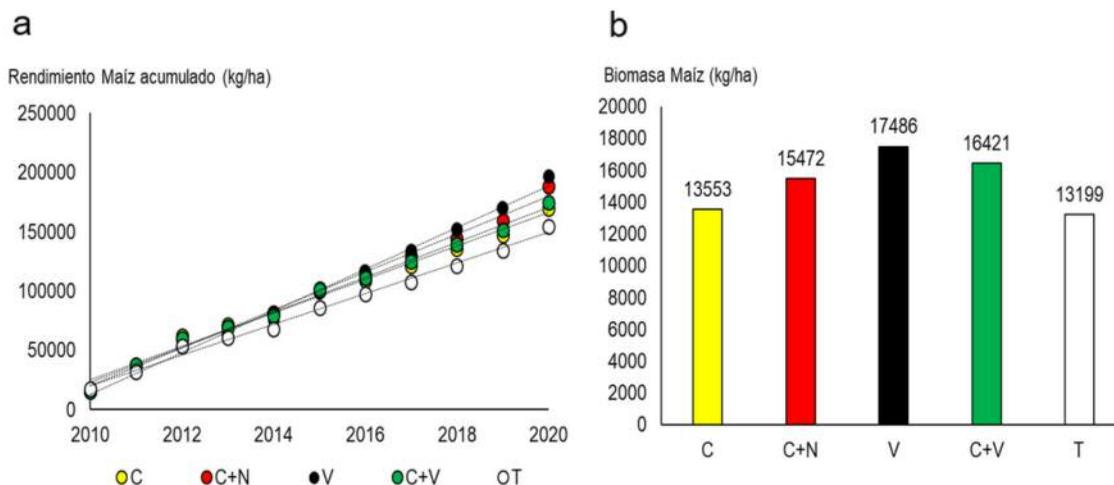


Figura 13: Rendimiento acumulado de maíz a) y b) biomasa promedio de maíz, sobre antecesor centeno (C), centeno+nitrógeno (C+N), vicia (V) y centeno+vicia (C+V) y testigo (T).

cuenta que en los primeros 3 años la biomasa corresponde a sorgo y los 8 años restantes a maíz.

Consideraciones finales

Finalmente, y tal lo expuesto en las características del experimento, se han realizado determinaciones de uso consuntivo que muestran para ambos suelos un incremento en la eficiencia de uso del agua en la producción de silo por influencia positiva de los CC. El aporte de N (fertilizante o biológico) incrementó la eficiencia de uso de agua para la captura de C en centeno. Resulta auspicioso que el mismo fertilizante contribuya sobre la producción y eficiencia de uso del agua

de dos cultivos. Resulta también relevante comprobar que la biomasa de raíces contribuye significativamente sobre el C de biomasa microbiana, en ambos suelos, aunque en mayor medida en el suelo franco.

En relación con las propiedades edáficas se registran disminuciones en la densidad aparente del estrato superficial, mejoras en la infiltración, estructura (mayor presencia de raíces en agregados y colores más oscuros, Foto 5) y se están realizando muestreos estratificados (tal lo expuesto en la metodología) para realizar un estudio detallado respecto a los efectos sobre la MO (total y fracciones), NO, P, pH, saturación de bases del



Foto 5: Agregados de suelo sobre suelo Franco y Arenoso-Franco en maíz (M) continuo y sobre 11 años de cultivo de cobertura (CC).

complejo de intercambio y propiedades físicas en general. En cuanto a la influencia sobre los cationes (Ca, Mg y K) se incorporarán muestras de suelo del sector periférico al ensayo (mismos cultivos, pero sin cosecha mecánica) a fin de obtener información sobre los efectos acumulados de 11 años de silo, donde prácticamente se triplica la extracción de bases respecto a planteos agrícolas y/o pastoriles.

Parte de estos resultados se encuentran publicados en:

Frasier I. 2015. Efecto de vicia y centeno como cultivo de cobertura sobre el balance de carbono y nitrógeno en un sistema de siembra directa de la Región Semiárida Pampeana. Tesis de Doctorado. UNSur.

Frasier I, E Noellemeyer, N Amiotti, A Quiroga. 2017. Vetch-rye biculture is a sustainable alternative for enhanced nitrogen availability and low leaching losses in a no-till cover crop system. *Field. Crops Res.* 214: 104–112.

Frasier I, A Quiroga, E Noellemeyer. 2016. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Sci. Total Environ.* 562: 628–639.

Oderiz A, M Uhaldegaray, I Frasier, A Quiroga, N Amiotti, P Zalba. 2017. Raíces de cultivos de cobertura: cantidad, distribución e influencia sobre el N mineral. *Revista Ciencia del Suelo* 35: 249-258.

CAPÍTULO 12

Uso de efluentes de tambo como fuente de nutrientes para la producción de forraje. Efectos sobre el suelo

Scherger Eric¹, Fernández Romina², Perez Micaela², Ileana Frasier², Quiroga Alberto^{2,3}

1 Ex becario INTA, 2 INTA, 3 FA- UNLPam

Experiencia que se lleva a cabo en EEA INTA Anguil

Contenido del capítulo

- Objetivos
- Características de la experiencia
- Resultados
- Consideraciones finales

Objetivo

A lo largo de los años, el creciente aumento poblacional y el incremento del consumo de productos pecuarios per cápita han llevado a una intensificación de los sistemas de producción causando, en algunos casos, evidentes problemas ambientales. Algunas de las alteraciones se registraron en los ciclos biogeoquímicos, la biodiversidad y en la propagación de la biota fuera de sus límites habituales, entre otros. Aunque se han registrado estas modificaciones, el gran desarrollo tecnológico permitió a los ecosistemas mantener su funcionalidad enmascarando de alguna manera los problemas ambientales. Los sistemas productivos han experimentado cambios importantes en los planteos agrícolas (que en algunos casos tiende a la monocultura) y en la ganadería cuya intensificación es creciente (Scherger et al., 2017). Mantener el equilibrio entre la producción de alimentos, el crecimiento socioeconómico y la protección del ambiente, constituyen uno de los retos más importantes a los que se enfrenta la sociedad actual.

En Argentina, la producción animal se intensificó mediante la concentración de una mayor cantidad de animales sometidos a engorde intensivo a corral. Reyes (2021) señala que los feedlots ganan cada vez mayor espacio en la región en

búsqueda de intensificar la producción. En La Pampa (julio 2021) se encuentran registrados más de 120 establecimientos con una producción de 182.500 cabezas bovinas. Esta cifra implica que 30 de cada 100 animales faenados pasa por un confinamiento total. Asociado a ello, y al traslado de forraje (rollos, silos) hacia corrales de engorde, la tasa de extracción de éstos sistemas se ha triplicado en relación al sistema pastoril.

La cosecha mecánica implica la extracción total de la biomasa aérea y por consiguiente de los nutrientes contenidos en ella (principalmente cationes del complejo de intercambio, nitrógeno y fósforo) para ser trasladados a corrales de encierre y alimentar el ganado.

Este nuevo planteo impuso, en superficies reducidas, una alta densidad de animales sometidos a un engorde intensivo a corral (conocido vulgarmente como "feed-lot") con granos y forrajes procesados (heno, silaje, etc). La agricultura aporta la mayor parte de los insumos que requiere ese planteo ganadero intensivo, y ambas actividades (agricultura y ganadería) que antes se articulaban en esquemas extensivos de rotación de cultivos, ahora aparecen desacopladas y especializadas (Viglizzo et al., 2010).

Estos cambios han producido una modificación adicional en la funcionalidad de los ecosistemas que, para sostener una mayor productividad, reciben una mayor presión de insumos y generan, por lo tanto, una mayor cantidad de residuos que pueden afectar el ambiente.

Vinculado a esta temática, en los últimos años Argentina ha experimentado un aumento en la producción lechera y, en consecuencia, una mayor generación de efluentes. En nuestro país existen aproximadamente 10.722 salas de ordeño con un

total de 1.590.000 vacas (OCLA, 2018). Este aumento se debió a una mayor eficiencia productiva del sector, pasando de modelos extensivos, es decir, de baja carga animal (1 VT/ha año, campos naturales, verdes y baja suplementación) a sistemas de media carga animal (entre 1,2 y 1,7 VT/ha año, cultivos anuales, silaje, suplementación alta, etc) (Beegle et al., 2000; Carbo, 2011).

Gran parte de las industrias lecheras se ubican en la Región Pampeana donde el 55% de las materias primas provienen de pequeños y medianos tambos, los cuales producen un máximo de 4.000 litros diarios de leche (MAGyP, 1995). Taberna y Charlón (1999) y Charlón et al. (2000) encontraron que el lavado de las instalaciones de ordeño para 100 vacas requieren un promedio de 3000 litros de agua diarios, y generan 36 kg de materia seca (materia fecal, restos de alimentos, entre otros).

La intensificación de la producción puede llevar a la generación de contaminantes y al incremento de los flujos de nutrientes y energía. Esto aumenta a medida que los animales permanecen más tiempo encerrados, generando por consiguiente importantes impactos sobre el ambiente (Herrero et al., 2006). Para mantener la sustentabilidad del sistema, hay que tener en cuenta cómo manejar los residuos orgánicos (estiércol y orina) de la operación de ordeño debido a que entre el 75% y 95% del volumen de agua utilizada por la industria lechera es desechada como efluente. Los efluentes líquidos provienen del lavado de máquinas, corrales, preparado de ubres, etc con una producción de 40-50 litros/día por vaca según las características de la instalación y del manejo operativo.

Desde un punto de vista agronómico es interesante limitar la transferencia de nutrientes hacia los corrales. Debido a esto, el uso de estos efluentes aparece como una alternativa para reponer estos nutrientes y también los provenientes de la suplementación estratégica de los animales (derivados de soja, girasol, maíz, aportes proteicos, entre otros). El efluente almacenado en depósitos temporarios o permanentes puede ser distribuido utilizando tanques estercoleros o equipos de riego en un suelo barbechado, en un cultivo o en una pastura (Taverna et al., 2002).

En ese sentido, los efluentes de tambo constituyen un peligro potencial de contaminación, pero al mismo tiempo, son considerados una fuente alternativa de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) para cubrir los requerimientos de los cultivos (Abebe et al., 2005) y una opción económica para el reciclaje de nutrientes dentro del mismo establecimiento (Nosetti et al., 2002). Por lo tanto, estudiar los efectos de la aplicación de los mismos resulta de suma importancia para reponer los nutrientes que se exportan del suelo debido a la intensificación ganadera y reducir el uso de fertilizantes, generando un sistema de producción más sostenible en el tiempo.

El objetivo de esta experiencia es evaluar los efectos acumulados de la utilización de efluentes de tambo como fuente de nutrientes (equivalente a nitrógeno), comparándolo con un testigo sin aportes de efluentes ni fertilizantes y con una fuente nitrogenada inorgánica (urea). Estos efectos son evaluados sobre la producción de centeno como cultivo de cobertura y de maíz para silaje y también sobre propiedades del suelo.



Foto 1: Acopio del efluente de tambo para ser transportado a la EEA INTA Anguil.

Tabla 1: Caracterización química del efluente empleado. Nitrógeno (N), azufre (S), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K).

	N (ppm)	S (ppm)	P (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)
Efluente	604	48,8	96,9	189	118	506

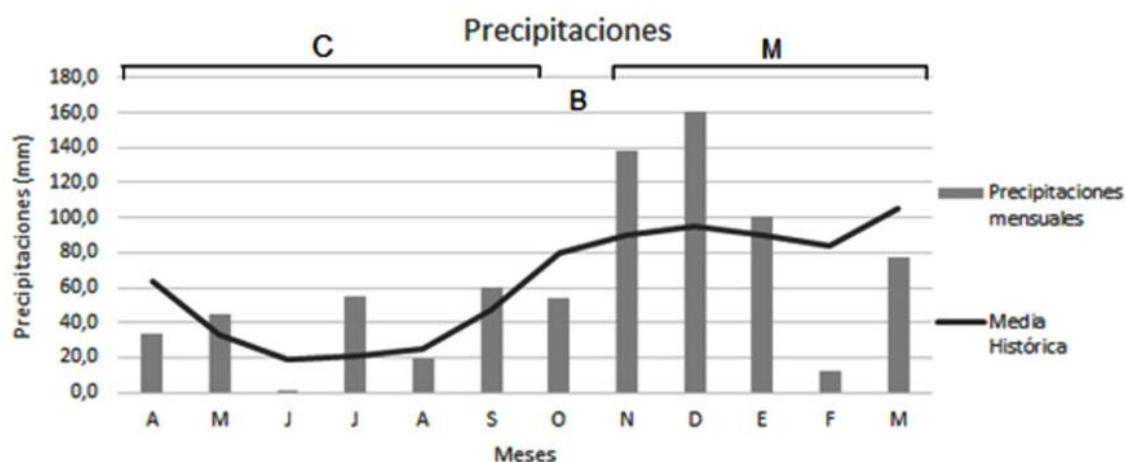


Figura 1: Distribución de las precipitaciones mensuales durante el periodo de desarrollo del cultivo de centeno (C), maíz (M) y del barbecho (B). Precipitaciones medias históricas del período 1961-2018.

Características de la experiencia

La experiencia se conduce en la Estación Experimental de INTA Anguil, en un suelo arenoso-franco con 85% de arena, 1% MO, pH 6 y 33 ppm de P Bray. La napa freática, que oscila entre 100 y 300cm, puede contribuir durante algunos periodos al uso consuntivo de los cultivos. En el año 2016 se estableció una secuencia de cultivos a base de maíz para silo alternando con centeno de cobertura (CC). Los tratamientos que se evalúan son: maíz y centeno sin aplicación de nitrógeno (T); maíz y centeno con 30 kg de N/ha a la siembra de ambos cultivos en forma de urea (30N); maíz y centeno con 60 kg de N/ha a la siembra de ambos cultivos (60N); y maíz y centeno con aporte de efluentes de tambo (previo a la siembra) equivalente a una dosis de 30 kg de N/ha (30Ef). El diseño experimental es en bloques completamente aleatorizados con cuatro replicas. El centeno es sembrado a mediados de abril con una densidad de 250 plantas m⁻² a un distanciamiento entre hileras de 21 cm. El secado del cultivo de cobertura se realiza a mediados de octubre con 3 litros de glifosato (54% e.a.) y 350 cc de fluroxypyr (48%) y la siembra del maíz se realiza a fines de noviembre – principios de diciembre con

una densidad de 4,8 plantas m⁻², con un distanciamiento entre líneas de 52 cm. El corte de maíz para silo se realiza cuando el mismo alcanzó un 35-40% de MS. El efluente es proveniente de una pileta de almacenamiento que posee el tambo de un productor cercano al lugar de la experiencia (Foto 1). A manera de ejemplo se presenta uno de los análisis realizados para conocer la composición del mismo (Tabla 1). La lámina de efluente se calcula a partir de la concentración de nitrógeno aportado por el análisis.

En ambos cultivos se determina biomasa aérea. Se lleva registro de las precipitaciones y a la siembra y corte se determina humedad edáfica hasta los 200 cm de profundidad, con intervalos de 20 cm. La Figura 1 y Tabla 2 se presentan a manera de ejemplo del seguimiento realizado en cada unidad secuencial (centeno-barbecho-maíz), durante estos primeros 5 años de experimentación. A partir de estos datos se realiza el cálculo del uso consuntivo (UC) y la eficiencia de uso del agua (EUA):

$$UC_{\text{cultivo}} \text{ (mm)} = AU_{\text{siembra}} + \text{Lluvias} - AU_{\text{cosecha}}$$

$$EUA_{\text{cultivo}} \text{ (kg MS mm}^{-1}\text{)} = \text{Producción materia seca} / UC$$

Tabla 2: Agua disponible en el perfil del suelo a diferentes profundidades durante el periodo de desarrollo de centeno y maíz.

Profundidad (cm)	Siembra CC	Macollaje CC	Secado CC	Siembra Maíz	Cosecha Maíz
0-20	2,42	22,29	22,88	22,54	12,08
20-40	1,95	17,66	21,08	21,15	15,21
40-60	3,67	13,59	18,26	18,74	16,08
60-80	7,85	12,34	15,45	15,19	14,91
80-100	10,94	14,17	19,05	16,11	17,64
100-120	15,01	17,38	22,60	19,10	19,54
Agua útil en el perfil (mm)	41,85	97,43	119,33	112,83	95,46

A principios de abril de 2019 se realizó un muestreo de suelo en los estratos de 0-5, 5-10 y 10-20 cm (de cada tratamiento) para determinar efectos acumulados sobre los niveles de fósforo disponible en el suelo (Bray y Kurtz), el pH y la conductividad eléctrica. En abril de 2021 se realizó un nuevo muestreo de suelo para evaluar los efectos de los distintos tratamientos sobre las bases del complejo de intercambio (calcio, magnesio, potasio y sodio). En 2024 (8 años efectos acumulados) se prevee un muestreo de suelo para evaluar indicadores biológicos (evaluar por ejemplo posibles efectos de aportes de antibióticos contenidos en efluentes).

Resultados

Las Figuras 2 (centeno) y 3 (maíz) muestran las producciones acumuladas de 5 años de evaluación y las eficiencias en el uso del agua promedios. El centeno utilizado como CC presentó respuesta positiva al agregado de N en producción de materia seca y en la eficiencia de uso del agua. También fue significativa la respuesta a dosis cre-

cientes de N. Las diferentes fuentes nitrogenadas utilizadas como dosis equivalentes (30N y 30Ef), difirieron en términos de acumulación de materia seca. Esta diferencia fue de 6701 kg biomasa/ha a favor de 30Ef, y se asemejó a la biomasa alcanzada con 60 kg N-urea (60N).

Con respecto al cultivo de maíz, también se encontró efecto positivo en la utilización de fertilizante inorgánico (30N y 60N) con respecto al testigo. No obstante, la aplicación del efluente (30Ef) a razón de 30 kgN fue el tratamiento con mayor biomasa acumulada de maíz (Figura 3). En función a ello, se encontró una importante diferencia en la producción de biomasa con respecto al testigo: 16116, 25953, 35329 kgMS/ha, para 30N, 60N y 30Ef, respectivamente. Al analizar las fuentes nitrogenadas utilizadas como dosis equivalentes (30N y 30Ef), se registró una diferencia importante de 25953 kgMS/ha a favor de 30Ef en los 5 años de estudio. Posiblemente parte de esta mayor producción se encontró asociada a otros nutrientes aportados por el efluente. La Foto 3 ilustra parte de estas diferencias (color, senescen-

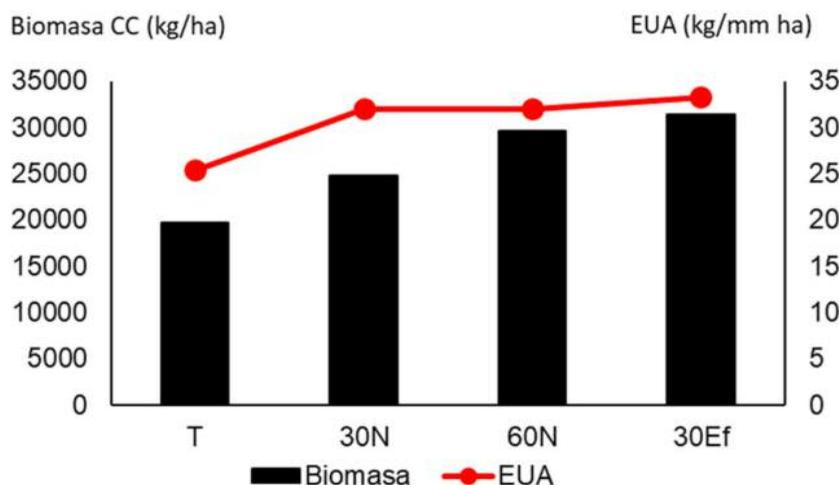


Figura 2: Biomasa acumulada de centeno utilizado como cultivo de cobertura (CC) y eficiencia en el uso del agua promedio de 5 años de estudio. Testigo sin incorporación de nutrientes (T), 30 kg N-urea (30N), 60 kg N-urea (60N) y 30kgN-efluente (30Ef).



Foto 2: Respuesta en biomasa por el agregado de efluente (izquierda) con respecto al testigo (derecha).

cia), que también han sido registradas en las experiencias de larga duración conducidas en Mari Lauquen, Trili y Dorila (Foto 4). Evaluaciones realizadas con el clorofilómetro (SPAD) muestran diferencias mayores a 10 puntos entre tratamientos fertilizados y testigos en maíz.

La EUA aumentó de 25,4 a 33,3 kg MS/mm de agua en el caso de centeno y de 39,5 a 53,1 kg MS/mm en el caso del maíz. Como se expresó anteriormente, la utilización de efluente de tambo (30Ef) tuvo en aumento de producción con respecto a su par inorgánico (30N), posiblemente asociado a la importante cantidad de "otros nutrientes" aportados por el efluente. Estos incrementos en los rendimientos coinciden con los reportados por diferentes autores, los cuales expresan que la mayor disponibilidad de nutrientes por aporte del efluente se evidencia en mejores rendimientos de los cultivos (Berenguer et al., 2008; Yagüe y Quilez, 2010; Diez et al., 2015).

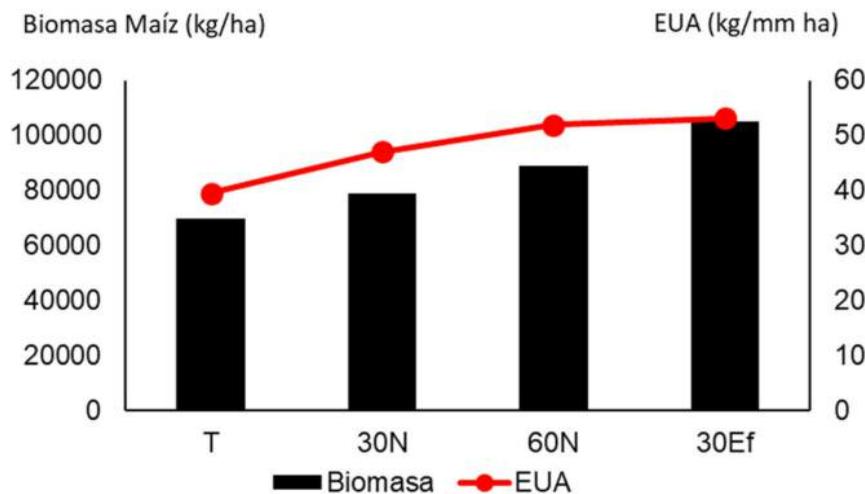


Figura 3: Biomasa acumulada de maíz para silo y eficiencia en el uso del agua promedio de 5 años de estudio. Testigo sin incorporación de nutrientes (T), 30 kg N-urea (30N), 60 kg N-urea (60N) y 30kgN-efluente (30Ef).



Foto 3: Cultivo de maíz testigo (izquierda) y con aporte de efluente (derecha).



Foto 4: Lectura de intensidad de verdor a partir de Clorofilómetro: izquierda testigo y derecha fertilizado.

Tratamientos	Biomasa (kgMS/ha)	EUA (kg/ha mm)
Testigo	11547 c	22,6 c
30N	13046 bc	25,6 bc
60N	14524 b	28,5 b
30Ef	16743 a	32,8 a

Tabla 3: Producción de materia seca (MS) y eficiencia del uso del agua (EUA) del maíz (M) en tratamientos testigo, dosis de N 30, N 60 y efluente.

En la Tabla 3 se ejemplifica, para uno de los años de estudio, los efectos de los distintos tratamientos sobre la producción de biomasa de maíz y el importante incremento observado en la eficiencia de uso del agua, principalmente a partir del aporte de efluentes. Durante los 5 años se procedió de similar manera.

Los valores de fósforo en el suelo incrementaron debido a la utilización de efluentes, situación que se comprueba en experimentos realizados por otros grupos de trabajo y que ha sido expuesto recientemente en reuniones científicas. Esto se ve reflejado en las profundidades 0-5 y 5-10 cm, en donde se aprecia un aumento en los niveles de

fósforo cuando se utiliza efluentes. En los primeros 5 cm del suelo, el aporte de 5 años de efluentes, tanto para el CC como para el maíz, implicó un aumento de 17,1 ppm de P. A mayor profundidad estas diferencias fueron menores, entre 5-10 cm 8,35 ppm y entre 10-20 cm el valor hallado fue similar (Figura 4).

Es importante destacar que en este experimento se utilizan los efluentes como fuente de nutrientes y no como riego complementario. Es decir, que las láminas de agua aplicada son de 5 mm previo a la siembra de cada cultivo. De utilizar mayores aportes de efluentes pueden presentarse problemas por el aumento excesivo de P y

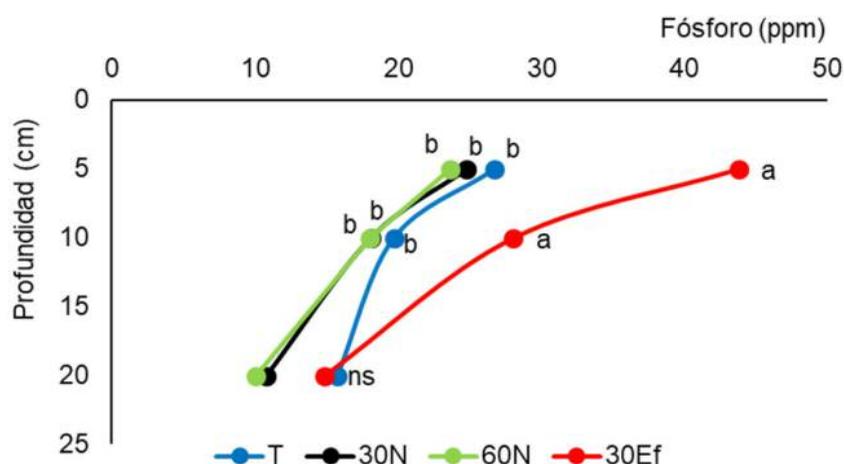


Figura 4: Contenido de fósforo en el suelo, en Testigo sin incorporación de nutrientes (T), 30 kg N-urea (30 N), 60 kg N-urea (60N) y 30kgN-efluente (30Ef).

Tabla 4: pH actual, potencial e hidrolítico y conductividad eléctrica (CE) del suelo a tres profundidades diferentes en los tratamientos testigo y con aporte de efluente.

Tratamientos	Profundidad (cm)	pH actual	pH Potencial	pH hidrolítico	CE (mS/cm)
Testigo	5	6,62	5,99	6,72	0,69
	10	6,64	5,90	6,66	0,85
	20	6,60	6,04	6,63	0,38
30Ef	5	6,70	6,01	6,77	0,32
	10	6,67	6,00	6,76	0,22
	20	6,68	6,07	6,78	0,16

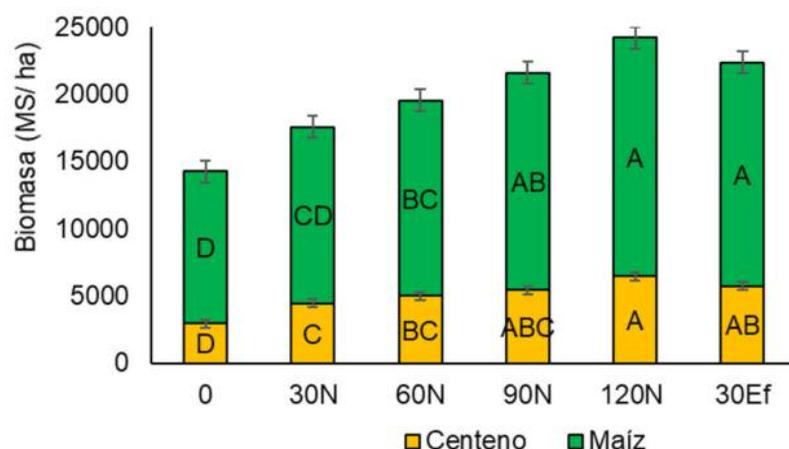


Figura 5: Respuesta en producción de materia seca de centeno y maíz (kg/ha) a dosis crecientes de nitrógeno (N) y por aporte de efluente. Letras distintas indican diferencias significativas.

además el N remanente (lixiviable) que excedería los requerimientos del cultivo puede constituirse en "potencial contaminante" de napas. Éste incremento en los niveles de P por sucesivas aplicaciones de efluentes, fue observado también por otros autores como Dormaar and Chang (1995), los cuales lograron incrementar de 9 a 1200 ppm los niveles de éste elemento en estratos superiores del suelo. El elevado nivel de P en el suelo es una preocupación ambiental debido a que incrementa el riesgo de transporte de este P hacia a ríos o lagos por escorrentía, generando graves problemas como la eutrofización de estos cuerpos de agua (Sharpley et al., 1996).

La Tabla 4 muestra que no hubo diferencias significativas entre las parcelas con y sin aporte de efluentes en cuanto a los tres tipos de pH analizados y a la conductividad eléctrica (CE).

Consideraciones finales

La aplicación de efluente de tambo utilizado como fuente de nutrientes (equivalente N), permitió incrementar la productividad y eficiencia en el uso de agua en los cultivos. Esto tuvo lugar a

partir de la aplicación de "bajas dosis de efluentes" que consistían de una lámina aproximada de 5mm por cultivo.

Por efecto acumulado de sucesivas aplicaciones de efluentes se observan incrementos significativos en los niveles de P disponible en el estrato 0-5 y 5-10 cm. En el caso de incrementar las dosis de efluentes y/o seguir acumulando efectos de un mayor número de años será importante monitorear periódicamente los niveles de P en el suelo. Se especula que en caso de existir algún riesgo puede cambiarse la estrategia y pasar de "dosis equivalente de N" a "dosis equivalente de P". Posiblemente asociado también a que las bajas láminas de efluentes aplicadas no registraron cambios significativos en el pH ni en la conductividad eléctrica. En base a la composición del efluente, por cada 10.000 litros/ha (equivalente a 1mm de lluvia), se aplicaron 6 Kg N/ha. Finalmente, es necesario tener precaución al momento de extrapolar estos resultados, principalmente por las condiciones de sitio en que han sido obtenidos los mismos: suelo arenoso franco con influencia de napa y bajos contenidos de materia orgánica, lo cual

seguramente ha potenciado la respuesta de ambas gramíneas al aporte de N. Situación que generó interrogantes en el grupo de trabajo sobre cuál sería la respuesta a mayores dosis de N. Con las limitaciones de ser solo un año de evaluación y con carácter exploratorio tratamos de dar respuesta a ese interrogante. La Figura 5 muestra la respuesta de un año dentro del periodo de estudio, de ambos cultivos a dosis crecientes de N aportado. Si bien no se realizaron mediciones con el grado de detalle que se requiere, es posible afirmar que para este tipo de ambientes la disponibilidad de N es condicionante clave de la eficiencia de uso del agua.

En consecuencia, queda planteado el siguiente interrogante: ¿cómo está condicionando la disponibilidad de nutrientes a la huella hídrica de la producción ganadera (carne o leche por milímetro de agua disponible)?

A lo que podemos agregar: ¿suplemento la vaca (comprando alimento) o suplemento la producción de forraje (comprando nutrientes)?

¿Compro fertilizantes o redistribuyo los nutrientes "exportados internamente de los lotes" y concentrados en pequeñas superficies?

BIBLIOGRAFÍA

- Abebe G, B Hattar, M Abdel-Rahman, A Al-Tawaha. 2005 Nutrient Availability as Affected by Manure Application to Cowpea (*Vigna unguiculata* L.Walp.) on Calcareous Soils. *Journal of Agriculture, Social Sciences* Vol 1, N 1.
- Aboudrare A, P Debaeke, A Bouaziz, H Chekli. 2006. Effects of soil tillage and fallow management on soil water storage and sunflower production in a semi-arid Mediterranean climate. *Agricultural Water Management* 83: 183-196.
- Aimar S B, M J Mendez, R Funk, D E Buschiazio. 2012. Soil properties related to potential particulate matter emissions (PM10) of sandy soils. *Aeolian Research* 3: 437-443.
- Alvarez H J, M A Pece, R Albanesi, L Dichio, M J Larripa, C Mancini, C Vigna, Y Trobbiani. 2008. Caracterización de un grupo de pequeños tambos familiares del sur de la Provincia de Santa Fe, Argentina: diagnóstico y propuestas tecnológicas. IV Congreso Internacional de la Red SIAL (Sistemas Agroalimentarios Localizados): ALFATER 2008 (Alimentación, Agricultura Familiar y Territorio).
- Anderson T H, K Domsch. 2010. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. *Soil Biol. Biochem.* 42: 2039-2043.
- Anderson R, D Tanaka, S Merrill. 2002. Yield and water use of broadleaf crops in a semiarid climate. *Agric. Water Manage.* 58: 255-266.
- Andrews M, J Sprent, J Raven, P Eady. 1999. Relationships between shoot to root ratio, growth and leaf soluble protein concentration of *Pisum sativum*, *Phaseolus vulgaris* and *Triticum aestivum* under different nutrient deficiencies. *Plant, Cell Environ.* 22: 949-958.
- Andriulo A, J Galantini, C Pecorari, E Torioni. 1991. Materia orgánica del suelo en la región Pampeana Argentina. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. INTA Pergamino, Inf. Téc. 250:18pp.
- Andriulo A y R Rosell. 1988. Propiedades físicas edáficas en dos sistemas de labranza. *Turrialba* 38: 365-375.
- Austin R, E Playán, J Gimeno. 1998. Water storage in soils during the fallow: prediction of the effects of rainfall pattern and soil conditions in the Ebro valley of Spain. *Agricultural Water Management* 36: 213-321.
- Baumhardt R, y O Jones. 2002. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil Till. Res.* 68: 71-82.
- Beare M, M Cabrera, P Hendrix, D Coleman. 1994. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 787-795.
- Beegle D, O Carton, J Bailey. 2000. Nutrient Management Planning: Justification, Theory, Practice. *Journal of Environmental Quality* 29:72-79.
- Berenguer P, F Santiveri, J Boixadera, J Lloveras. 2008. Fertilisation of irrigated maize with pig slurry combined with mineral nitrogen. *Eur. J. Agron.* 28: 635-645.
- Beutler A, J Centurion, A Silva. 2005. Soil resistance to penetration and least limiting water range for soybean yield in a haplustox from Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology.* 48: 863-871.
- Bono A y M Fagioli. 1994. Eficiencia de la alfalfa en la recuperación de la fertilidad nitrogenada del suelo en la región semiárida pampeana. EEA INTA Anguil, Pub. Téc. 45: 11pp.
- Bossio D, K Geheb, W Critchle. 2010. Managing water by managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods. *Agricultural Water Management* 97: 536-542.
- Bradford M A, A D Keiser, C A Davies, C A Mersmann, M S Strickland. 2013. Empirical evidence that soil carbon formation from plant inputs is positively related to microbial growth. *Biogeochemistry* 113: 271-281.
- Campbell C, V Biederbeck, B McConkey, D Curtin, R Zentner. 1998. Soil quality - Effect of tillage and fallow frequency. Soil organic matter quality as influenced by tillage and fallow frequency in a silt loam in southwestern Saskatchewan. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 1-100.
- Carbó L. 2011. "Balances de nutrientes como herramienta para estimar el potencial para el reciclado de los efluentes de tambo en recursos forrajeros". Tesis de la Especialidad en Manejo de Sistemas Pastoriles Facultad de Agronomía - UBA. <http://ri.agro.uba.ar/files/download>

load/tesis/especializacion/2011carbolornaileana.pdf

Chang C y C Lindwall. 1992. Effects of tillage and crop rotation on physical properties of a loam soil. *Soil Till. Res.* 22: 383-339.

Charlón V, M Taverna, C Panigatti, M Gaggiotti. 2000. Cuantificación y caracterización de los efluentes generados en instalaciones de ordeño. EEA Rafaela. INTA. Rafaela, Santa Fe. AR.

Chavay P. 2012. Los cambios en la producción ganadera en la pos convertibilidad. La expansión sojera y su impacto sobre la ganadería. Las nuevas formas de producción. *Revista Voces en el fenix* N° 12, www.vocese-nelfenix.com.

Colazo J C, D E Buschiazzo. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma*, 15: 228-236.

Covas G. 1989. Evolución del manejo de los suelos en la región pampeana semiárida. *Actas Primeras Jornadas de Suelos de Regiones Semiáridas*, Santa Rosa, La Pampa. 1-12pp.

Barber D y C Standell. 1977 Preliminary observations soils effects of direct drilling on the microbial activity of soil *Agric. Res Council Letcombe Lab. An. Report* 58-60

Blake G y K Hartge. 1986. Bulk density. En: *Methods of Soil Analysis-Physical and Mineralogical Methods* 2nd ed. (Ed. Klute, A) Am. Soc. Agron. Madison, USA. 363-375.

Blanco-Canqui H y R Lal. 2007. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil Till. Res.* 95: 240-254.

Bono A, R Alvarez, D Buschiazzo, R Cantet. 2008. Tillage Effects on Soil Carbon Balance in a Semiarid Agroecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J* 72: 1140-1149.

Buschiazzo D. 2006. Management systems in southern South America, In: Peterson, G.A., Unger, P W, Payne, W A. (Eds.), *Dryland Agriculture*, 2nd ed. *Agron. Monogr.* N°. 23. ASA, CSSA, SSSA, Madison, USA, pp. 395-425.

Buschiazzo D y S Aimar. 2003. Erosión eólica: procesos y predicción. En: *Viento, Suelo y Plantas*. A.D. Golberg y A.G Kin (Eds). INTA. pp 21-32.

Burke I, C Yonker, W Parton, C Cole, K Flach, D Schimel. 1989. Texture, climate and cultivation effects on soil organic matter content in US Grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 800-805.

Cambardella C y E Elliott. 1993. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma* 56: 449-457.

Carefoot J, M Nyborg, C Lindwall. 1990 Tillage-indu-

ced soil changes and related grain yield in a semi and region *Can J. Soil Sci* 70: 203-214.

Carter M. 1988 Temporal variability of soil macroporosity in a fine sandy loam under mouldboard ploughing and direct drilling. *Soil Till. Res.* 12: 37-51

Casanovas E, H Echeverria, G Studdert. 1995. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. Contenido total y de distintas fracciones. *Ciencia del Suelo* 13:16-20.

Chepil W. 1950. Properties of soil which influence wind erosion: II dry aggregate structure as an index of erodibility. *Soil Sci.* 69: 403-414.

Chepil W. 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Science Society of America Proceeding* 26: 4-6.

Civalero A, G Kolman, R Fernandez, E Noellemeier. 2014. Efecto del sistema de labranza y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en un Haplustol entico de la región semiárida pampeana. *Semiárida* 24: 43-52.

Colazo J C, D E Buschiazzo. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159: 228-236.

Daliparthi J, S J Herbert, P L Veneman, 1994. Dairy manure applications to alfalfa: Crop response, soil nitrate, and nitrate in soil water. *Agron. J.* 86, 927-933.

Danielson R E, P L Sutherland. 1986. Porosity. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, Part 1, 2nd Edition. *Agronomy* 9, pp. 443-461.

De Boodt M, L De Leenheer. 1967. West European methods for soil structure determinations. *State Faculty Agric. Sci. Ghent* 7: 60-62.

Denef K, J Six. 2005. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregate formation and stabilization. *Eur. J. Soil Sci.* 56: 469-479.

Dexter A, E Czy , O Ga e. 2007. A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil Till. Res.* 93: 412-419.

Diez M. 2009. Respuesta del maíz a la aplicación de efluentes de tambo en Entisoles y Molisoles de la planicie medanosa. Tesina de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNLPam.

Dick W. 1983 Organic carbon, nitrogen and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity *Soil Sci Soc Am J* 47 102-107
INTA, Gob. La Pampa, UNLPampa. 1980. Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa.

Di Rienzo J A, F Casanoves, M Balzarini, L González,

- M Tablada, C Robledo. 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. [online]. Available from: <http://www.infostat.com.ar>.
- Dormaar J F, C Chang. 1995. Effects of 20 annual application of excess feedlot manure on labile soil phosphorus. *Can. J. Soil Sci.* 75: 507-512.
- Dowdell' R, R Cannell .1975 Effect of ploughing and direct drilling on soil nitrate content. *J. Soil Sa* 26: 53-61
- Duval M E, J A Galantini, J M Martínez , J O Iglesias. 2016. Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico 34: 197–209.
- Eaton J, D Lawrence. 2009. Loss of carbon sequestration potential after several decades of shifting cultivation in the Southern Yucatán. *For. Ecol. Manage.* 258: 949–958.
- Ehlers W, U Kopke, F Hesse, W Bhom. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Till. Res.* 3:261-275.
- Elliott, E. 1986. Aggregate Structure and Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Native and Cultivated Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 627.
- Fageria N, A Moreira. 2011. The Role of Mineral Nutrition on Root Growth of Crop Plants. In: DL Sparks (ed.). *Advances in Agronomy*. Vol. 110. 1er ed. Pp. 251-331. Academic Press.
- Fernández R, I Frasier, E Noellemeyer , A Quiroga. 2017. Soil quality and productivity under zero tillage and grazing on Mollisols in Argentina – A long-term study. *Geoderma Regional* 11: 44–52. doi:10.1016/j.geodrs.2017.09.002.
- Fernández R, E Noellemeyer, D Funaro, A Quiroga, N Peinemann. 2009. Disponibilidad de agua, nitrógeno y azufre en barbechos con y sin control de malezas en distintos niveles de residuos. *Ciencia del Suelo* 27: 57-66.
- Fernández R, E Noellemeyer, A Quiroga. 2012. Cultivo de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana? *Ciencia del suelo* 30: 137-150.
- Fernández R, y A Quiroga. 2008. Efecto del sistema de labranza en la eficiencia de almacenamiento del agua en la región semiárida pampeana. XXI Congreso Argentino de la ciencia del suelo. Actas y CD.
- Fernández R, A Quiroga, C Álvarez, C Lobartini, Elke Noellemeyer. 2016. Valores umbrales de algunos indicadores de calidad de suelos en molisoles de la región semiárida pampeana. *Ciencia del Suelo* 34: 279-292.
- Fernández R, A Quiroga, E Noellemeyer, D Funaro, J Montoya, B Hitzmann, N Peinemann. 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agricultural Water Management* 95: 1028-1040.
- Fernández R, A Quiroga, C Zorati, E Noellemeyer. 2010. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. *Soil Till. Res.* 109: 103-109.
- Flint L, A Flint.2002. Porosity, en *Methods of Soil Analysis*. Part 4. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI. pp. 241-255.
- Franzluebbers A. 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Till Res.* 66: 197–205.
- Franzluebbers A, F Hons, D Zuberer. 1994. Long term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management systems. *SoilSci. Soc. Am. J.* 58: 1639-1645.
- Frasier I. 2015. Efecto de vicia y centeno como cultivo de cobertura sobre el balance de carbono y nitrógeno en un sistema de siembra directa de la Región Semiárida Pampeana. Tesis Maestría. UNSur.
- Frasier I, A Quiroga, R Fernández, C Álvarez, F Gómez, E Scherger, A Gili, E Noellemeyer. 2019. Soil type, land-use and -management as drivers of root-C inputs and soil C storage in the semiarid pampa region Argentina. *Soil Till Res.* 192: 134-143.
- Frasier I, A Quiroga, R Fernández, C Álvarez, E Noellemeyer. 2020. "La importancia de las raíces sobre los procesos del suelo, en *Sistemas Productivos Sostenibles*. Coordinador E Satorre. Capítulo Manual de AACREA. Archivo digital ISBN 978-987-1513-31-4.
- Frasier I, A Quiroga, E Noellemeyer. 2016. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Sci. Total Environ.* 562: 628–639.
- Fultz L, J Moore-Kucera, T Zobeck, V Acosta-Martínez, D Wester, V Allen. 2013. Organic carbon dynamics and soil stability in five semiarid agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 181: 231–240.
- Gale W J, C A Cambardella, 2000. Carbon dynamics of surface residue-and root-derived organic matter under simulated no-till. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 190–195.
- Galizzi, F, C González, M Elías Tissera, M Sánchez, H Cáceres Romero, A Azar, F Cosci. 2018. Cambios en propiedades edáficas por el uso del suelo en el sudeste de Santiago del Estero. Actas Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 2018, C1P25, Pág. 95. Tucumán.
- García-González I, H Chiquinquirá, J Gabriel, M Alonso-Ayuso, M Quemada. 2018. Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. *Geoderma* 322: 81-88.

- Garnero G, A Quiroga. 2003. Caracterización de ambientes para el cultivo de soja y la influencia de la napa de agua. INTA Anguil, Bol. Div. Téc. 77: 230-235.
- Gartzia-Bengoetxea N, A González-Arias, A Merino, I Martínez de Arano. 2009. Soil organic matter in soil physical fractions in adjacent semi-natural and cultivated stands in temperate Atlantic forests. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 1674–1683.
- Gallardo M. 2010. Cereales de invierno: Valor de los ensilajes de avena y cebada. *Nutrición animal. Informes Técnicos. Instituto de Patobiología-CICVyA-Castelar.*
- Głb T. 2014. Effect of soil compaction and N fertilization on soil pore characteristics and physical quality of sandy loam soil under red clover/grass sward. *Soil Till. Res.* 144: 8–19.
- Golberg A, M Ruíz, A Quiroga, O Fernández. 2011. ¿Qué le sucede a un cultivo cuando no llueve? Ediciones INTA, 93pp.
- Gude A, E Kandeler, G Gleixner. 2012. Input related microbial carbon dynamic of soil organic matter in particle size fractions. *Soil Biology & Biochemistry* 47: 209-219.
- Håkansson I, R C Reeder. 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load—extent, persistence and crop response. *Soil and Tillage Research*, 29: 277-304.
- Hamblin A. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake. *Adv. Agron.* 38: 95-158.
- Herrero M, S Gil, G Sardi, M Flores, L Carbó, A Orlando. 2006. Transferencia de nutrientes del área de pastoreo a la de ordeño, en tambos semiextensivos en Buenos Aires, Argentina. *Área de Bioestadística, Facultad de Ciencias Veterinarias, UBA. In Vet* 8: 23-30.
- Hevia G, D Buschiazzo, E Hepper, A Urioste, E. Antón. 2003. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma* 116: 265–277.
- Horn R, A Smucker. 2005. Structure formation and its consequences for gas and water transport in unsaturated arable and forest soils. *Soil Till. Res.* 82: 5–14.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Climate Change 2007. Fourth Assessment Report.* Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Iwasa Y, J Roughgarden. 1984. Shoot/root balance of plants: Optimal growth of a system with many vegetative organs. *Theor. Popul. Biol.* 25: 78-105.
- Karlen D L, C A Ditzler, S S Andrews. 2003. Soil quality: why and how? *Geoderma* 114: 145–156.
- Kätterer T, M A Bolinder, O Andrén, H Kirchmann, L Meni-chetti. 2011. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 141: 184–192. doi:10.1016/j.agee.2011.02.029.
- Klute A, A Klute. 1986. Water Retention: Laboratory Methods, En: *Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods.* Soil Sci. Soc. Am. and Am. Soc. Agron. 635-662.
- Kramer S, S Marhan, L Russ. 2012. Carbon flow into microbial and fungal biomass as a basis for the belowground food web of agroecosystems. *Pedobiologia (Jena)* 55: 111–119.
- Kravchenko A N, A K Guber. 2017. Soil pores and their contributions to soil carbon processes. *Geoderma* 287: 31–39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.06.027>.
- Kravchenko A N, A K Guber, A Gunina, M A Dippold, Y Kuzyakov. 2020. Pore-scale view of microbial turnover: combining 14C imaging, μ CT, and zymography. *Eur J Soil Sci.* 72: 593–607.
- Krüger H, S Venanzi, E de Sá Pereira. 2008. Efecto del pastoreo sobre la resistencia mecánica del suelo en sistemas de producción bajo siembra directa continua. *Ciencia del Suelo* 26: 211–217.
- Lagomarsino A, S Grego, E Kandeler. 2012. Soil organic carbon distribution drives microbial activity and functional diversity in particle and aggregate-size fractions. *Pedobiologia* 55: 101–110.
- Lal R van Doren, D. 1990. Influence of 25 years of continuous corn production by three tillage methods on water infiltration for two soils in Ohio *Soil Till Res.* 16: 71-84.
- Lamb, J Peterson, G., Fenster C 1985. Fallow nitrate accumulation in a wheat-fallow rotation as affected by Tillage System. 1985. *Soil.Sci.Soc.Am.J.* 49: 1441-1446.
- Lampurlanes J, P Angás, C Cantero-Martínez. 2002. Tillage effects on water storage during fallow, and on barley root growth and yield in two contrasting soils of the semiarid Segarra region Spain. *Soil Till. Res.* 65: 207-220.
- Leach G. 1978. The ecology of lucerne pastures. In *Plant relations pastures*, J Wilson Ed. CSIRO: 290-308 pp.
- Logsdon S, T Kaspar. 1995. Tillage influences as measured by ponded and tension infiltration. *J. Soil Water Conserv.* 50: 571–575.
- López M V, J L Arrúe. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil Tillage Res.* 44: 35–54.

- López F, M Duval, J Martínez, J Galantini. 2016. Porosidad de ustoles bajo siembra directa en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 34: 173–184.
- López-Garrido R, M Deurer, E Madejón, J Murillo, F Moreno. 2012. Tillage influence on biophysical soil properties: The example of a long-term tillage experiment under Mediterranean rainfed conditions in South Spain. *Soil Till. Res.* 118: 52-60.
- Lipiec J, R Hatano. 2003. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma* 116: 107–136.
- Lynch J, L Panting. 1982 Effects of season, cultivation and nitrogen fertilizer on the size of the soil microbial biomass. *J. Sci. Food Agric* 33: 249-253.
- Mathews O y T Army. 1960. Moisture storage on fallow wheatland in the great plains. *Soil Science Society of America Proceedings* 24: 414-418.
- Melero S, R López-Garrido, J Murillo, F Moreno. 2009. Conservation tillage: Short- and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions. *Soil Till. Res.* 104: 292–298.
- Mendez M J, S B Aymar, D E Buschiazzo. 2015. PM10 emissions from aggregate fractions of an Entic Haplustoll under two contrasting tillage systems. *Aeolian Research* 19: 195–201.
- Mills A, D Moot, P Jamieson. 2009. Quantifying the effect of nitrogen on productivity of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) pastures. *European J. Agron.* 30: 63-69.
- Monsalvo M. 1969. Duración del barbecho limpio y rendimiento de trigo. *Hoja informativa* 45: 1-2pp. EEA INTA Anguil.
- Monzon J, V Sadras, F Andrade. 2006. Fallow soil evaporation and water storage as affected by stubble in sub-humid (Argentina) and (Australia) environments. *Field Crop Research.* 98: 83-90.
- Moret D, J Arrue. 2007. Dynamics of soil hydraulic properties during fallow as affected by tillage. *Soil Till. Res.* 96: 103–113.
- Moret D, M López. 2015. Un método sencillo para la estimación de la porosidad de un agregado de suelo. In: Martínez S, Sastre A (Eds.), *Estudios en la Zona No Saturada: Vol. XII ZNS'* 15: 3-6.
- Moroke T, R Schwartz, K Brown, A Juo. 2005. Soil water depletion and root distribution of three dryland crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:197-205.
- Noellemeyer E, R Fernández, A Quiroga. 2013. Crop and tillage effects on water productivity of dryland agriculture in Argentina. *Agriculture* 3: 1-11.
- Nosetti L, M Herrero., M Pol, V Maldonado, S Korol, S Rossi, V Gemini, M Flores. 2002. Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros II. Calidad de efluentes y eficiencia de los procesos de tratamientos. *En: Vet.* 4: 45-54.
- Nosetto M, E Jobbágy, A Brizuela, R Jackson. 2011. The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. *Agric. Ecosyst. Environ.* 154: 2–11.
- Oderiz J, M Uhaldegaray, I Frasier, A Quiroga, N Amiotti, P Zalba. 2017. Raíces de cultivos de cobertura. cantidad, distribución e influencia sobre el N mineral. *Ciencia del Suelo* 35: 249-258.
- OCLA. Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. 2018. <http://www.ocla.org.ar/contents/newschart/-portfolio/?categoryid=6#>.
- Olaoye J. 2002. Influence of tillage on crop residue cover, soil properties and yielded components of cowpea in derived savannah ectones of Nigeria. *Soil Till Res.* 64: 179-187.
- Orphanos P, y C Metochis. 1994. The water relations of barley grown continually or after fallow under semi-arid conditions. *Exp. Agric.* 30: 431-443.
- Packer I, G Hamilton. 1987. Changes in soil physical properties due to tillage over seven years. *Soil Cons Res. Centre, Cowra* 2794. 4pp.
- Pala M, J Ryan, H Zhang, M Singh, H Harris. 2007. Water-use efficiency of wheat-based rotation systems in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management* 93: 136-144.
- Panebianco J E, D E Buschiazzo. 2007. Erosion prediction with the wind erosion equation using different climatic factors. *Land Degradation Dev.* 19: 36-44.
- Power J, W Wilhelm, J Doran. 1986. Crop residue effects on soil environment and dryland maize and soya bean production. *Soil Till. Res.* 8: 101-111.
- Quiroga A, D Buschiazzo, N Peinemann. 1996. Soil organic matter particle size fractions in soils of semiarid Argentinean Pampas. *Soil Sci.* 161: 104-108.
- Quiroga A, D Buschiazzo, N Peinemann. 1999. Soil compaction is related to management practices in the semiarid Argentine pampas. *Soil Till. Res.* 52: 21-28.
- Quiroga A, R. Fernández, E. Noellemeyer. 2009. Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. *Soil Till. Res.* 105: 164-170.
- Quiroga A, D Funaro, E Noellemeyer, N Peinemann. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 90: 63-68.
- Quiroga A, R Fernández, I Frasier, E Noellemeyer, O Ormeño. 2018. Efecto de la labranza y la ganadería sobre propiedades edáficas y eficiencia en un Haplustoll de la región semiárida pampeana. *En: Ensayos de larga*

duración en Argentina: Un aporte al logro de sistemas agrícolas sustentables. Ed: Salvagiotti F, H Krüger, G Studdert, pp 361. ISBN 978-987-521-886-4.

Quiroga A, D Funaro, O Ormeño. 2003. Aspectos del manejo del agua del suelo para el cultivo de trigo. In: Trigo. Publicación Técnica N 76. 33-44.

Quiroga A, C Gaggioli, R Fernández, E Noellemeyer. 2015. Contribución al manejo sustentable de suelos en zonas semiáridas. El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Tomo 1. Ed R. Casas, G. Albarracín. PROSA-FECIC. ISBN 978-950-9149-39-7 Pág. 167-181.

Quiroga A, B Lejarraga, R Fernández, D Funaro. 2005. Aspectos del manejo del agua en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. In: Indicadores de calidad física de los suelos. EEA INTA General Villegas. Boletín técnico N 4. 19-26.

Quiroga A, M Monsalvo, E Adema. 1993. Efecto de la siembra directa sobre diversas propiedades físicas y químicas del suelo en la región semiárida pampeana. Red Latinoam Labranzas. Labranza Conservacionista (RELACO) 1. 12 pp.

Quiroga A, A Oderiz, M Uhaldegaray, C Alvarez, E Scherge, R Fernández, I Frasier. 2016. Influencia Del Uso De Suelos Sobre Indicadores Físicos De Compactación Semiárida 26: 21–28.

Quiroga A, A Oderiz, M Uhaldegaray, C Álvarez, E Scherger, R Fernández, I Frasier. 2016. Influencia del manejo sobre indicadores físico-hídricos de compactación de suelos. XXV Congreso de suelos de la AACs. Río Cuarto, Córdoba.

Quiroga A, G Studdert. 2014. Manejo del suelo e intensificación agrícola: agua y materia orgánica, dos aspectos clave. En: HE Echeverría, FO García (eds.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2da ed. Pp. 73-100. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.

Riestra, D. 2012. Efecto de la forestación sobre el carbono orgánico y propiedades físicas de Molisoles y Entisoles de la región semiárida pampeana. Tesis doctoral UNSur.

Reyes J. 2021. Crecen los feedlots en La Pampa. La Arena del Campo. Suplemento Agropecuario del Diario La Arena. 26 de junio 2021.

Rockstrom J. 2003. Water for food and nature in drought-prone tropics: vapour shift in rain-fed agriculture. Royal Society Transactions B: Biological Sciences 358: 1997–2009.

Rockstrom J, L Karlberg, S Wani, J Barron, N Hatibu, T Oweis, A Bruggeman, J Farahani, Z Qiang. 2010. Managing water in rainfed agriculture—The need for a paradigm shift. Agricultural Water Management 97:

543-550.

Rojas J M, D E Buschiazco, O Arce. 2013. Parámetros edáficos relacionados con la erosión eólica en inceptisoles del chaco. Ciencia del Suelo 31: 133-142.

Savin M, J Gorres, D Neher, J Amador. 2001. Biogeophysical factors influencing soil respiration and mineral nitrogen content in an old field soil. Soil Biol. Biochem. 33: 429–438.

Sharpley A N, T C Daniel, T J Sims, D H Pote. 1996. Determining environmentally sound soil phosphorus levels. J. Soil Water Conserv. 51: 153-157.

Scherger E, I Frasier, J Oderiz, M Uhaldegaray, R Fernández, A Quiroga. 2017. Efectos del uso de efluentes de tambo sobre la productividad física del agua en maíz para silo. III Jornadas Nacionales de suelos de ambientes semiáridos y II Taller Nacional de cartografía digital. Cátedra de Edafología y Manejo de Suelos, Facultad de Agronomía, UNLPam.

Schuller P, D Walling, A Sepulveda, A Castillo, I Pino. 2007. Changes in soil erosion associated with the shift from conventional tillage to a no-tillage system, documented using ¹³⁷Cs measurements. Soil Till. Res. 94: 183–192.

Schnurer J, M Clarholm, T Rosswall. 1985. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. Soil Biol Biochem 17: 611-618.

Soracco G. 2003. Evaluación de parámetros y procesos hidrológicos en el suelo. VII Escuela Latinoamericana de Física de Suelos. La Serena, Chile, 2003 Stengel P, J Douglas, J Guerif, M Goss, R Monnier, R Cannell. 1984. Factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drill. Soil Till. Res. 4: 35-53.

Studdert G. 2017. Sistemas de cultivo en el sudeste bonaerense: su aporte al manejo de la fracción orgánica de los suelos. En: F Salvagiotti, H Kruger, G Studdert (eds). Ensayos de Larga Duración en Argentina: Un aporte al logro de Sistemas Agrícolas sustentables. Pp 235:266. Ediciones INTA.

Tanaka D y J Aase. 1987. Fallow method influences on soil water and precipitation storage efficiency. Soil Till. Res. 9: 307-316.

Taverna M, V Charlón. 1999. Manejo de efluentes en el tambo, Seminario Manejo Integral del Agua en Predios Lecheros.

Taverna M, V Charlón, C Panigatti, A Castillo, P Serrano, J Giordano. 2002. Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño. Edición Estación Experimental Agropecuaria Rafaela.

- Tessier S, M Peru, F Dyck, F Zentner, C Campbell. 1990 Conservation tillage for spring wheat production in semiarid Saskatchewan Soil Till Res 18: 73-89.
- Torres-Guerrero, B Etchevers, D Jorge, M Fuentes-Ponce, B Govaerts, F De León-González, J Herrera. 2013. Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo Terra Latinoamericana, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo 31: 71-84.
- Uhart S, F Andrade. 1995a. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. Crop Sci. 35:183-190.
- Uhart S, F Andrade. 1995b. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development and kernel set. Crop Sci. 35:1376-1383.
- Unger P. 1984. Tillage and residue effects on wheat, sorghum, and sunflower grown in rotation. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 885-891.
- Unger P, B Stewart, J Parr, R Singh. 1991 Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. Soil Till Res. 20: 219-240.
- USDA NRCS. 2014. Soil Health- Guides for Educators Soil Bulk Density, Moisture, Aeration 1-11.
- Vallejo A, R Souto, A Quiroga. 2002. Siembra directa y fertilización en sistemas ganaderos de la región semiárida. INTA Anguil, Bol. Div. Téc. 74: 1-13.
- Viglizzo E F, L V Carreño, H Pereyra, F Ricard, J Clat, D Pincén. 2010. Dinámica de la Frontera Agropecuaria y cambio tecnológico. En: Viglizzo, E., Jobbagy, E (Ed). Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto ecológico-ambiental. Buenos Aires, Edición INTA. Cap 1: 9 -16.
- Wang Q, Y Wang, Q Wang, J Liu. 2014. Impacts of 9 years of a new conservational agricultural management on soil organic carbon fractions. Soil Till. Res. 143: 1-6.
- White P. 1990. The influence of alternative tillage systems on the distribution of nutrients and organic carbon in some common western Australian wheatbelt soils. 28: 95-116.
- Wiermann C, R Horn. 2000. Effect of different tillage systems on the recovery of soil structure following a single compaction event. En: Horn R, van den Akker J, Arvidsson J (Eds.). Subsoil Compaction—Distribution, Processes and Consequences. Advances in Geocology, Catena 32: 339-350.
- Yagüe M R, D Quilez. 2010. Response of maize yield, nitrate leaching, and soil nitrogen to pig slurry combined with mineral nitrogen. J. Environ. Qual. 39:1-11.
- Yu M, L Zhang, X Xu, K Feger, Y Wang, W Liu, K Schwärzel. 2015. Impact of land-use changes on soil hydraulic properties of Calcaric Regosols on the Loess Plateau, NW China. J. Plant Nutr. Soil Sci. 178: 486-498.
- Zach A, H Tiessen, E Noellemeyer. 2006. Carbon Turnover and Carbon-13 Natural Abundance under Land Use Change in Semiarid Savanna Soils of La Pampa, Argentina. Soil Science Society of America Journal 70: 1541-1546.
- Zhao Y, X Hu, X Li. 2020. Analysis of the intra-aggregate pore structures in three soil types using X-ray computed tomography. Catena 193: 104622.

Actual equipo de trabajo de Suelos y Agua de EEA INTA Anguil

Eduardo Calabaza, Valentín Colotti, Romina Fernández, Roberto Gómez, Pablo Gutierrez, Nanci Kloster, Roberto Maldonado, Micaela Perez, Alberto Quiroga, Mauricio Uhaldegaray.

Los proyectos que actualmente se vinculan con las experiencias establecidas en ensayos de larga duración son:

Proyectos INTA

- Red de ensayos de larga duración (RIST 1503).
- Desarrollo y aplicación de tecnologías para el control de la erosión y degradación de suelos (I052).
- Uso y gestión eficiente del Agua en Sistemas de Secano (I042).
- Intensificación Sustentable de la Agricultura en la Región Pampeana (I011).
- Estudio del impacto ambiental, gestión y tratamiento de residuos y efluentes sobre sistemas agropecuarios y agroindustriales para su valorización agronómica (I518).
- PIT, Interregional "Agrícola Ganadera del Centro Pampeano" (I076).
- PIT, Interregional "Integración territorial para la sustentabilidad del SAAA del centro-este de La Pampa y sudoeste de Buenos Aires" (I062).
- Redes de información y soporte técnico -RIST.
- Red INTA de Laboratorios de Suelo, Agua y Vegetal. I049 RILSAV.

Extra INTA

- Servicios ecosistémicos en agro-ecosistemas de la Región Semiárida Pampeana (I-157/19 FA). Fac Agronomía UNLPam (Res 65/20).
- Proyecto INTA-AUDEAS-CONADEV. "Manejo

Agrohidrológico para la mitigación de anegamientos e inundaciones en Córdoba, La Pampa y San Luis" (940182).

Convenio

- Convenio Marco Institucional entre el Colegio de Ingenieros Agrónomos de La Pampa y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Formación recursos humanos

Una de las principales contribuciones de los módulos de larga duración a la formación de recursos humanos fue a través de la realización de tesis de grado, maestrías y doctorados. Complementariamente se han dictado más de 100 jornadas de capacitación, y más de 50 contribuciones escritas a partir de publicación de trabajos científicos, capítulos de libros, publicaciones técnicas, boletines de divulgación y presentaciones en congresos. A continuación, se presenta un listado de quienes desarrollaron actividades experimentales en los módulos y que han concluido con sus estudios.

Doctorados

- Doctorado en Agronomía, Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca. Indicadores de calidad de suelos en Molisoles de la Región Semiárida Pampeana. Relación con el manejo y productividad de los cultivos. Ing. Agr. Alberto Quiroga, 2002.
- Doctorado en Agronomía, Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca. Efecto de vicia y centeno como cultivo de cobertura sobre el balance de carbono y nitrógeno en un sistema de siembra directa de la Región Semiárida Pampeana. Ing. Agr. Ileana Frasier, 2015.
- Doctorado en Química. Universidad Nacional

del Sur. Bahía Blanca. Estudios de adsorción y agregación de ácidos húmicos con minerales constituyentes del suelo en presencia de iones calcio. Lic. Química Nanci Kloster. 2015.

- Doctorado en Agronomía. Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca. "Valores de línea de base para evaluar la degradación en Molisoles de la Región Semiárida Pampeana". Ing Agr. Romina Fernández, 2018.
- Doctorado en Geología. Universidad Nacional de Río Cuarto. "Evaluación de la variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo del área oriental de la Región Semiárida Pampeana" Ing. Agr. Cristian Álvarez, 2018.

Maestrías

- Magíster en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca. Influencia del manejo sobre propiedades físicas de los suelos. Su relación con la granulometría y contenido de materia orgánica. Ing Agr. Alberto Quiroga, 1994.
- Magíster en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca. Efecto de la cobertura del suelo y régimen hídrico sobre propiedades edáficas y dinámica de malezas durante el barbecho para cultivos estivales bajo siembra directa en la región semiárida pampeana. Ing. Agr. Romina Fernández, 2007.
- Magíster en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca. Efecto del sistema de labranza sobre propiedades edáficas de dos suelos (Hapludol Típico y Haplustol Entico) de la Pampa Arenosa. Ing. Agr. Cristian Álvarez, 2007.
- Magíster en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca. Efecto de los cultivos de cobertura en la captura de carbono y dinámica del agua. Ing. Agr. Carlos Scianca, 2010.
- Magíster Ciencia del Suelo. Universidad de Buenos Aires. Cultivos de cobertura. Efecto sobre la disponibilidad de agua y nitrato del suelo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. Ing. Agr. Patricia Carfagno INTA Castelar, 2012.
- Magíster Producción en Sistemas Agropecuarios. Universidad de La Pampa. Alternativa de uso de efluentes de tambo.

Efectos sobre la producción de cultivos y propiedades de Molisoles y Entisoles de la Región Semiárida Pampeana. Ing. Rec. Nat. Marianela Diez, 2016.

Tesis de Maestría en marcha

- Magíster Producción en Sistemas Agropecuarios. Universidad de La Pampa. Validación de un prototipo para la extracción de macro y micro elementos en suelos bajo sistemas mixtos de producción. Lic Química Maria Micaela Perez.
- Magíster en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca. Efectos acumulados de la inclusión de cultivos de cobertura sobre propiedades edáficas de un entisol de la región semiárida pampeana. Ing Agr. Mauricio Uhaldegaray.
- Magíster en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca. Efecto del aporte de diferentes fuentes de carbono en suelos de las planicies con tosca bajo manejo ganadero intensivo. Ing Agr. Agustín Oderiz.

Tesis de grado finalizadas

- Indicadores físicos de calidad de suelos. Influencia del manejo y la composición granulométrica en molisoles y entisoles de la Región Semiárida Pampeana. Tesistas: José Agustín Picardi y Ramiro Omar Reyna
- Cultivo de cobertura como antecesor del cultivo de maíz en la región semiárida pampeana. Tesista: Mauricio Uhaldegaray.
- Evaluación de la viabilidad de los cultivos de cobertura en la región semiárida pampeana. Tesistas: Juan Manuel Saks y Juan Martín Arguello
- Disponibilidad de nitrógeno determinada por SPAD y respuesta a la fertilización de un cultivo de maíz en la región semiárida pampeana. Tesistas: Agustín Civalero y Gabriel Kolman.
- Fertilización nitrogenada en el centeno (secale cereale) utilizado como cultivo de cobertura. Tesista: Juan Manuel Raposo.
- Aporte de raíces de cultivos de cobertura y su impacto sobre el uso y captación del agua en el suelo. Facultad de Agronomía de la UNLPam. Tesistas Matías Olivieri y Horacio Madariaga

- Evaluación de la estructura de Paleustoles petrocálcicos influenciadas por distintas prácticas de uso. Tesistas: Lorena Painemilla y Milagros Lucas.
- Descomposición de residuos de cultivos de cobertura y su efecto en el cultivo de soja. Tesista: Elías Eggmann Owen
- Propiedades físicas de Paleustoles petrocálcicos influenciadas por distintas prácticas de uso. Tesistas: Mateo Bissolino y Ezequiel Furch.
- Evaluación de efluentes de tambo como abonos orgánicos para una forrajera invernal. Ingeniería en recursos naturales y medio ambiente. Tesista: Ludmila Di Nasso.
- Efectos del sistema de labranza y la ganadería sobre propiedades de un Haplustol Entico y los rendimientos de girasol y maíz. Tesistas: Eloy Manera y Norberto Fuentes.
- Evaluación de la respuesta a la fertilización con distintos nutrientes en la secuencia trigo-soja-maíz-soja. Tesista: Federico Druille.
- Efectos de las labranzas sobre propiedades edáficas y distribución de raíces en sorgo y maíz. Tesista: Carlos Lombardo.
- Aplicación de algunos métodos directos e indirectos para la determinación del consumo de agua en Alfalfa. Tesistas: Silvia Carassay y Sandra Roberto.