

“Orientar el desarrollo de los modelos que demuestren mayor productividad con una mayor eficiencia en el uso de los recursos (luz, agua y nutrientes), estabilidad de los rendimientos y mantenimiento o mejora del ambiente de producción.”

Informe Final Chacra Pergamino (2011-2020)

Ing. Agr. MSc. Belen Agosti (GTD)
Ing. Agr. Ruiz Alejo (CTZ)
Ing. Agr. MSc. Cinta Sciarresi (CTZ)
Ing. Agr. MSc. Coyos Tomás (GP)
Ing. Agr. MSc. Rodolfo Gil (DAC)

Marzo, 2020

Miembros:

Adeco Agropecuaria SA
Agropecuaria El Jaguel SA
Agrounanga SA
Barberis, Santiago
Belloso, Cesar
Carlos Biscayart SA
Derisi, Santiago
GONFER SA
Goyaike SAAClyF
Ferbuel SA
La Cañada SA
La Champa SA
Man Agro SA
CHOIKE SA
Weil y Asociados SRL

Mesa de Expertos:

Ing. Agr. Fernando Salvagiotti (INTA)
Dr. Bioq. Luis Wall (UNQ)
Ing. Agr. Romina Romaniuk (INTA)
Ing. Agr. Gustavo Ferraris (INTA)

Instituciones que participan:



INDICE

	Página
CAPÍTULO 1: PROYECTO DE TRABAJO CHACRA PERGAMINO	
Plan de Acción 2011-20.....	7
Logros Plan de Acción 2011-20.....	8
 CAPÍTULO 2: EVALUACIÓN DE SISTEMAS INTENSIFICADOS	
Metodología general.....	10
Diseño experimental-Ensayo de rotaciones	10
Mediciones de indicadores edáficos	12
 Capítulo 2.1: Sistemas Intensificados: Efecto sobre indicadores de producción	
Introducción.....	14
Metodología.....	14
Rendimiento en grano y biomasa aérea total	14
Biomasa aérea total de cultivos de coberturas	15
Producción MS pasturas	15
Aporte de Carbono Humificado	15
Balance de Carbono	16
Resultados.....	16
Rendimiento en grano	16
Aporte de Carbono Humificado	19
Balance de Carbono	22
Proyección del Stock de Carbono	23
Carbono de equilibrio	23
Conclusiones.....	24
Bibliografía.....	24
 Capítulo 2.2: Sistemas Intensificados: Efecto sobre indicadores de eficiencia	
Introducción.....	26
Metodología.....	26
Eficiencia de uso del agua.....	26
1) Balance hídrico	26
2) Productividad del agua	27
Eficiencia de uso de nutrientes.....	28
1) Productividad Parcial de Nutrientes	28
2) Balance Aparente de Nutrientes	28
Franja de Fertilización Extra.....	29
1) Rendimiento en grano	30
2) Indicadores químicos de suelo	31
3) Análisis foliar y DRIS	32
Resultados.....	33
Eficiencia de uso del agua	33
Eficiencia de uso de nutrientes	35
Balance de nutrientes	36
Franja de Fertilización Extra	37
1) Rendimiento en grano	37
2) Indicadores químicos de suelo	40
3) Análisis foliar y DRIS	41
Conclusiones.....	44
Bibliografía.....	45

	Página
Capítulo 2.3: Sistemas Intensificados: Efecto sobre indicadores físicos de suelo	
Introducción.....	46
Metodología.....	46
Determinaciones	46
a) Densidad Aparente	46
b) Resistencia a la Penetración	47
c) Índice de Estallido	47
d) Estructuras laminares	48
Análisis de datos	48
Resultados.....	48
Densidad Aparente	48
Resistencia a la penetración	52
Índice de estallido	53
Estructuras laminares	55
Conclusiones.....	59
Bibliografía.....	60
Capítulo 2.4: Sistemas Intensificados: Efecto sobre indicadores químicos de suelo	
Introducción.....	61
Metodología.....	62
Determinaciones	62
a) Carbono Total	62
b) Carbono Orgánico Particulado	63
c) Fósforo	63
d) Nitrógeno, Azufre y pH	63
Análisis de datos	64
Resultados.....	64
Materia Orgánica	64
Stock de Carbono	65
Evolución del Carbono	66
Carbono Orgánico Particulado	69
Fósforo	70
Nitrógeno, Azufre y pH	72
Conclusiones.....	72
Bibliografía.....	73
Capítulo 2.5: Sistemas Intensificados: Efecto sobre indicadores biológicos de suelo	74
Capítulo 2.6: Sistemas Intensificados: Efecto sobre malezas y el ambiente	
Introducción.....	150
Metodología.....	151
Experimentos: Determinaciones y análisis de datos	151
A. Efecto de la intensificación sobre la población de malezas	151
B. Efecto de la intensificación sobre la estructura y la riqueza de la comunidad de malezas	152
C. Efecto de la intensificación sobre el uso de agroquímicos	152
Resultados.....	153
A. Efecto de la intensificación sobre la población de malezas	153
B. Efecto de la intensificación sobre la estructura y la riqueza de la comunidad de malezas	157

	Página
C. Efecto de la intensificación sobre el uso de agroquímicos	163
Conclusiones.....	166
Bibliografía.....	167
Capítulo 2.7: Sistemas Intensificados: Integración de indicadores	168
Introducción.....	168
Metodología.....	168
Resultados.....	169
1- Matriz de correlación	169
Regresiones	171
2- Análisis multivariado	171
Conclusiones.....	180
CAPÍTULO 3: MANEJO AGRONÓMICO DE SISTEMAS INTENSIFICADOS	181
Capítulo 3.1: Ensayo de fertilización nitrogenada en maíz	181
Introducción.....	182
Metodología.....	182
Tratamientos	182
1) Alternativas invernales	182
2) Fertilización nitrogenada en maíz por antecesor	183
Determinaciones	183
1) Rendimiento y Biomasa	183
2) Nitrógeno en suelo	183
3) Nitrógeno absorbido por el maíz	183
Resultados.....	184
Rendimiento y MS alternativas invernales	184
Nitrógeno del suelo disponible para el maíz	186
Respuesta del rendimiento del maíz al N	186
Nitrógeno absorbido por el maíz	188
Conclusiones.....	188
Bibliografía.....	189
Capítulo 3.2: Ensayo de fertilización nitrogenada en trigo	190
Introducción.....	190
Metodología.....	190
Descripción del experimento	190
1) Secuencia de cultivos	190
2) Fertilización nitrogenada	191
Diseño experimental	191
Determinaciones	192
1) Rendimiento y Biomasa	192
2) Nitrógeno en suelo	192
Resultados.....	192
Rendimiento y Biomasa	192
Respuesta a la fertilización	193
Conclusiones.....	194

	Página
Capítulo 3.3: Evaluación de CC antecesores de maíz tardío	195
Introducción.....	195
Metodología.....	195
Diseño experimental	195
Determinaciones	196
Análisis de datos	196
Resultados.....	196
Ciclo de crecimiento y clima	196
Implantación de las coberturas	198
Producción de Materia Seca	198
Nitrógeno en suelo	199
Rendimiento y Peso del Grano en maíz	201
Conclusiones.....	202
Bibliografía.....	202
 CAPÍTULO 4: LOTES DE PRODUCCIÓN DE SISTEMAS INTENSIFICADOS	 204
Capítulo 4.1: Red de evaluación del cultivo de cobertura de vicia	
Introducción.....	205
Metodología.....	205
Descripción del experimento	205
Determinaciones	207
Resultados.....	207
Observaciones a campo	209
Integración de resultados	211
Conclusiones.....	212
 Capítulo 4.2: Respuesta del maíz al N con antecesor de vicia	
Introducción.....	213
Metodología.....	213
Resultados.....	213
Conclusiones.....	214
 Capítulo 4.3: Intensificación en Regional Pergamino-Colón	
Introducción.....	215
Metodología.....	215
Resultados.....	216
Nivel de intensificación de la Regional Pergamino-Colon	216
Nivel de intensificación del Partido de Pergamino	218
Conclusiones.....	219
 CAPÍTULO 5: TRANSFERENCIA DEL CONOCIMIENTO	 220
 CAPÍTULO 6: INTEGRACIÓN DE RESULTADOS Y PROSPECTIVA	 223
 Anexo 1	 226
Anexo 2	232
Anexo 3	234

CAPÍTULO 1

PROYECTO DE TRABAJO CHACRA PERGAMINO

El proyecto de trabajo de la Chacra Pergamino comenzó en 2011, cumpliéndose en el año 2020 tres ciclos de trabajo (2011-14, 2014-17 y 2017-2020). Al inicio de cada ciclo, se reformularon los objetivos y los productos esperados del Plan de Acción. A continuación, se detalla el Plan de Acción integrando para todos los años de trabajo.

Plan de Acción 2011-20

Finalidad

Orientar el desarrollo de modelos que demuestren mayor productividad con una mayor eficiencia en el uso de recursos, estabilidad en los rendimientos y mantenimiento o mejora del ambiente de producción.

Objetivos generales (OG), específicos (OE) y productos esperados (PE)

OG 1. Evaluar el efecto de la intensificación sobre la sustentabilidad del sistema (a nivel productivo, económico y ambiental)

OE 1.A. Evaluar el **efecto de rotaciones de** distinta intensidad y diversidad de cultivos sobre la productividad, el resultado económico y el impacto ambiental de los sistemas de producción

PE 1.A.1. Impacto de la intensificación y diversificación de las rotaciones a nivel productivo:

- a- Rendimiento en grano
- b- Aporte de carbono al sistema – Balance de carbono
- c- Estabilidad de producción

PE 1.A.2. Impacto de la intensificación y diversificación de las rotaciones a nivel de procesos:

- a- Eficiencia en el uso de agua
- b- Eficiencia en el uso de nutrientes
- c- Balance nutricional

PE 1.A.3. Impacto de la intensificación y diversificación de las rotaciones a nivel ambiental:

- a- Impacto ambiental de pesticidas
- b- Impacto sobre la comunidad de malezas

PE 1.A.4. Impacto de la intensificación y diversificación de las rotaciones sobre el resultado económico

OE 1.B. Evaluar el efecto de rotaciones de distinta intensidad y diversidad de cultivos sobre la **“salud del suelo”**

PE 1.B.1. Cambios en la “salud del suelo” en relación al nivel de intensificación (indicadores físicos, químicos y biológicos)

PE 1.B.2. Indicadores edáficos sensibles y niveles de referencia para la zona de influencia de la chacra

OG 2. Ajustar técnicas de manejo específicas para mejorar modelos de producción

OE 2.A. Evaluar diferentes **cultivos de coberturas** (mono y polifítico) como alternativas de intensificación invernal en distintas zonas productivas.

PE 2.A.1. Producción de materia seca y aporte de nitrógeno al suelo de diferentes cultivos de cobertura (mono y polifítico) como antecesor al maíz tardío.

PE 2.A.2. Impacto sobre la producción a mediano plazo

OE 2.B. Definir estrategias de **fertilización nitrogenada en maíces** con diferentes antecesores invernales

PE 2.B.1. Curva de respuesta del rendimiento al N en maíz, según el cultivo antecesor.

PE 2.B.2. Dosis óptima económica de N según antecesor.

OE 2.C. Lograr **implantaciones de calidad** de los cultivos en situaciones con alto volumen de rastrojo

PE 2.C. Capacitación en calidad de implantación de cultivos en rotaciones con altos niveles de rastrojo

OE 2.D. Definir estrategias de **fertilización nitrogenada en trigos** con diferentes antecesores invernales/maíz

PE 2.D.1. Curva de respuesta del rendimiento al N en trigo, según los cultivos antecesores.

PE 2.D.2. Dosis óptima económica de N según antecesor.

OG 3. Aplicación del conocimiento en sistemas reales de producción

OE 3.A. Evaluar la **viabilidad económico-empresarial** de la intensificación

PE 3.A. Análisis productivo/económico de rotaciones intensificadas y de menor intensidad en distintas zonas de influencia de la Chacra (Red de intensificación).

OE 3.B. Identificar **limitantes, problemas, beneficios** y otras propiedades emergentes asociados a la intensificación de las rotaciones agrícolas.

PE 3.B. Listado de limitantes, problemas, beneficios y otras propiedades emergentes en distintas zonas asociados a la intensificación de las rotaciones

OG 4. Difusión y transferencia de conocimientos

OE 4.A. Transferir al grupo y a la sociedad los conocimientos generados por la Chacra Pergamino

PE 4.A.1. Dos informes de resultados (de avances y anual) por año

PE 4.A.2. Doce informe visuales mensuales por año

PE 4.A.3. Dos talleres de presentación de resultados por año

PE 4.A.4. Informe final al concluir los 3 años del proyecto

PE 4.A.5. Formación de recursos humanos: tesistas y/o pasantes

PE 4.A.6. Bibliografía actualizada asociada a la temática de la chacra

OE 4.B. Detección de nuevos vacíos de conocimiento

PE 4.B. Listado de nuevos interrogantes planteados

Logros Plan de Acción 2011-20

Durante los nueve años de trabajo de la Chacra Pergamino, se trabajó en base a los distintos objetivos planteados, lográndose alcanzar exitosamente la mayoría de los productos esperados. Algunas de las líneas de trabajo planteadas originalmente fueron tomando mayor relevancia que otras, dando lugar a la reformulación del plan de trabajo inicial. En la siguiente tabla se detallan los productos de cada objetivo y los logros en relación a cada uno.

Objetivo	Producto	Detalle	Logros
OG 1: Intensificación	PE 1.A.1.	Producción: rinde y aporte de carbono (C)	Caracterización luego de 6 años de rotaciones. Balance de C y proyección a 15 años con modelos de simulación
	PE 1.A.2.	Procesos: agua y nutrientes. FFE. DRIS	Caracterización luego de 6 años de rotaciones. Balance de agua, N, P y S. Análisis de FFE (rinde y suelo). Análisis foliar (DRIS)
	PE 1.A.3.	Ambiental: toxicidad y malezas	Análisis con RIPEST de pesticidas totales y herbicidas (6 años de rotaciones). Evaluación malezas (interacción REM y FAUBA)
	PE 1.A.4.	Económico	Análisis INTA Pergamino 2017-Análisis productor 2020

	PE 1.B.1.	Salud suelo	Muestréos 2012, 2015 y 2018 (físicos y químicos), 2015-16 y 2018-19 (biológicos)
	PE 1.B.2.	Indicadores sensibles	Listado y rango de valores
Objetivo	Producto	Detalle	Logros
OG 2: Manejo	PE 2.A.1.	Producción MS y N CS	Ensayo 2017 en tres sitios. Luego Red CS AAPRESID (2018 y 2019)
	PE 2.A.2.	Rendimiento Maíz	Ensayo 2017 en tres sitios. Con y sin N en Uranga.
	PE 2.B.1.	Respuesta N Maíz	Ensayo en 3 campañas (2014-15, 2015-16, 2016-17)
	PE 2.B.2.	Dosis óptima N trigo	Ensayo en 3 campañas (2014-15, 2015-16, 2016-17)
	PE 2.C.	Capacitación en calidad	Capacitación realizada para miembros y contratistas (2016)
	PE 2.D.1.	Respuesta N Trigo	Ensayo en 2 campañas (2016-17 y 2017-18)
	PE 2.D.2.	Dosis óptima N trigo	Ensayo en 2 campañas (2016-17 y 2017-18)
OG 3: Aplicación	PE 3.A.	Análisis productivo Red	1 campaña (2017-18). Discontinuo el grupo.
	PE 3.B.	Listado limitantes Red	1 campaña (2017-18). Discontinuo el grupo.
OG 4: Transferencia	PE 4.A.1.	Informes	2 informes por año
	PE 4.A.2.	Informes visuales	8-10 IV por año
	PE 4.A.3.	Talleres	2 talleres por año (marzo-octubre)
	PE 4.A.4.	Informe final ciclo	3 talleres de cierre (Ago 19, Nov 19 y Mar 20) con 3 informes
	PE 4.A.5.	Formación RRHH	2 tesis de grado. GTD como director/co-director
	PE 4.A.6.	Bibliografía actualizada	Si
	PE 4.B.	Nuevos Interrogantes	Si

CAPÍTULO 2

EVALUACIÓN DE SISTEMAS INTENSIFICADOS

En los últimos años, se ha producido una simplificación de los sistemas de producción agrícola de la zona núcleo argentina. Promediando las últimas cinco campañas, la superficie de soja paso a representar el 58% del total de la superficie bajo producción (MAGyP, 2015). La mayor inclusión de soja en las rotaciones agrícolas no fue acompañada de un crecimiento en la superficie destinada a cultivos de invierno, de manera que principalmente aumento la producción de soja de primera. Así, desde los años 90` se está produciendo en el país una disminución de la diversidad (mayor proporción de soja en la rotación) y de la intensidad de las rotaciones (menor número de cultivos al año, con predominio de soja de primera).

El principal inconveniente de estos sistemas simplificados es el bajo aporte de rastrojo con baja relación C/N al sistema, lo que favorece su rápida descomposición aportando un menor contenido de carbono (C) que desencadena en balances negativos de C. Se espera que la intensificación de las rotaciones, al incluir más cultivos por año, genere mejoras en los rendimientos totales y en el aporte de C al sistema. Además, será importante lograr mejoras en las eficiencias de uso del agua y nutrientes para producir más por cada unidad de recurso disponible.

Mirar los cambios en los indicadores de “salud del suelo” generados por la intensificación de las rotaciones también será un factor a tener en cuenta. Sistemas mejoradores de las propiedades del suelo serán necesarios, para evitar degradar los recursos. Será fundamental mirar los indicadores edáficos tanto físicos como químicos, así como también buscar nuevos indicadores que sean más sensibles a los cambios en el manejo de la producción, que permitan cuantificar en una escala de tiempo menor las mejoras que otorgan los sistemas intensificados.

Por último, a nivel social resulta fundamental difundir sistemas de producción que sean amigables con el ambiente, es decir, que no generen un perjuicio para la sociedad en su conjunto.

En los siguientes capítulos (2.1 a 2.6) se abordará por separado el efecto de los sistemas intensificados sobre indicadores de producción, eficiencia, edáficos (físicos, químicos y biológicos) y ambientales. En el capítulo 2.7 se realizará un análisis integral de todos los indicadores evaluados.

METODOLOGÍA GENERAL

Diseño experimental – Ensayo de rotaciones

Durante 6 campañas (2012/13 a 2017-18) se realizó un ensayo de rotaciones de cultivos en tres establecimientos: Las Matreras (LMs), San Nicolás (SN) y La Matilde (LMe); ubicados en Irineo Portela (Bs. As.), Uringa (Santa Fe) e Inés Indart (Bs. As.), respectivamente (Figura 2.1). En cada uno se seleccionó un lote representativo, teniendo en cuenta la serie de suelo y la posición topográfica (Tabla 2.1). Cada lote se dividió en cinco franjas de tamaño similar (8-20 ha dependiendo el tamaño del lote), donde se ubicaron las rotaciones planteadas en cada establecimiento.



Figura 2.1. Ubicación de los establecimientos San Nicolás (Uranga, Santa Fe), Las Materas (Irineo Portela, Bs. As.) y La Matilde (Inés Indart, Bs. As.).

Tabla 2.1. Establecimientos de la Chacra Pergamino donde se realizó el ensayo de rotaciones de cultivos. Localidad, serie de suelo dominante, capacidad de uso y tamaño del lote elegido.

Establecimiento	Código	Localidad	Serie dominante	Cap. Uso	Lote elegido
Las Matreras	LMs	Irineo Portela	60-40% RT-Ar	III es/II e	Lote 21 (59ha)
San Nicolás	SN	Uranga	Py	II s	Lote 20 (106ha)
La Matilde	LMe	Inés Indart	60-40% Ro-AD4	I-1/II w	Lote 23 (39ha)

SERIES SUELO: Py (Peyrano), Ro (Rojas), AD (Arroyo Dulce), RT (Río Tala) y Ar (Arrecifes). En la Figura A1 del Anexo 3 se describen los perfiles texturales de cada serie.

Las rotaciones realizadas en cada establecimiento se caracterizaron con dos parámetros: el índice de intensidad de la rotación (IIR) y el porcentaje de gramíneas (%Gram). El IIR es la relación entre el tiempo en días de la rotación ocupado con cultivos (desde emergencia a madurez fisiológica) y los días totales de la rotación; y el %Gram es la relación entre la cantidad de gramíneas y el total de cultivos realizado en la rotación. Para las rotaciones con pasturas, el IIR consideró los cuatro primeros años a intensidad 1 (durante el ciclo de las pasturas) y los últimos dos años considero el tiempo de ocupación de los cultivos que tuvieron luego de secarse la pastura. Eso hizo que el IIR sea menor a 1 (entre 0,88 a 0,90). En la Tabla 2.2 se muestran los valores de IIR y %Gram de cada tratamiento, incluyendo los 6 años de rotaciones (2012/13 a 2017/18).

Tabla 2.2. Índice de intensificación (IIR) y porcentaje de gramíneas (%Gram) de cada rotación y establecimiento de la Chacra Pergamino luego de 6 años de rotaciones.

Est.	Rotación	IIR	% Gram
LMS	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	0,88	50
LMS	Tr/Sj-Ar/Mz	0,57	36
LMS	Tr/Mz-Vic/Mz	0,54	90
LMS	Tr/Sj-Mz	0,46	63
LMS	Tr/Sj-Mz-Sj	0,46	50
SN	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	0,89	50
SN	Tr/Sj-Vic/Mz	0,70	50
SN	Tr/Sj-Ar/Mz	0,65	50
SN	Tr/Mz-Vic/Mz	0,64	92
SN	Tr/Sj-Mz-Sj	0,46	50
LMe	Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	0,90	58
LMe	Tr/Sj-Cb/Mz	0,70	75
LMe	Tr/Mz-Vic/Mz	0,67	75
LMe	Tr/Sj-Ar/Mz	0,65	45
LMe	Tr/Sj-Mz-Sj	0,53	56

En el Anexo 1 se describen los cultivos realizados en cada año y el manejo agronómico aplicado en todas las rotaciones y establecimientos. Los genotipos utilizados en cada caso, fueron los disponibles en cada establecimiento, aunque se sugirieron ciclos cortos en el caso de fechas de siembras más tardías. Las fechas de siembra y cosecha se ajustaron a las rotaciones planteadas, anticipando las cosechas para no demorar las siembras de los cultivos siguientes. En el primer ciclo de rotaciones, la fertilización fue la realizada habitualmente por cada establecimiento para cada uno de los cultivos, pero desde el segundo ciclo se comenzó a ajustar la fertilización en base a la rotación planteada (según protocolos elaborados). Las plagas, enfermedades y malezas recibieron el manejo habitual de cada establecimiento.

Para contrastar el efecto de máxima intensidad (ocupacional), con las rotaciones agrícolas, se sembraron pasturas consociadas (gramíneas y leguminosas). Las pasturas se sembraron en abril de 2012 en San Nicolás y La Matilde, y en agosto 2012 en Las Matreras (ver detalle del manejo de las pasturas en Anexo 1). Todas las pasturas se mantuvieron sin pastorear y se realizaron 3-5 cortes mecánicos por año, a partir de los cuales se elaboraron rollos, que fueron pesados y contados para estimar producción de materia seca (MS). En otoño de 2016 las pasturas se secaron con herbicidas para iniciar un nuevo ciclo agrícola.

Mediciones de indicadores edáficos

Los indicadores edáficos se evaluaron en 3 unidades de muestreo (UM) por rotación en 2012. A partir del 2015, se sumaron 2 UM más por rotación, dando un total de 5 UM por rotación, las cuales pueden visualizarse en la Figura 2.2 por rotación y establecimiento. Además, en el Anexo 2 se incluyó una tabla con la georreferenciación de cada UM.

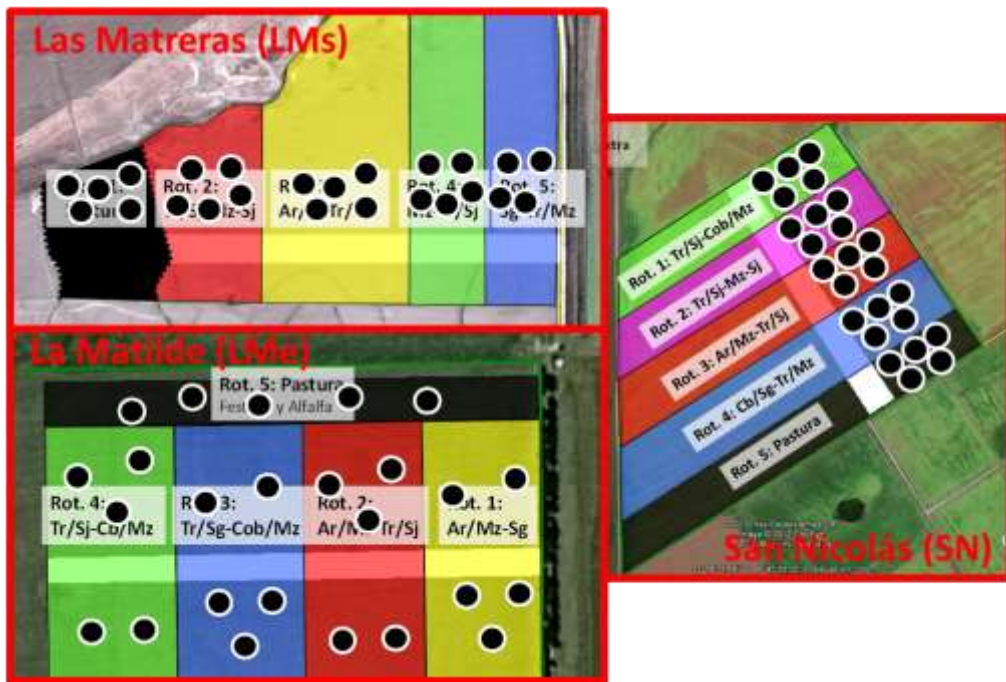


Figura 2.2. Mapa del ensayo de rotaciones en Las Matreras, La Matilde y San Nicolás con la ubicación aproximada de las UM.

CAPÍTULO 2.1

SISTEMAS INTENSIFICADOS: EFECTO SOBRE INDICADORES DE PRODUCCIÓN

M.B. Agosti, A. Irizar, L. Milesi y A. Andriulo

INTRODUCCIÓN

La intensificación y diversificación de las rotaciones implica un aumento del número de cultivos y de gramíneas en la rotación, de manera tal de aumentar el nivel de C aportado al sistema y mejorar el balance del mismo. El índice de intensidad de las rotaciones (IIR) ha sido propuesto como una medida para caracterizar el tiempo de ocupación por los cultivos en las rotaciones, expresado como cultivos por años de la rotación (Farahani *et al.*, 1998) o días con cultivos sobre días totales de la rotación. En un trabajo realizado en Pergamino, aumentos de intensidad de cultivos de 0,37 a 0,76, generó mejoras en el retorno de C al suelo de 2,8 a 5 tn ha⁻¹ año⁻¹, que repercutieron en mejoras en el stock de C del suelo (Irizar, 2010). Comparando distintas rotaciones, con distintas intensidades, el aporte de C de rastrojo aéreo y radical, fue de 3,1 a 6,4 tn ha⁻¹ año⁻¹ (Irizar *et al.*, 2015). Sin embargo, en este último trabajo, la totalidad de los balances de carbono fueron neutros o negativos luego de 25 a 35 años de experimentación. Novelli *et al.* (2016) en un ensayo en INTA Paraná, luego de dos años de ensayos con IRRs de 0,43 a 0,89, lograron triplicar los aportes de biomasa total (aérea y radical) y generaron cambios en el stock de C del suelo. A pesar del gran aporte de estos trabajos con respecto al balance de C en sistemas con una mayor intensificación, todavía existe una brecha del conocimiento para situaciones de intensificación con pasturas o con una alta proporción de gramíneas (75-100%) en las rotaciones.

Por lo anteriormente mencionado, el objetivo de la Chacra Pergamino es **evaluar el efecto de rotaciones de mayor intensificación y diversidad de cultivos sobre la productividad del sistema**. Evaluando los cambios en los rendimientos, el aportes de C y el balance de C del suelo.

METODOLOGÍA

Rendimiento en grano y biomasa aérea total

El valor de rendimiento por cultivo, tratamiento y año, en cada establecimiento, se obtuvo por cosecha mecánica. De cada cultivo de invierno y verano, se obtuvo el rendimiento mecánico tomado con una cosechadora perteneciente a cada establecimiento pesando la totalidad de cada franja. Los rendimientos fueron corregidos y expresados en la humedad comercial correspondiente a cada cultivo (12,5 % para cebada, 13,5 % para arveja y soja, 14 % para trigo, 14,5 % para maíz y 15 % para sorgo).

Además, el rendimiento en grano fue convertido a equivalente glucosa (EG) y a equivalente maíz (EM) para hacer una mejor comparación de la productividad entre rotaciones, sin beneficiar o perjudicar las mismas según el tipo de cultivos realizados. Para convertir EG y EM se multiplicó el rendimiento por el factor de conversión de cada cultivo (Tabla 2.1.1).

Tabla 2.1.1. Factores de conversión de cada cultivo para expresar el rendimiento en equivalente glucosa (EG) y equivalente maíz (EM).

Cultivo	Fc EG	Fc EM
Trigo	1,28	0,97
Cebada	1,20	0,91
Arveja	1,26	0,95
Maíz	1,32	1,00
Sorgo	1,40	1,06
Soja	1,86	1,41

Hasta la campaña 2014-15, también se obtuvieron datos de rendimiento y biomasa total aérea por cosecha manual, para estimar índices de cosecha. Para ello, de cada cultivo de grano en cada una de las rotaciones, se tomaron muestras de 2 m² de superficie (5 repeticiones por tratamiento) incluyendo las plantas enteras (tallos, hojas en pie y grano). En cada muestra se determinó la biomasa aérea total (BAT expresada en peso seco), que incluyó tallos, hojas en pie y grano, y el rendimiento en grano (expresado como peso seco a 0 % de humedad). Incluyendo los datos de cosechas manuales de las cuatro primeras campañas (campañas 2011-12 a 2014-15), se obtuvieron relaciones para cada cultivo entre el rendimiento y BAT. Se estimó el índice de cosecha (IC), como la pendiente de la relación en cada cultivo. En la Tabla 2.1.2 se muestran los IC de cada cultivo y el ajuste de las regresiones.

Tabla 2.1.2. Índices de cosecha (IC) de cada cultivo.

Cultivo	IC	r ²
Trigo	0,37	0,73
Cebada	0,34	0,87
Arveja	0,42	0,97
Maíz	0,51	0,71
Sorgo	0,36	0,96
Soja	0,51	0,93

Los IC estimados se utilizaron para estimar la biomasa aérea total (BAT) generada en cada franja, cultivo y año, dividiendo el rendimiento de cosecha mecánica por el IC estimado de cada cultivo.

Biomasa aérea total de cultivos de coberturas

Para los cultivos de cobertura de *Vicia villosa*, se midió la biomasa aérea total al momento de secado. Para ello se tomaron muestras de biomasa aérea de 2 m², en 5 repeticiones por tratamiento. Se pesaron las muestras en húmedo, se extrajo una sub muestra, que fue pesada y luego llevada a estufa a 60 °C por 24 hs para obtener el peso seco. Luego se estimó el porcentaje de humedad de la sub-muestra, que sirvió para descontar la humedad de toda la muestra y así expresar la producción de biomasa como materia seca (kg ha⁻¹).

Producción MS pasturas

Para las pasturas, se registró el número de rollos y el peso promedio de los mismos en cada corte. Se tomaron tres sub muestras del rollo para estimar porcentaje de humedad y llevar a MS los kg/ha de forraje producido [kg ha⁻¹ MS corte = (Num. Rollos x MS/rollo)/Superficie pastura].

Aporte de Carbono Humificado

Se estimó el aporte de carbono de cada cultivo de la rotación a partir de los datos de rendimiento de cosecha mecánica y los IC medidos en las cosechas manuales (Tabla 2.1.1). De cada cultivo en cada rotación, se determinó la biomasa aérea total (BAT = Rendimiento/IC), la biomasa aérea (BA= BAT-rendimiento) y radical (BR= BAT x 30%). La biomasa total aportada (BA+BR) se afectó por el coeficiente de humificación y el contenido de C de la materia seca (40%), para obtener el C humificado aportado por la parte aérea y radical (Andriulo *et al.*, 1999; Figura 2.1.1). Los coeficientes de humificación (k1) fueron distintos entre cultivos: 0,13 para trigo, cebada, maíz y sorgo, 0,17 para soja, 0,11 para arveja, 0,25 para vicia y 0,289 para pasturas consociadas. Para estimar el aporte de C de los cultivos de cobertura (vicia), la biomasa aérea aportada fue la medida a campo y la biomasa radical se estimó como BAT x 30%. Como los aportes de C de las coberturas están expresados en

peso seco (0% de humedad), se convirtieron los rendimientos de cosecha mecánica (que se expresan en humedad comercial) en rendimientos secos (0% de humedad), considerando las humedades comerciales de cada cultivo (14% en trigo, 12,5% en cebada, 13,5% en arveja y soja, 15% en sorgo y 14,5% en maíz). Para estimar los aportes de C de las pasturas, se utilizó también el modelo propuesto para los cultivos de granos, pero el IC fue de 0,75 (Bolinder *et al.*, 2007) y la proporción de raíces fue del 45% (Teixeira *et al.*, 2008). Para estimar los aportes de C anuales de las pasturas, se sumaron los aportes de cada corte desde julio a junio de cada año.

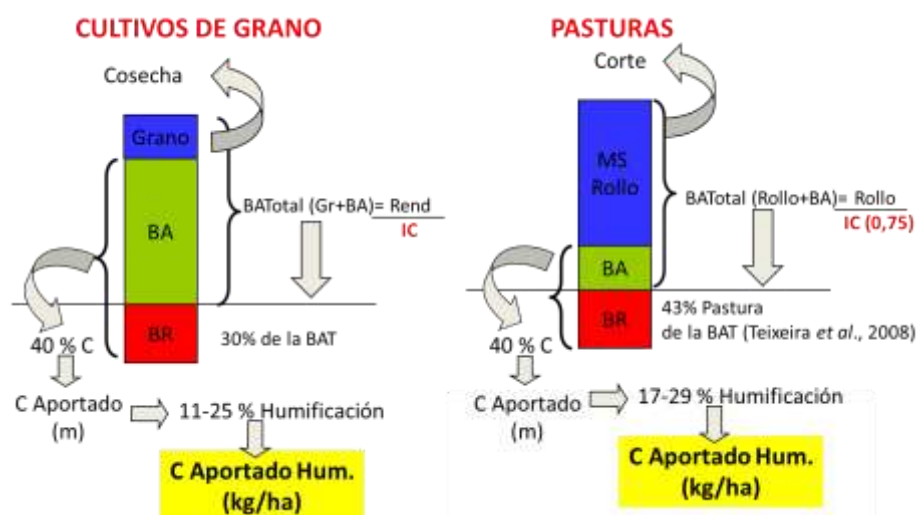


Figura 2.1.1. Esquema del modelo de estimación de aporte de carbono humificado para cultivos de granos (izquierda) y pasturas (derecha). Adaptado de Andriulo *et al.*, 1999.

Balace de Carbono

Se realizaron balances de carbono (entradas – salidas) para graficar la evolución del stock de carbono del suelo durante las seis campañas evaluadas (2012/13 a 2017/18), siguiendo el modelo propuesto por INTA Pergamino (Andriulo *et al.*, 1999; Milesi Delaye *et al.*, 2013). En el modelo se consideró como C inicial el stock de C (tn ha^{-1}) medido en 2012 en cada rotación (ver cálculo de stock a masa equivalente en Capítulo 2.4). Esta metodología se utilizó también para realizar una proyección del stock de C a 30 años (6 años del ensayo más 24 años simulados). Para ello, se consideró como C inicial el valor alcanzado luego de 6 años de ensayo (C_0), se estimó un aporte de C promedio de cada rotación (m) y el coeficiente de humificación (k1) utilizado fue el promedio de todos los cultivos realizados en los 6 años. Es decir, que esta proyección consideró que los 24 años siguientes al ensayo, se repitió una situación promedio a la ocurrida en el ensayo (en cuanto a rendimientos y aportes de C). Para las rotaciones con pasturas, se simularon ciclos de 4 años de pastura y 6 años de agricultura.

De la simulación inicial en las 6 campañas de ensayo, se obtuvo el valor del carbono de equilibrio (C_{eq}) que se alcanza cuando el tiempo tiende a infinito. Este valor de estabilización se consideró como 100%, y se estimó para cada rotación y establecimiento, que porcentaje de C se había alcanzado en relación al valor de estabilización. Por ejemplo, si para una determinada rotación se alcanza la estabilización con 47 tn ha^{-1} de C (100%), y luego de 6 campañas se llegó a 42 tn ha^{-1} ; esto quiere decir que se alcanzó el 89,4% o que falta que el sistema gane un 12,3% de C para estabilizarse. Para las rotaciones con pastura, el C_{eq} se estimó como el C simulado promedio de los últimos 20 años en una simulación de 100 años (con ciclos de 4 años pastura y 6 años agricultura). Esto fue necesario ya que el modelo no permite obtener el C_{eq} en ciclos con pastura.

RESULTADOS

Rendimiento en grano

Para la comparación de rotaciones, se procedió al cálculo de los rendimientos acumulados para el período estudiado (2012-13 a 2017-18) que no es más que la sumatoria de rendimientos para cada uno de los cultivos presentes en la rotación. En San Nicolás, los rendimientos acumulados fueron máximos en las rotaciones más intensificadas (IIR>0,64), evidenciándose una diferencia con respecto a la rotación testigo (Tr/Sj-Mz-Sj) de 6.464, 5.976 y 5.872 kg ha⁻¹ para las rotaciones Tr/Sj-Ar/Mz, Tr/Mz-Vic/Mz, y Tr/Sj-Vic/Mz, respectivamente (Figura 2.1.2). Una de las rotaciones destacadas fue Tr/Sj-Vic/Mz. Una posible causa es la presencia de la vicia durante tres inviernos, que a pesar de no haber contribuido directamente en el rendimiento acumulado, potenció los rendimientos de los demás cultivos de cosecha, generando rendimientos similares que las demás rotaciones en las cuales durante los inviernos consecutivos crecieron cultivos de cosecha. Además de potenciar el rendimiento de los demás cultivos, la rotación con vicia generó mejoras en los aportes C y N, en las propiedades del suelo, y en el control de malezas.

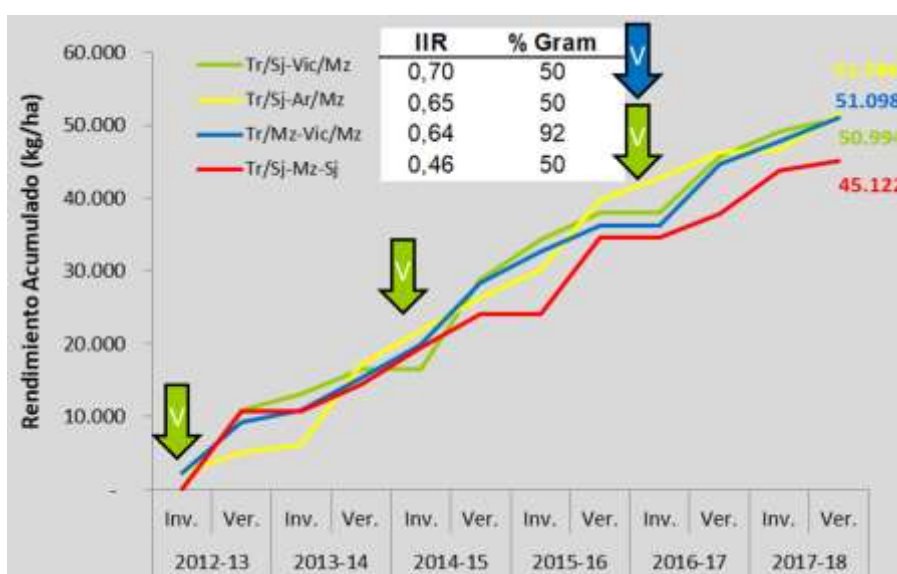


Figura 2.1.2. Evolución del rendimiento acumulado (kg ha⁻¹) por rotación desde la campaña 2012-13 a 2017-18 en San Nicolás. Las flechas indican la ubicación de vicias de cobertura.

En La Matilde, también se obtuvo el menor rendimiento acumulado en la rotación de menor intensidad, es decir la testigo (Figura 2.1.3). Sorprendentemente, para este establecimiento los rendimientos acumulados para la rotación con arveja (Tr/Sj-Ar/Mz-Sj) también expresaron rendimientos cercanos al testigo con una diferencia de tan sólo 2.712 kg ha⁻¹. A diferencia de lo ocurrido en San Nicolás, la rotación con vicia (Tr/Mz-Vic/Mz) para este establecimiento obtuvo los rendimientos más elevados, con una diferencia de 17.483 kg ha⁻¹ con respecto a la rotación testigo. Probablemente, el aporte de una mayor cantidad de gramíneas de cosecha sumado a la presencia de vicia de cobertura, para este sitio genere una mayor diferencia y posicione a esta rotación como la mejor.

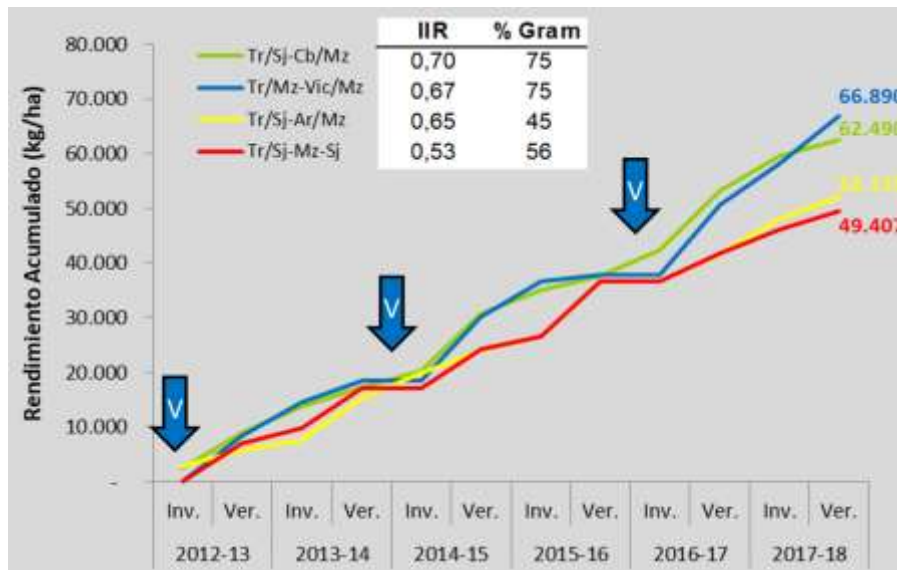


Figura 2.1.3. Evolución del rendimiento acumulado (kg ha^{-1}) por rotación desde la campaña 2012-13 a 2017-18 en La Matilde. Las flechas indican la ubicación de vicias de cobertura.

A diferencia de los demás sitios, en Las Matreras, la rotación testigo obtuvo los mayores rendimientos acumulados (Figura 2.1.4). Las posibles causas para explicar estos resultados pueden atribuirse a la falta de intensificación de las rotaciones para este establecimiento (IIR 0,57-0,46) con respecto a la rotación testigo. Esto posiblemente generó una penalidad en el rendimiento acumulado a pesar del incremento en el uso del recurso. Otra de las causas a la que atribuimos la falta de respuesta es la imposibilidad de sembrar trigo en todas las rotaciones a excepción de la testigo debido al uso de herbicidas que no permitieron la implantación del trigo en el año 2015. En la Figura 2.5 se observa que a partir de ese año, las rotaciones más intensificadas se alejan de la curva testigo, conservando esas diferencias a lo largo de los siguientes años. Además, en la rotación con arveja (Tr/Sj-Ar/Mz-Sj), coincidió que todos los años en los cuales el cultivo de arveja se encontraba implantado, fueron muy húmedos, generando rendimientos muy bajos por problemas de enfermedades. En la rotación originalmente 100% gramíneas (Tr/Mz-Vic/Mz), hasta el 2016 tuvo sorgos de primera que siempre manifestaron rendimientos bajos (originalmente Tr/Mz-Sg) y los maíces sembrados a posteriori de los trigos consistentemente se comportaron peor que los maíces de las otras rotaciones por una carencia de N. Esta última rotación ha repuntado estas últimas dos campañas al incorporar una leguminosa de cobertura y reemplazar el sorgo por maíz.

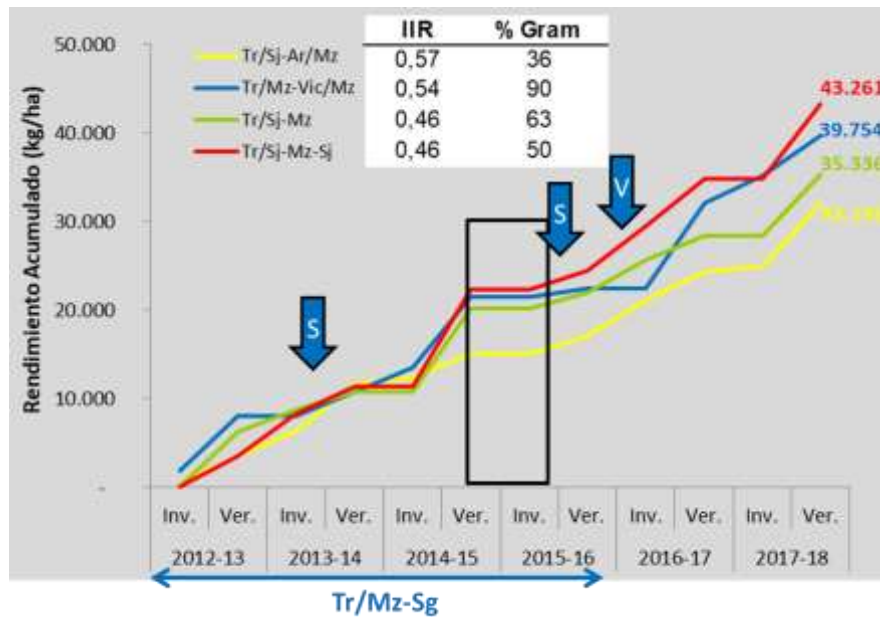


Figura 2.1.4. Evolución del rendimiento total (kg ha^{-1}) por rotación desde la campaña 2012-13 a 2017-18 en Las Matreras. Las flechas indican la ubicación de vicias de cobertura (V) y de los sorgos de primera (S). El recuadro muestra la ausencia de cultivos de invierno en 2015.

Al expresar los rendimientos de cada cultivo en equivalente glucosa (EG), se obtuvieron las mismas tendencias que con los rendimientos acumulados (Figura 2.1.5). En San Nicolás (SN) la rotación con alta proporción de gramíneas (línea azul), a diferencia de las otras rotaciones, mantuvo un valor de equivalente glucosa similar a la rotación testigo (línea roja) a lo largo del período estudiado. En La Matilde (LMe), la rotación con arveja (línea amarilla) mantuvo un valor de equivalente de glucosa similar a la rotación testigo, pero a partir de la campaña 2016-17 mejoró su productividad. En las matreras (LMs), la rotación testigo fue la mejor posicionada al expresar en EG. La conversión a equivalente maíz (EM) mostró similar tendencia que entre rotaciones que en EG, por ese motivo no se muestran los gráficos.

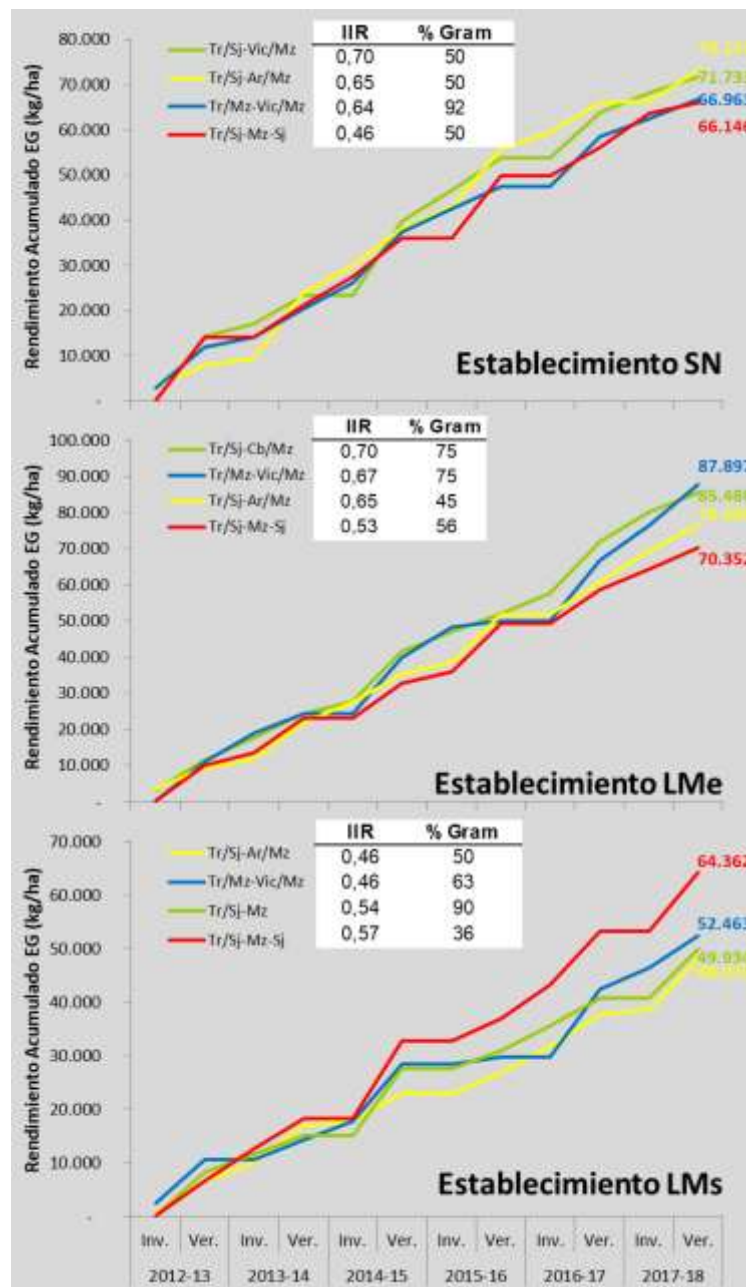


Figura 2.1.5. Evolución del rendimiento total en equivalente glucosa (EG, kg ha⁻¹) por rotación desde la campaña 2012-13 a 2017-18 en San Nicolás, La Matilde y Las Matreras.

Aporte de Carbono Humificado

En San Nicolás (Figura 2.1.6), el carbono aportado fue mayor para la rotación con pasturas y siguió un orden descendente en relación al IIR (mayor IIR, mayor aporte de C). La rotación con pastura tuvo un mayor aporte de carbono humificado a lo largo de todo el período de estudio, con un mayor aporte de C (6.300 kg ha⁻¹); en especial en el ciclo de pastura (desde 2012/13 a 2015/16). A partir de 2016/17, la tasa de aumento es menor debido al menor aporte de C del ciclo agrícola. De las cuatro rotaciones agrícolas, se destaca la rotación con vicia (línea verde), que siempre obtuvo los valores más altos alcanzando luego de 6 años valores de aporte de C totales similares a la rotación con pastura (6.000 kg ha⁻¹). La rotación testigo (línea roja) consistentemente durante todas las campañas tuvo el menor aporte de C, y al final del ciclo evaluado tuvo 2.613 kg ha⁻¹ menor de aporte de C que la rotación con pastura.

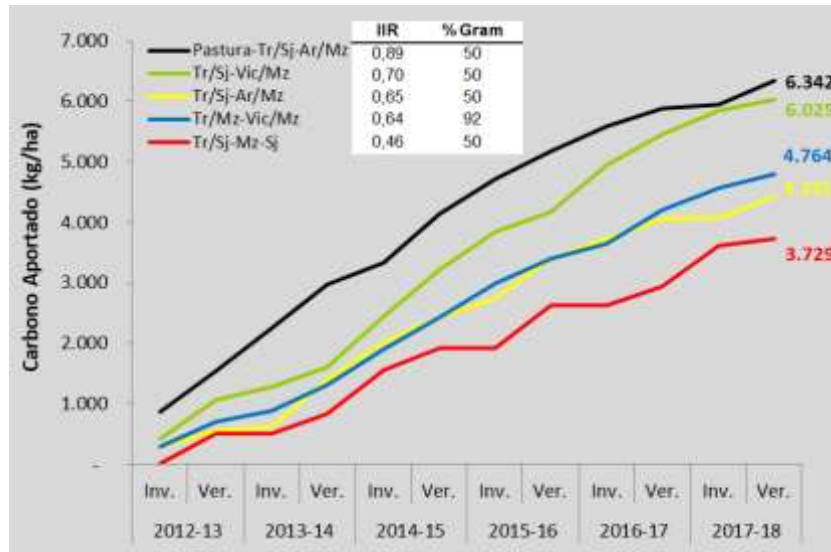


Figura 2.1.6. Evolución del rendimiento total (kg ha^{-1}) por rotación desde la campaña 2012-13 a 2017-18 en San Nicolás. Las flechas indican la ubicación de vicias de cobertura.

En La Matilde (Figura 2.1.7), los valores de aporte de C fueron mayores que en SN. La rotación con pastura también tuvo el mayor aporte de carbono durante todo el ciclo (7.623 kg ha^{-1}) seguida de la rotación con alta proporción de gramíneas (línea azul) que tuvo una performance 338 kg ha^{-1} menor. En este establecimiento, la inclusión de vicia como cobertura en esa rotación, generó un muy buen impacto en los rendimientos de las gramíneas, además del alto aporte de C. Las rotaciones restantes tuvieron una performance menor en cuanto a los aportes de carbono con valores de carbono aportado de entre 4.713 y 5.346 kg ha^{-1}).

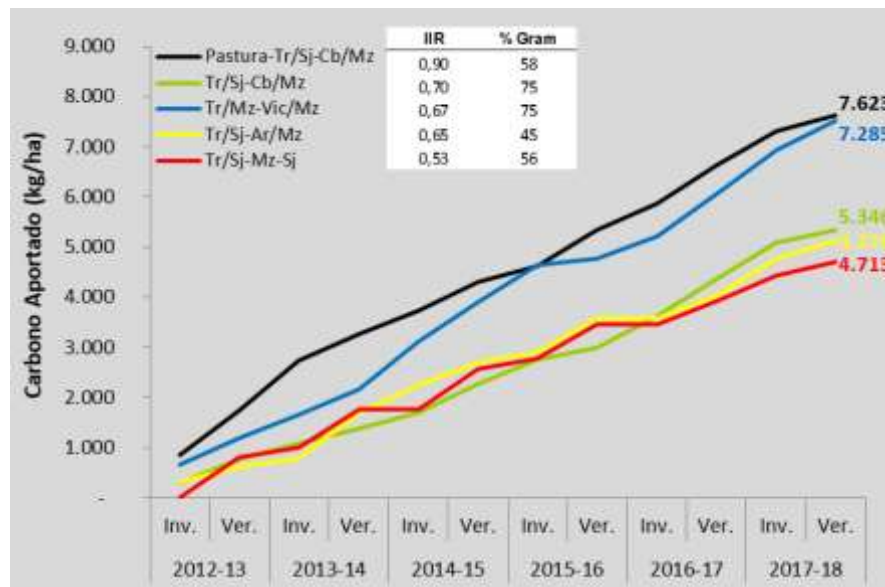


Figura 2.1.7. Evolución del rendimiento total (kg ha^{-1}) por rotación desde la campaña 2012-13 a 2017-18 en La Matilde. Las flechas indican la ubicación de vicias de cobertura.

Al igual que en los otros establecimientos, en Las Matreras (Figura 2.1.8), el mayor aporte de C se produjo en la rotación que tuvo pasturas implantadas (5.533 kg ha^{-1}). De entre las rotaciones netamente agrícolas se destacaron la rotación testigo (por sus altos rendimientos) y la rotación con

alta proporción de gramíneas (por su alta producción de biomasa aérea). La rotación con arveja (línea amarilla) y la de Tr/Sj-Mz (línea verde) fueron las de menor rinde y aporte de C al sistema.

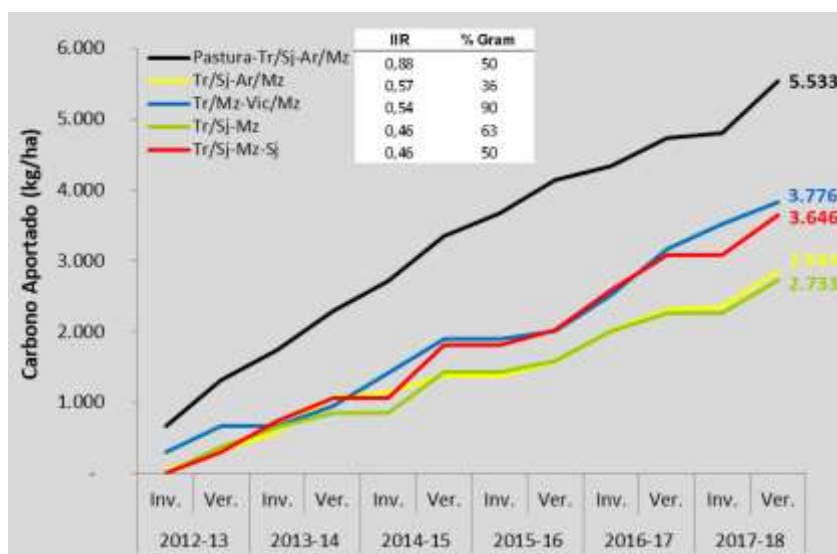


Figura 2.1.8. Evolución del rendimiento total (kg ha^{-1}) por rotación desde la campaña 2012-13 a 2017-18 en Las Matreras. Las flechas indican la ubicación de vicias de cobertura.

La relación entre el carbono total aportado y el rendimiento total generado, ambos desde inicio del ensayo (2012/13), fue parabólica (Figura 2.1.9). En el plateau de la relación se encuentran las rotaciones con vicia de SN y LMe, que permitieron maximizar los rendimientos (cerca de 55.000 kg/ha) pero con un aporte mucho mayor de C por la presencia de varias vicias durante el ensayo. Es decir, que por más que tuvieron tres vicias en los seis años de rotaciones, logramos mantener similares niveles de rendimiento que las rotaciones que tuvieron todos cultivos de cosecha. Por lo que no sólo maximizaron el aporte de C y N al sistema al incluir vicia en la rotación, sino que además potenciaron los rendimientos de los demás cultivos dentro de la rotación.

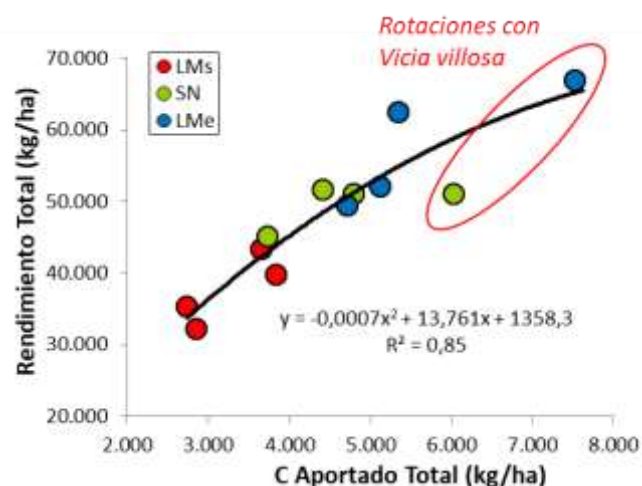


Figura 2.1.9. Relación entre el rendimiento total (kg ha^{-1} desde 2012/13 a 2017/18) y el carbono aportado total (kg ha^{-1} desde 2012/13 a 2017/18) para tres establecimientos de la Chacra Pergamino (LMs en rojo, SN en verde y LMe en azul).

El aporte de C promedio de cada rotación se relacionó positivamente con el nivel de intensidad de las rotaciones, de manera que cuanto más tiempo ocupado con cultivo vivo estuvo el suelo, más C se aportó al sistema (Figura 2.1.10). Se vuelven a destacar las dos rotaciones con más historia de vicias de SN y LMe, con mayores aportes de C con similares IIR que otras rotaciones.

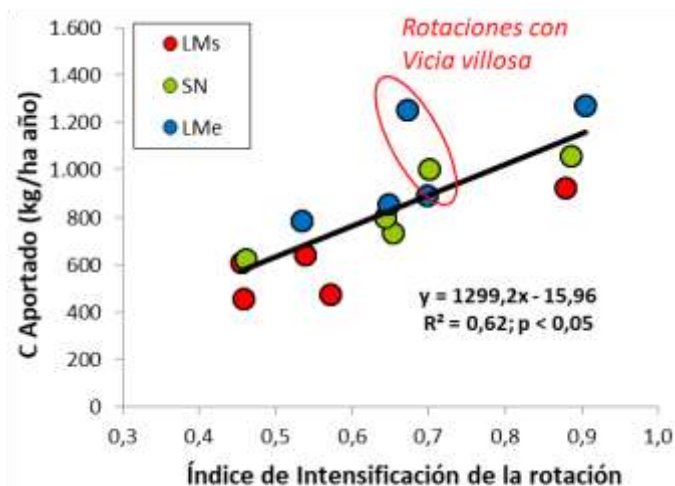


Figura 2.1.10. Relación entre el carbono aportado promedio ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) y el índice de intensidad de la rotación para tres establecimientos de la Chacra Pergamino (LMs en rojo, SN en verde y LMe en azul).

Balace de Carbono

La simulación de la evolución del stock de C en el suelo durante los 6 años de rotaciones fue diferente según la rotación y el establecimiento (Figura 2.1.11). En algunos casos, los balances fueron negativos (por ejemplo, rotaciones Tr/Sj-Mz-Sj en LMe y LMs), en otras fueron positivos (por ejemplo, rotaciones con pasturas en los 3 establecimientos) y en algunos neutros (por ejemplo, rotaciones verde y azul en LMe). En los tres establecimientos las pasturas tuvieron ganancias de C y llegaron a los mayores niveles luego de los 6 años de ensayo. En SN las rotaciones agrícolas intensivas estuvieron en una posición intermedia y la rotación menos intensa por debajo. En LMe y LMs este ordenamiento no fue tan claro, las rotaciones testigos (línea roja) tuvieron un mejor comportamiento, seguramente porque en ambos casos partieron de niveles altos de C y porque sus rendimientos no fueron tan malos en comparación con las otras rotaciones. En estos dos establecimientos las rotaciones intensivas agrícolas tuvieron pocos cambios en el stock de C y alcanzaron los menores valores al final de la simulación.

Es importante destacar que si bien el ensayo de rotaciones partió de lotes únicos en cada establecimiento, los niveles iniciales de C fueron diferentes entre los distintos sectores del lote, seguramente asociados a diferencias topográficas en las distintas franjas. Esta variabilidad es parte de estos sistemas de producción a mayor escala y fue considerada en el análisis para no castigar o beneficiar a ningún sistema. En la sección "Carbono del suelo" del Capítulo 2.4, se describe la metodología de estimación del stock de C del suelo a masa equivalente y en los resultados se muestran las diferencias entre rotaciones en las mediciones iniciales (2012).

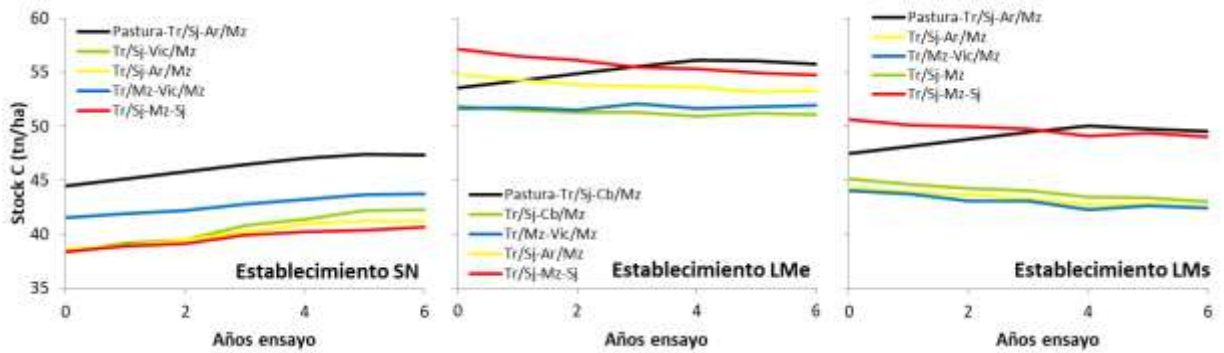


Figura 2.1.11. Simulación de la evolución del stock de C del suelo (tn ha^{-1}) en todas las rotaciones de los tres establecimientos de la Chacra Pergamino (SN, LME y LMs).

Proyección del Stock de Carbono

Si bien es importante simular los 6 años de ensayo, para luego contrastarlo con las mediciones de C en el suelo, la ventana de tiempo observada es muy pequeña. Por eso se realizó una proyección del stock de C luego de 30 años de iniciado el ensayo. Esto permite alcanzar niveles de C cercanos a la estabilización visualizando una mayor ventana de tiempo para comparar las rotaciones. En los tres establecimientos las proyecciones de las rotaciones con ciclos de pasturas están por arriba en los niveles de C alcanzados (Figura 2.1.12). En SN, todas las rotaciones tuvieron proyecciones positivas, y se destaca la rotación Tr/Sj-Vic/Mz (con 3 años de vicia), que alcanza a los 30 años el mejor valor de C de todas las rotaciones agrícolas, siendo únicamente superada por la rotación que intercala ciclos de pastura y agricultura. En este establecimiento el peor comportamiento lo tiene la rotación testigo, seguida por la rotación con arveja. En LME, de las rotaciones agrícolas la única que presenta una proyección positiva es la rotación con 3 años de vicia (Tr/Mz-Vic/Mz), alcanzando luego de 30 años, 3 tn ha^{-1} más de C que las otras rotaciones agrícolas. En LMs, todas las rotaciones agrícolas tienen proyecciones negativas, quedando la rotación testigo en primer lugar en stock de C dentro de las rotaciones agrícolas. Como ya se dijo anteriormente, seguramente explicado por el buen comportamiento en rendimiento de los cultivos en esta rotación (Figura 2.1.4).

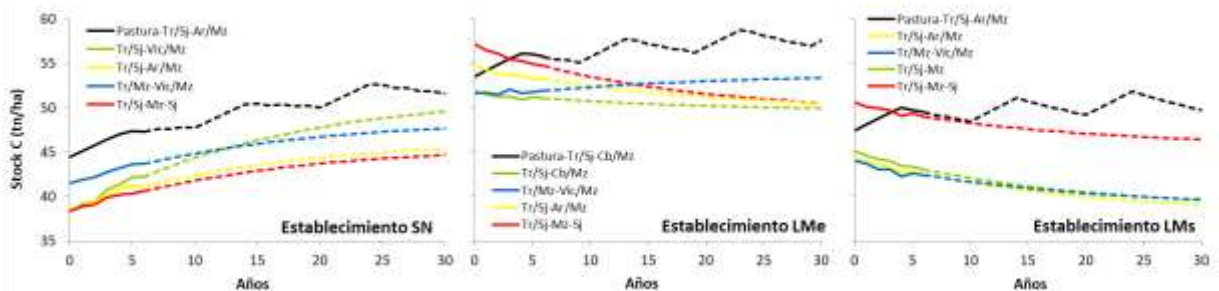


Figura 2.1.12. Simulación de la evolución del stock de C del suelo (tn ha^{-1}) a 30 años en todas las rotaciones de los tres establecimientos de la Chacra Pergamino (SN, LME y LMs). La línea llena muestra la evolución en los 6 años de ensayo y la línea punteada los años proyectados.

Carbono de equilibrio

Al proyectar la evolución del stock de C en un plazo de tiempo mayor, es posible observar el valor de C de equilibrio, donde los cambios en el stock son muy pequeños (la pendiente se hace 0). Surge entonces el interés de saber para cada rotación, en el año 2018, cuán lejos se está de ese equilibrio. En la Figura 2.1.13 se graficaron porcentualmente los valores de C de equilibrio (barras rayadas; $C_{eq} = 100\%$) y los valores alcanzados en 2018 (barras llenas), expresados como % respecto del valor de

equilibrio, para cada rotación en los tres establecimientos. Los porcentajes arriba de las barras muestran cuanto C tiene que ganar la rotación (signo +) o cuanto tiene que perder (signo -) para llegar al equilibrio.

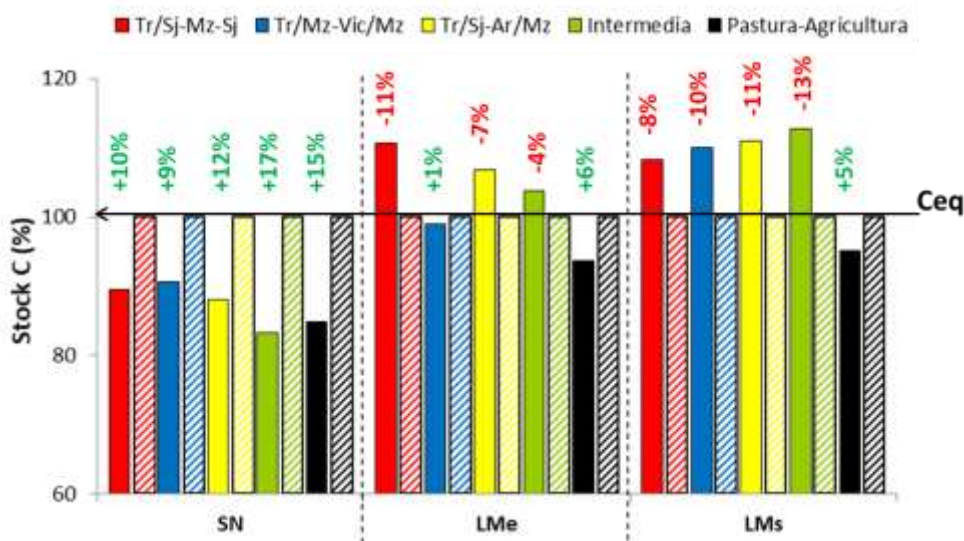


Figura 2.1.13. Stock de C (%) respecto del equilibrio luego de 6 años del ensayo de rotaciones (barras llenas) y al alcanzar la estabilización (Ceq, barras rayadas) en todas las rotaciones de los tres establecimientos de la Chacra Pergamino (SN, LMe y LMs). Los porcentajes indican cuanto C (en %) falta ganar (+) o perder (-) para alcanzar el equilibrio.

CONCLUSIONES

- ✓ En dos de los tres establecimientos, la **producción total de grano** fue mayor en las rotaciones de mayor intensidad.
- ✓ El **aporte de carbono** promedio de las rotaciones se incrementó al aumentar la intensidad de las mismas.
- ✓ La inclusión **vicia de cobertura** en rotaciones intensivas potenció los rendimientos de los otros cultivos en la rotación, ya que los rendimientos totales fueron similares o mayores a otras rotaciones con 4 cultivos de cosecha. Además, mejoró el aporte total de C.
- ✓ La simulación de la **evolución del stock de C** en el suelo mostró muy buen desempeño de las rotaciones con más historia de vicia (Tr/Sj-Vic/Mz en SN y Tr/Mz-Vic/Mz en LMe). Luego de 30 años estas rotaciones mostraron los mayores valores de C dentro de las rotaciones agrícolas.
- ✓ Las **rotaciones con ciclos de pastura** generaron mayor aporte de C al sistema que las rotaciones agrícolas. Además, tuvieron la mayor ganancia de C en la proyección a 30 años y el mayor valor de C de equilibrio.

BIBLIOGRAFÍA

- Andriulo, A; B. Mary and J. Guerif. 1999. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the Rolling pampas. *Agronomie* 19: 365-377.
- Bolinder, M.A., H.H. Janzen, E.G. Gregorich, D.A. Angers y A.J. VandenBygaart. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbón inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118, 29–42.
- Farahani, H.J.; G.A. Peterson y D.G. Westfall. 1998. Dry land cropping intensification: a fundamental solution to efficient use of precipitation. *Adv. Agron.* 64: 197-223.
- Irizar, A. 2010. Cambios en las reservas de materia orgánica del suelo y sus fracciones granulométricas: efecto de la secuencia de cultivo, del sistema de labranza y de la fertilización nitrogenada. Tesis para optar por el grado de Magister. FAUBA. Universidad de Bs. As. 63pp.
- Irizar, A.; L.A. Milesi Delaye y A.E. Andriulo. 2015. Projection of Soil Organic Carbon Reserves in the Argentine Rolling Pampa Under Different Agronomic Scenarios. Relationship of these Reserves with Some Soil Properties. *The Open Agriculture Journal* 9, 30-41.
- Milesi Delaye, L.A; A.B. Irizar, A.E. Andriulo and Bruno Mary. 2013. Effect of Continuous Agriculture of Grassland Soils of the Argentine Rolling Pampa on Soil Organic Carbon and Nitrogen. *Applied and Environmental Soil Science*. Volume 2013, Article ID 487865, 17 pages.
- Novelli, L.E.; O.P. Caviglia y G. Piñeiro. 2016. Increased cropping intensity improves crop residue inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks. *Soil & Tillage Research* 165: 128-136.
- Teixeira, E.I., D.J. Moot y H.E. Brown. 2008. Defoliation frequency and season affected radiation use efficiency and dry matter partitioning to roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops. *Europ. J. Agronomy* 28, 103–111.

CAPÍTULO 2.2

SISTEMAS INTENSIFICADOS: EFECTO SOBRE INDICADORES DE EFICIENCIA

M.B. Agosti y Tecnoagro SRL

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos tiene el desafío de satisfacer la creciente demanda de la población aumentando la producción de cultivos y minimizando el impacto ambiental. Alcanzar este desafío requiere aumentar el rendimiento por unidad superficie ya que la frontera agrícola se encuentra limitada. El aumento de los rendimientos mediante el uso de tecnologías de insumos aumentó la producción de alimentos, pero con impactos significativos en el medio ambiente, comprometiendo la producción futura y la capacidad del paisaje rural para proporcionar otros servicios eco sistémicos. Por lo tanto, desarrollo futuro debe centrarse en las prácticas y tecnologías de producción de cultivos con mayor eficiencia en el uso de los recursos, reduciendo la huella ambiental. La intensificación de las rotaciones debe generar por un lado mejoras a nivel de productividad (rendimiento, aporte de carbono) acompañado por una mayor eficiencia en el uso de recursos. Dentro de los recursos disponibles para los cultivos, con el manejo es posible aumentar la eficiencia de uso del agua y nutrientes. En producción bajo secano, el agua de lluvia es un recurso escaso, que hay que capturar y conservar en el suelo, para que esté disponible para los cultivos y no limite su crecimiento. La eficiencia de uso de nutrientes es un aspecto muy importante por el impacto que tiene la nutrición en la productividad, el costo productivo que implica la fertilización y por ser una posible fuente de contaminación dentro del sistema (por ejemplo contaminación de napas por percolación de nitratos).

La intensificación y diversificación de las rotaciones agrícolas, podría ser una herramienta de manejo válida para mejorar el uso de los recursos. Existen algunos trabajos que muestran que rotaciones más intensas y con mayor proporción de gramíneas que las utilizadas tradicionalmente, además de mejorar los aportes de rastrojo y de carbono al sistema, pueden generar mejoras en el balance de agua (Sasal, 2012; Doran y Parkin, 1994; Havlin, 1990), contribuyendo a estabilizar la producción y elevar los rendimientos, y a aumentar la eficiencia en el uso de recursos (Caviglia *et al.*, 2004 y Romaniuk *et al.*, 2018). En la Chacra Bragado-Chivilcoy de AAPRESID, evaluando rotaciones similares en intensidad a la Chacra Pergamino, hallaron mejoras en la captura y consumo de agua; y balances de nutrientes menos negativos, al incrementar la intensidad de la rotación (Alzueta, 2019). Sin embargo, no se encuentran trabajos similares a largo plazo y con alta intensidad (IIR cercano a 0,7) como para tener de referencia. Son necesarios más estudios zonales, que incluyan rotaciones de muy alta intensidad y mayor uso de fertilizantes, para los sistemas de producción de la zona pampeana argentina.

En relación a estos temas, un objetivo de la Chacra Pergamino es **evaluar el efecto de rotaciones de mayor intensificación y diversidad de cultivos sobre la eficiencia de uso de recursos del sistema (agua y nutrientes)**. La Chacra se propuso evaluar los cambios en la productividad del agua, productividad de nutrientes (N y P) y el efecto de la fertilización complementaria sobre el rendimiento, el suelo y el balance de nutrientes en planta.

METODOLOGÍA

EFICIENCIA DE USO DEL AGUA

1) Balance hídrico

Se realizaron mediciones de contenido de humedad gravimétrica en el perfil a la siembra y cosecha de los diferentes cultivos de grano y cobertura, durante toda la secuencia de rotaciones. Cuando la fecha de cosecha y siembra fueron muy próximas, se realizó una única medición. Para obtener el

agua útil del perfil (hasta 150 cm en LMs y 200cm en SN y LMe) se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{H. Grav. (g g}^{-1}\text{)} &= \text{Peso húmedo-Peso seco/Peso seco} \\ \text{H. Vol. (cm}^3\text{ cm}^{-3}\text{)} &= \text{H. Grav. (g g}^{-1}\text{)} * \text{D. Aparente (g cm}^{-3}\text{)} \\ \text{Lámina (mm)} &= \text{H. Vol. (cm}^3\text{ cm}^{-3}\text{)} * \text{Prof. (mm)} \\ \text{Agua útil perfil (mm)} &= \sum \text{Lámina (mm)} - \text{PMP (mm)} \end{aligned}$$

La densidad aparente que se utilizó en cada establecimiento y estrato fue la medida en la caracterización inicial que se hizo de los suelos de cada lote (Tabla 2.2.1). Los valores de punto de marchitez permanente (PMP) por estrato fueron estimados a partir del programa Soil Water Characteristics (Saxton y Rawls, 2006) en SN y LMe. Mientras que en LMs se utilizó la medición realizada en floración en el maíz de primera de la campaña 2011-12, previa a comenzar el ensayo.

Tabla 2.2.1. Densidad Aparente (gr cm^{-3}) por estrato de los suelos de los cuatro establecimientos de la Chacra Pergamino.

Las Matreras		San Nicolás		La Matilde	
Estrato	D. Ap. (gr/cm^3)	Estrato	D. Ap. (gr/cm^3)	Estrato	D. Ap. (gr/cm^3)
0-20	1,306	0-20	1,397	0-20	1,387
20-50	1,365	20-50	1,403	20-50	1,508
50-100	1,398	50-100	1,354	50-100	1,408
100-150	1,327	100-150	1,164	100-150	1,295
		150-200	1,164	150-200	1,249

Para cada cultivo dentro de la rotación se estimó el balance hídrico diario en el suelo hasta los 2 m de profundidad, como la diferencia entre las entradas de agua por precipitación efectiva (lluvias – escurrimientos) y las salidas por evapotranspiración (ET), de acuerdo a Allen *et al.* (1998 - FAO). Las lluvias efectivas se estimaron a partir de la magnitud de las precipitaciones diarias, en base a funciones empíricas (Gil *et al.*, 2010; Dardanelli, 1998). Se supuso un umbral de stress fijo a lo largo del ciclo del 50% del agua útil. Los balances hídricos se contrastaron y ajustaron con las determinaciones de humedad realizadas a campo. Por último, se estimó el balance hídrico de cada rotación, incluyendo los períodos de barbecho. En la Figura 2.2.1 se muestra como ejemplo la rotación Tr/Sj-Vic/Mz de San Nicolás. A partir de los balances hídricos de cada rotación durante todo el ciclo evaluado, se puede estimar el consumo de agua de cada cultivo, como la suma de la evapotranspiración diaria de cada cultivo (ET).

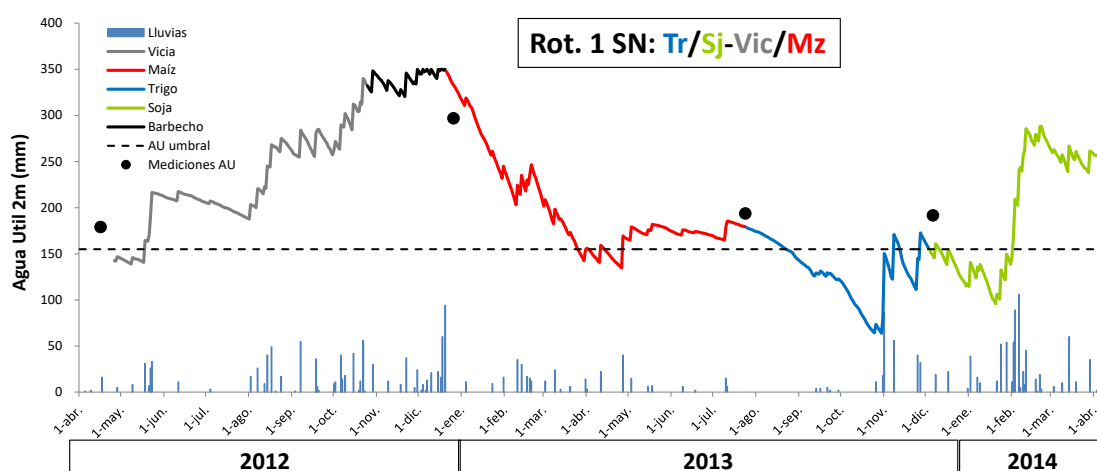


Figura 2.2.1. Evolución del agua útil del perfil (2m) en la rotación Tr/Sj-Vic/Mz de San Nicolás. En gris se muestra el balance para vicia, en rojo para maíz, en azul para trigo, en verde para soja y en negro

para el período de barbecho. La línea punteada muestra el umbral de estrés (50%). Los puntos representan las mediciones de AU en el perfil.

2) Productividad del agua

Se estimó la eficiencia de captura de agua (Ef. Cap.) y la eficiencia de uso del agua (EUA) de cada rotación. La eficiencia de captura surgió de la relación entre la suma del consumo de agua de los cultivos de la rotación (estimado a través del balance hídrico diario de acuerdo a la metodología propuesta por Allen, 1996) y la oferta total de agua de la rotación por precipitaciones (desde el 1 mayo de 2012 al 30 de abril de 2018). La eficiencia de uso del agua se obtuvo como la relación entre la suma de biomasa aérea total de todos los cultivos y la suma del consumo de agua. Luego se multiplicó la Ef. Cap. y la EUA para obtener el valor de productividad del agua (PA; Caviglia *et al.*, 2004). La Ef. Captura, EUA y PA se relacionaron con el IIR y el porcentaje de gramíneas de la rotación. En la Tabla 2.2.2 se muestra como ejemplo la rotación Tr/Sj-Vic/Mz de San Nicolás. Se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ef. Cap.} = \sum \text{Consumo agua (mm)} / \sum \text{Precipitaciones rotación (mm)}$$

$$\text{EUA}_{\text{BAT}} (\text{kg mm}^{-1}) = \sum \text{Biomasa Aérea Total cultivos (kg ha}^{-1}) / \sum \text{Consumo agua (mm)}$$

$$\text{Prod. Agua (kg mm}^{-1}) = \text{Ef. Cap.} \times \text{EUA (kg mm}^{-1})$$

Tabla 2.2.2. Ejemplo de cálculo de productividad del agua en la rotación Tr/Sj-Vic/Mz de San Nicolás.

Rot. 1 SN: Tr/Sj-Vic/Mz		Rend	BAT	Consumo	Oferta		EUA	PA
Cultivo	Campaña	(kg/ha)	(kg/ha)	(mm)	(mm)*	Ef. Cap.	(kg/mm)	(kg/mm)
Vicia	2012-13		3.167	232			14	
Maíz 2º	2012-13	10.917	16.668	468			36	
Trigo	2013-14	2.160	4.779	254			19	
Soja 2º	2013-14	3.369	5.950	373			16	
Suma			30.564	1.327	2.467	0,54	23	12,4

* Oferta Total: AU inicial + Pp rotación

EFICIENCIA DE USO DE NUTRIENTES

1) Productividad Parcial de Nutrientes

De cada cultivo se calculó el aporte de N y P por fertilizante, sumando para toda la rotación las fertilizaciones realizadas en todos los cultivos (Aporte de N-P). La productividad de N (PPN) y P (PPP) se calculó como la relación entre la biomasa aérea total (BAT) generada por todos los cultivos de la rotación y el aporte de N y P total de la rotación. La PPN y PPP se relacionó con el IIR y el porcentaje de gramíneas de la rotación. Se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Aporte de N-P (kg ha}^{-1}) = \sum \text{Aporte de N-P por fertilizantes rotación (kg ha}^{-1})$$

$$\text{Prod. Parcial N-P (kg kg}^{-1}) = \sum \text{BAT cultivos (kg ha}^{-1}) / \sum \text{Aportes N-P (kg ha}^{-1})$$

2) Balance Aparente de Nutrientes

Se calculó el aporte de N y P por fertilizante a cada cultivo, considerando los requerimientos por cultivo y los índices de cosecha propuestos por el IPNI (2016). El balance se estimó como la diferencia entre los aportes de N y P y la exportación de N y P por grano. Finalmente, sólo se presentan los balances de fósforo de cada rotación, ya que para N debería considerarse el aporte de N por fijación biológica en las leguminosas, y no se dispone de valores ciertos de los mismos. En la Tabla 2.2.3 se

muestra como ejemplo la rotación 1 de San Nicolás (Tr/Sj-Vic/Mz). El Balance de P se relacionó con el IIR y el porcentaje de gramíneas de la rotación. Se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Exportación de P (kg ha}^{-1}\text{)} = \sum \text{Exportaciones de P por rotación (kg ha}^{-1}\text{)}$$

$$\text{Bal. Ap. P (kg ha}^{-1}\text{)} = \sum \text{Aportes de P (kg ha}^{-1}\text{)} - \sum \text{Exportaciones P (kg ha}^{-1}\text{)}$$

Tabla 2.2.3. Ejemplo de cálculo de productividad parcial del N y balance de N en la rotación Tr/Sj-Vic/Mz de San Nicolás.

Rot. 1 SN: Tr/Sj-Vic/Mz						
Cultivo	Campaña	Rend (kg/ha)	BAT (kg/ha)	N Aplicado (kg/ha)	N Exportado (kg/ha)	PPN BAL N
Vicia	2012-13		3.167	43,1	0,0	
Maíz 2º	2012-13	10.917	16.668	104,9	139,6	
Trigo	2013-14	2.160	4.779	116,7	38,5	
Soja 2º	2013-14	3.369	5.950	59,0	159,6	
Suma			30.564	323,7	337,7	94 -14

FRANJA DE FERTILIZACIÓN EXTRA (FFE)

En SN y LMe se georreferenció un franja de 50m de ancho atravesando todas las rotaciones de cultivos que se evalúan en cada establecimiento (Figura 2.2.2). En la misma, se realizaron fertilizaciones anuales de N-P-S desde la campaña 2012/13, además de la fertilización de productor que le hizo a cada franja. En la Tabla 2.2.4 se muestra la fecha de aplicación y las dosis en cada fertilización y establecimiento. Las sobre-fertilizaciones se realizaron en invierno, después de la cosecha de los cultivos estivales.



Figura 2.2.2. Ubicación de la Franja de Fertilización Extra en SN y LMe. Las FFE se muestran con líneas blancas atravesando las distintas rotaciones.

Tabla 2.2.4. Dosis de N, P y S (kg/ha) en SN y LMe desde la campaña 2012-13. Se indica la fecha de aplicación y la fuente utilizada.

Establecimiento	Fecha	Fuente	N-P-S (kg/ha)
San Nicolás	Ene-2012	SPT-Urea-Yeso	87-58-43
	Ago-2012	PMA-Urea-Yeso	93-27-27
	Jul-2013	PMA-Urea-Yeso	86-30-24
	Ago-2014	PDA-Urea-Yeso	89-27-27
	Jul-2015	PMA-Urea	82-27-0
	Ago-2016	PMA-Urea	77-25-0
	Jul-2017	PMA-Urea-Yeso	85-31-26
La Matilde	Ene-2012	Mezcla y Urea	78-30-6
	Jul-2012	Mezcla y Urea	74-30-6
	Ago-2013	Mezcla y Urea	86-25-5
	Ago-2014	Mezcla y UAN	84-30-9
	Ago-2015	Mezcla y Urea	74-40-16
	Ago-2016	Mezcla y Urea	85-33-10
	Jul-2017	Mezcla y Urea	80-28-8

Determinaciones

Se hicieron tres tipos de evaluaciones: 1) sobre el rendimiento de los cultivos, 2) sobre indicadores químicos del suelo, y 3) análisis foliar en maíz y soja. La evaluación de rendimientos, sólo se pudo realizar en el establecimiento San Nicolás, porque es el único que cuenta con mapas de rendimiento de todos los cultivos desde que comenzó el ensayo de rotaciones. La evaluación sobre indicadores químicos del suelo y el análisis foliar se realizó en San Nicolás y La Matilde.

1) Rendimiento en grano

La evaluación del rendimiento en la FFE se realizó desde la campaña 2012/13 hasta la campaña 2015/16 (invierno y verano). Para estimar el rendimiento de cada cultivo en la franja de fertilización extra (FFE) se georreferenciaron 5 rectángulos de 1.400 m² cada uno. En cada área seleccionada se estimó el rendimiento como el promedio de los puntos comprendidos en el mapa de rinde dentro de esa área (40-60 puntos). En el resto del lote donde se realizó la fertilización normal (FN), se georreferenciaron 10 rectángulos de superficie equivalente a los anteriores, pero ubicados a cada lado de la FFE (Figura 2.2.3).

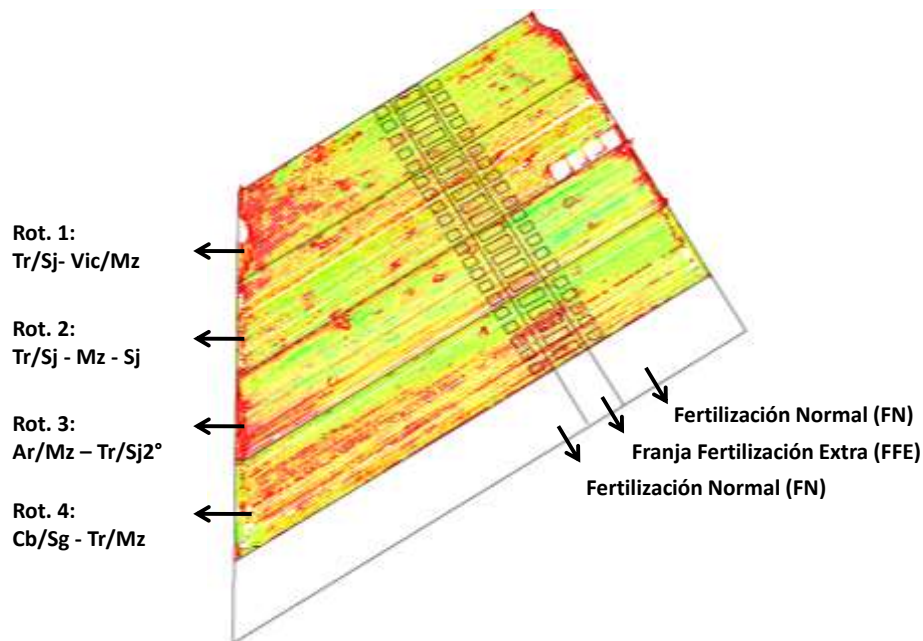


Figura 2.2.3. Ejemplo de mapas de rendimiento de las cuatro rotaciones evaluadas en el establecimiento San Nicolás, indicando la ubicación de la franja de fertilización extra (FFE) y la zona correspondiente a la fertilización normal (FN). Se muestra la ubicación de los rectángulos donde se tomaron los puntos para estimar el rendimiento.

En la Tabla 2.2.5 se muestran los kg/ha de N, P y S disponibles para cada cultivo en el sector de la franja de fertilización extra y en el resto del lote (FN) en cada rotación de San Nicolás. En la FFE la disponibilidad total para cada cultivo surgió de la suma del fertilizante aplicado por la fertilización extra más el aplicado en cada cultivo. Los niveles de N-P-S aplicados por la fertilización extra se sumaron solamente a los cultivos de invierno y en los casos donde solo hubo un cultivo, se sumó al cultivo estival de primera.

Tabla 2.2.5. Disponibilidad de N-P-S para los cultivos en la franja de fertilización normal (FN) y la franja de fertilización extra (FFE) en el establecimiento San Nicolás.

Estab.	Cultivo	Campaña	Rotación	N-P-S Disponible FN kg/ha			N-P-S Disponible FFE kg/ha		
				N	P	S	Total N	Total P	Total S
SN	Soja 2º	2011-12	1- Tr/Sj-Cob/Mz	0,0	0,0	0,0	87,4	58,2	43,2
SN	Vicia	2012-13	1- Tr/Sj-Cob/Mz	9,6	18,1	27,0	102,2	45,3	54,0
SN	Maíz 2º	2012-13	1- Tr/Sj-Cob/Mz	104,9	22,7	0,0			
SN	Trigo	2013-14	1- Tr/Sj-Cob/Mz	116,7	23,1	31,5	202,5	53,3	55,8
SN	Soja 2º	2013-14	1- Tr/Sj-Cob/Mz	0,0	0,0	0,0			
SN	Vicia	2014-15	1- Tr/Sj-Cob/Mz	5,7	11,8	28,6	94,4	38,9	55,6
SN	Maíz 2º	2014-15	1- Tr/Sj-Cob/Mz	103,4	21,6	0,0			
SN	Trigo	2015-16	1- Tr/Sj-Cob/Mz	109,3	20,0	0,0	191,5	47,2	0,0
SN	Soja 2º	2015-16	1- Tr/Sj-Cob/Mz	0,0	0,0	0,0			
SN	Soja 2º	2011-12	2- Tr/Sj-Mz-Sj	0,0	0,0	0,0	87,4	58,2	43,2
SN	Maíz 1º	2012-13	2- Tr/Sj-Mz-Sj	104,9	22,7	27,0	197,5	49,9	54,0
SN	Soja 1º	2013-14	2- Tr/Sj-Mz-Sj	11,1	20,9	31,5	97,0	51,1	55,8
SN	Trigo	2014-15	2- Tr/Sj-Mz-Sj	111,8	25,6	28,6	200,5	52,7	55,6
SN	Soja 2º	2014-15	2- Tr/Sj-Mz-Sj	0,0	0,0	0,0			
SN	Maíz 1º	2015-16	2- Tr/Sj-Mz-Sj	116,4	18,1	0,0	198,6	45,3	0,0
SN	Maíz 2º	2011-12	3- Ar/Mz-Tr/Sj	77,9	14,3	0,0	165,3	72,4	43,2
SN	Trigo	2012-13	3- Ar/Mz-Tr/Sj	126,2	28,9	28,8	218,8	56,1	55,8
SN	Soja 2º	2012-13	3- Ar/Mz-Tr/Sj	0,0	0,0	0,0			
SN	Arveja	2013-14	3- Ar/Mz-Tr/Sj	12,0	22,7	31,5	97,9	52,8	55,8
SN	Maíz 2º	2013-14	3- Ar/Mz-Tr/Sj	67,7	10,7	0,0			
SN	Trigo	2014-15	3- Ar/Mz-Tr/Sj	140,1	21,2	28,6	228,8	48,3	55,6
SN	Soja 2º	2014-15	3- Ar/Mz-Tr/Sj	0,0	0,0	0,0			
SN	Arveja	2015-16	3- Ar/Mz-Tr/Sj	12,0	24,8	0,0	94,2	52,0	0,0
SN	Maíz 2º	2015-16	3- Ar/Mz-Tr/Sj	91,6	18,1	0,0			
SN	Sorgo 2º	2011-12	4- Cb/Sg-Tr/Mz	80,5	14,7	0,0	167,9	72,9	43,2
SN	Trigo	2012-13	4- Cb/Sg-Tr/Mz	126,2	28,9	28,8	218,8	56,1	55,8
SN	Maíz 2º	2012-13	4- Cb/Sg-Tr/Mz	146,3	22,7	0,0			
SN	Cebada	2013-14	4- Cb/Sg-Tr/Mz	114,4	22,1	31,5	200,3	52,3	55,8
SN	Sorgo 2º	2013-14	4- Cb/Sg-Tr/Mz	111,6	10,9	0,0			
SN	Trigo	2014-15	4- Cb/Sg-Tr/Mz	139,7	22,0	28,6	228,4	49,0	55,6
SN	Maíz 2º	2014-15	4- Cb/Sg-Tr/Mz	164,6	21,6	0,0			
SN	Cebada	2015-16	4- Cb/Sg-Tr/Mz	112,3	14,3	0,0	194,5	41,5	0,0
SN	Sorgo 2º	2015-16	4- Cb/Sg-Tr/Mz	117,7	20,7	0,0			

Análisis de datos de rendimiento

Para analizar el rendimiento en grano en SN, se contrastó la suma del rendimiento de todos los cultivos de cada rotación en la franja de fertilización normal (FN) y en la franja de fertilización extra (FFE). También se convirtió el rendimiento en equivalentes de glucosa y en equivalentes de maíz, considerando los valores citados en la Tabla 2.2.6 para cada cultivo (FAO, 2016).

Tabla 2.2.6. Valores de equivalentes de glucosa por kg de grano ($\text{kg EQ kg grano}^{-1}$) y equivalentes de maíz para cada cultivo.

Cultivo	EQ Glucosa ($\text{kg EG kg grano}^{-1}$)	EQ Maíz ($\text{kg Maíz kg Grano}^{-1}$)
Maíz	1,32	1,00
Sorgo	1,40	1,06
Soja	1,86	1,41
Trigo	1,28	0,97
Cebada	1,20	0,91
Arveja	1,26	0,95

2) Indicadores químicos de suelo

En el invierno 2016, luego de 4 años de rotaciones y 5 fertilizaciones, se extrajeron muestras de suelo dentro de la FFE y en el resto del lote (FN) de las rotaciones agrícolas en SN y LMe. Las muestras de suelo se tomaron a 0-5 y 0-20cm, distanciadas a 10cm, en tres repeticiones por cada rotación y tratamiento (FFE y FN: total de 24 puntos de muestreo por campo). Cada repetición estuvo integrada por 7 sub-muestras en cada profundidad. En la Figura 2.2.4 se muestra la ubicación de los puntos de muestreo.



Figura 2.2.4. Ubicación de los puntos de muestreo en el establecimiento San Nicolás y La Matilde.

En ambas profundidades se midió el contenido de materia orgánica (Walkley y Black, 1934), y en las muestras de 0-20cm, también se determinó el contenido de fósforo (P en ppm, Bray y Kurtz N°1) y N total (% , Kjeldahl). A 0-5cm se determinó el carbono orgánico particulado (COP) con tamiz de 50 micrones (Cambardella y Elliot, 1992). Se obtuvieron las medias y desvíos estándar de COP, CT, P y N para cada rotación de LMe y SN en la FN y FFE.

3) Análisis foliar y DRIS

Se tomaron muestras de hojas de trigo, soja y maíz en los establecimientos SN y LMe en las rotaciones donde hubo estos cultivos en la campaña 2017-18. En ambos establecimientos y en todas las rotaciones se muestreo en la franja de fertilización extra (FFE) y en un sector paralelo donde se

fertilizó normalmente esa rotación (FN). La FFE incluye una franja central de cada rotación, de unos 50m de ancho, donde todas las campañas se re-fertilizó con N-P-S (Tabla 2.2.5). En la Tabla 2.2.6 se muestran las situaciones muestreadas en ambos establecimientos. En la rotación 5 (Pastura-Agricultura) de LMe no se muestreo en la FFE debido a que la misma no incluyo a esta rotación.

Tabla 2.2.6. Cultivos muestreado en las distintas rotaciones y situaciones de fertilización (FN y FFE) en los establecimientos SN y LMe en la Campaña 2017-18.

Establecimiento	Rotación	Fertilización	Cultivos
			muestreados
San Nicolás	1- Tr/Sj-Vic/Mz	Normal	Trigo y Soja
		Extra	
	2- Tr/Sj-Mz-Sj	Normal	Trigo y Soja
		Extra	
	3- Tr/Sj-Ar/Mz	Normal	Maíz
		Extra	
	4- Tr/Sg-Vic/Mz	Normal	Trigo y Maíz
		Extra	
	5- Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	Normal	Maíz
		Extra	
La Matilde	1- Tr/Sj-Mz-Sj	Normal	Trigo y Soja
		Extra	
	2- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	Normal	Trigo y Soja
		Extra	
	3- Tr/Sg-Vic/Mz	Normal	Trigo y Maíz
		Extra	
	4- Tr/Sj-Cb/Mz	Normal	Trigo y Soja
		Extra	
	5- Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	Normal	Trigo y Soja

Las hojas muestreadas previo a espigazón en trigo, previo a panojamiento en maíz y en plena floración en soja, fueron enviadas al Tecnoagro, donde se realizaron las determinaciones. Por digestión nítrico-perclórica se determinó el Fósforo (por espectrofotometría), Azufre (por turbidimetría), Potasio (por fometría de llama), Calcio, Magnesio y Zinc (por absorción atómica). En cuanto al Nitrógeno, se realizó digestión con ácido sulfúrico y se determinó por el método Kjeldahl. Luego se compararon los contenidos foliares para cada elemento y cada cultivo con los niveles críticos indicados en la bibliografía. Finalmente, se calcularon en forma matemática los “Índices DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación)”, interpretando sus resultados.

Análisis de datos de análisis foliar y DRIS

Los análisis foliares y DRIS se presentaron por cultivo, establecimiento, rotación y situación de fertilización (FN y FFE). Los balances de P y S se mostraron por rotación y establecimiento. A partir de los análisis foliares de cada nutriente se caracterizó el estado nutricional del mismo como: B (bajo), S (suficiente) o A (alto). A partir del DRIS se caracterizó el estado de cada nutriente en situación deficitaria (DRIS negativo) como: LD (levemente deficiente), MD (moderadamente deficiente) y D (deficiente), como se muestra a continuación:



RESULTADOS

EFICIENCIA DE USO DEL AGUA

La oferta total de agua por precipitaciones fue de 6.670 mm para LMs, 6.957 mm para SN y 6.853 mm para LMe (Figura 2.2.5). Sin embargo, una baja proporción de la oferta fue consumida por los cultivos a través de la evapotranspiración. Los consumos estuvieron entre 3.300 y 4.800 mm según la rotación y establecimiento, representando sólo entre un 50 y 70% de la oferta total. Esta relación expresa la eficiencia de captura, que en los tres establecimientos, fue menor en la rotación menos intensa (Tr/Sj-Mz-Sj). Estos valores de eficiencia de captura indican que al menos un tercio del agua disponible no fue utilizada para producir biomasa y grano, perdiéndose por evaporación directa no aprovechándola para generar biomasa, escurrimiento, pudiendo generar erosión hídrica del suelo o percolación, provocando ascensos de napas freáticas. Estos resultados son similares a los hallados en la Chacra Bragado-Chivilcoy de AAPRESID, donde obtuvieron capturas del 48 al 70% en distintas rotaciones (Alzueta, 2019).

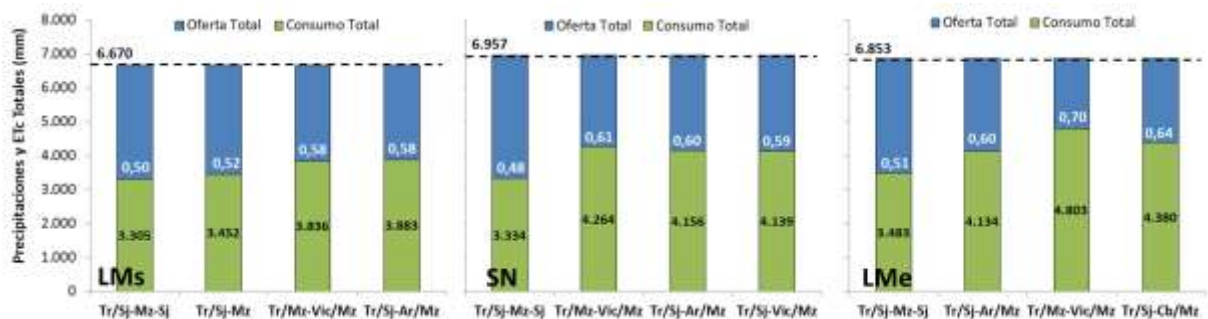


Figura 2.2.5. Oferta total de agua (precipitaciones; mm) y Consumo total de agua por los cultivos (ETc; mm) desde 2012 a 2018 para las distintas rotaciones en los tres establecimientos de la Chacra Pergamino (LMs, SN y LMe). Las rotaciones se ordenaron de menor a mayor IIR. En números blancos se incluyen las eficiencias de captura (Etc/Precipitaciones).

La eficiencia de captura estuvo significativamente asociada el IIR (Figura 2.2.6. a). El aumento de la intensidad de las rotaciones fue acompañado de mejoras en la captura de agua, por mayor presencia de cultivos vivos en la rotación, consumiendo más agua. Resultados previos, ya mostraban aumentos de la eficiencia de captura al pasar de rotaciones de menor intensidad a rotaciones con dos cultivos por año (Andrade *et al.*, 2015; Alzueta, 2019). La eficiencia de uso del agua (EUA), expresada como la relación entre la biomasa producida (BAT en kg/ha) y el consumo de agua (ETc, mm/ha), tuvo valores de entre 15,6 y 29,3 kg/mm, sin hallarse relación con el IIR (Figura 2.2.6 b). La productividad del agua, que surge de multiplicar la eficiencia de captura y la EUA, también se asoció positivamente con el IIR, aunque con menor ajuste que la eficiencia de captura (Figura 2.2.6 c). Las tres variables no se asociaron con el porcentaje de gramíneas de la rotación, por ese motivo no se muestran los gráficos.

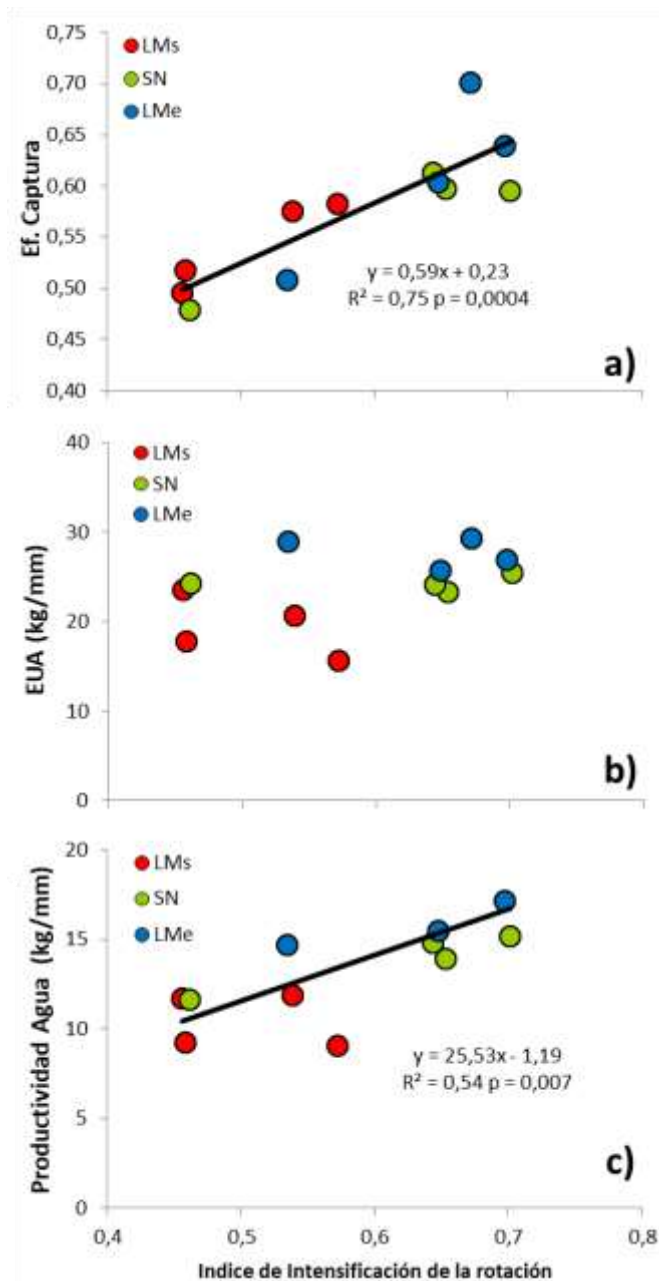


Figura 2.2.6. Relación de la Eficiencia de captura (a), la Eficiencia de uso del agua en kg BAT mm^{-1} (b) y Productividad del agua en kg BAT mm^{-1} (c) con el índice de intensificación de la rotación para tres establecimientos de la Chacra Pergamino (LMs, SN y LMe). Se incluyen las regresiones lineales en relaciones significativas ($p < 0,05$).

EFICIENCIA DE USO DE NUTRIENTES

El principal aporte de N y P para los cultivos fue el proveniente de fertilización. La fertilización total (2012-2018) promedio de todas las rotaciones y establecimientos fue de 736 kg N ha^{-1} y 211 kg P ha^{-1} (Tabla 2.2.7). En ambos casos, las mayores aplicaciones de fertilizante se realizaron en las rotaciones con mayor proporción de gramíneas ($> 75\%$), con valores de 980 a $1.500 \text{ kg N ha}^{-1}$ y 220 a 340 kg P ha^{-1} . Las menores fertilizaciones con N se realizaron en las rotaciones con mayor proporción de leguminosas (Tr/Sj-Mz-Sj y Tr/Sj-Ar/Mz), donde es esperable un importante aporte de N por fijación biológica. En la fertilización fosforada, las menores fertilizaciones se realizaron en las rotaciones testigo (Tr/Sj-Mz-Sj) en LMs y SN. En LMe, el nivel más bajo de P aplicado fue en la rotación con cebada (Tr/Sj-Cb/Mz), pero con valores bastante similares a la rotación testigo. Esto se debe a que

los primeros años la rotación testigo incluyó sorgos de primera que elevaron los niveles de P aplicado.

Tabla 2.2.7. N y P aplicado por fertilización (kg N-P/ha), Productividad Parcial N y P (kg MS/kg N-P aplicado) y Eficiencia de Uso de N y P (kg MS/kg N-P absorbido) para las distintas rotaciones de los establecimientos LMs, SN y LMe de la Chacra Pergamino. Se incluyen también los valores de IIR y % gramíneas de las rotaciones.

Est.	Rotación	IIR	% Gram	NITRÓGENO			FOSFORO		
				N Aplicado	PPN	EUN	P Aplicado	PPP	EUP
LMS	Tr/Sj-Mz-Sj	0,46	50	356,3	218,9	101,3	131,3	594,1	402,3
LMS	Tr/Sj-Mz	0,46	63	468,5	131,5	93,8	147,9	416,5	428,8
LMS	Tr/Mz-Vic/Mz	0,54	90	986,2	80,4	96,0	219,7	360,9	551,0
LMS	Tr/Sj-Ar/Mz	0,57	36	353,1	171,3	110,2	160,3	377,3	411,9
SN	Tr/Sj-Mz-Sj	0,46	50	485,4	166,9	78,3	155,3	521,6	408,8
SN	Tr/Mz-Vic/Mz	0,64	92	1.441,9	71,3	92,7	224,5	458,2	551,5
SN	Tr/Sj-Ar/Mz	0,65	50	661,2	146,7	87,3	190,3	509,5	445,5
SN	Tr/Sj-Vic/Mz	0,70	50	580,8	181,8	94,9	192,6	548,3	507,9
LMe	Tr/Sj-Mz-Sj	0,53	56	632,2	159,3	91,0	237,5	424,1	493,8
LMe	Tr/Sj-Ar/Mz	0,65	45	677,1	156,5	88,5	233,6	453,5	447,2
LMe	Tr/Mz-Vic/Mz	0,67	75	1.101,6	127,9	98,3	337,7	417,3	568,0
LMe	Tr/Sj-Cb/Mz	0,70	75	1.092,3	107,8	84,0	305,8	384,9	467,5

Los menores valores de productividad parcial de N y P se obtuvieron en las rotaciones con alta proporción de gramíneas. Como se dijo anteriormente, en estas rotaciones se dieron las mayores fertilizaciones, generando bajos valores de productividad. Por el contrario, las mayores productividades se dieron en las rotaciones testigos (Tr/Sj-Mz-Sj) y en rotaciones intermedias en intensidad (rotaciones verdes o amarillas según el establecimiento). Las diferencias en eficiencias de uso de N no fueron tan claras entre rotaciones como los otros indicadores. Mientras que para la EUP, se obtuvieron valores bajos en rotación testigo y elevados valores en rotaciones con alta proporción de gramíneas.

La intensificación explicó poco los cambios en el uso de fertilizantes, la productividad y eficiencia de uso de N y P. Sólo existió relación significativa entre el P aplicado y el IIR ($R^2= 0,46$ y $p= 0,01$). Sin embargo, el porcentaje de gramíneas en la rotación fue una variable más explicativa de los cambios (Figura 2.2.7). Se obtuvieron ajustes significativos ($p < 0,1$) con el N y P aplicado por fertilización, con la PPN y EUP.

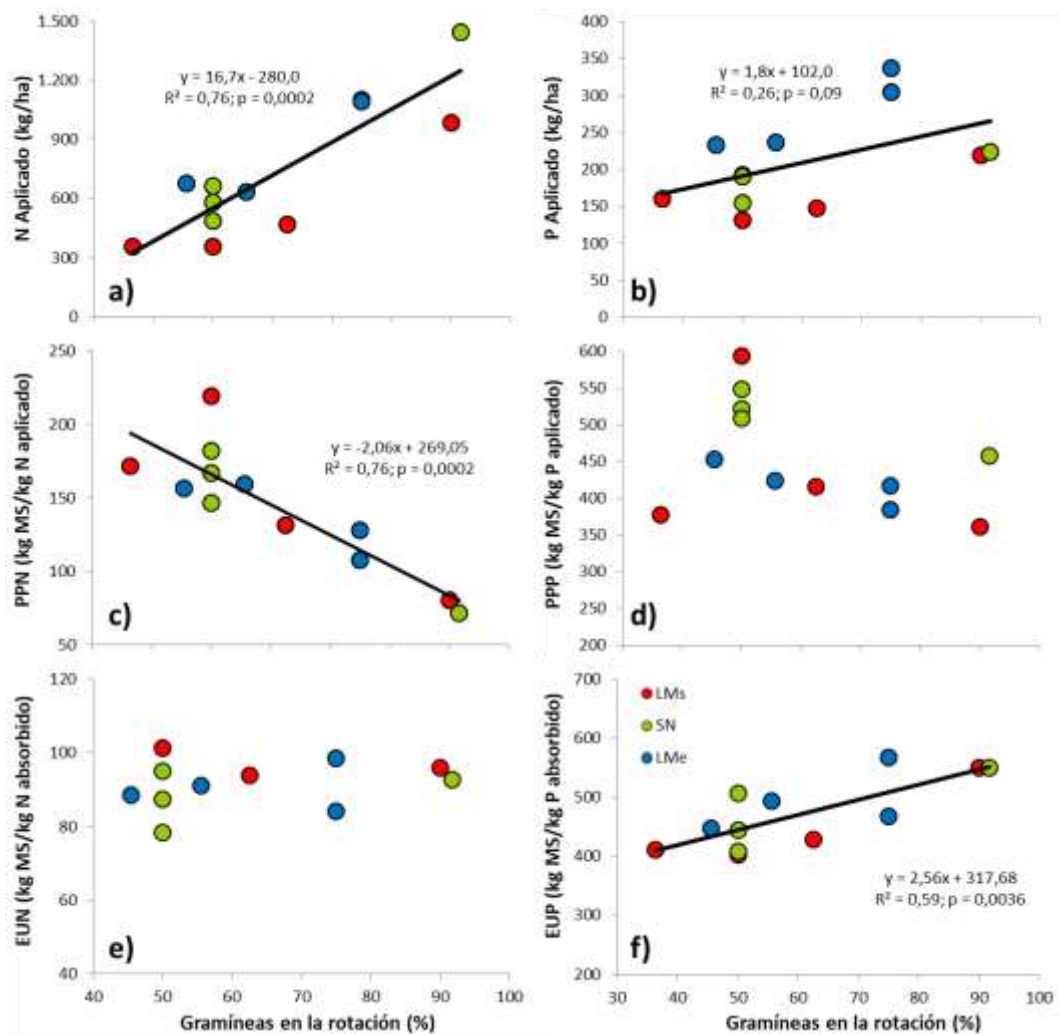


Figura 2.2.7. Relación entre el N (a) y P (b) aplicado por fertilización (kg/ha); la productividad parcial de N (c) y P (d) (kg MS/Kg N-P aplicado); y la eficiencia de uso de N (e) y P (f) (kg MS/kg N-P absorbido) con el porcentaje de gramíneas de la rotación (%) para tres establecimientos de la Chacra Pergamino (LMs, SN y LMe). Se incluyen las regresiones lineales en relaciones significativas ($p < 0,10$).

Balance de nutrientes

El balance de P se asoció positivamente con el % Gram, de manera que al aumentar la proporción de gramíneas en las rotaciones, se lograron balances de P más positivos (Figura 2.2.8). En las rotaciones con mayor proporción de soja-arveja, se obtuvieron balances negativos o neutros, debido al menor nivel de fertilización fosforada que recibieron estos cultivos. Las rotaciones con alta proporción de gramíneas (> 75 %), fueron las de balance más positivo en los tres establecimientos. La intensificación no se encontró relacionada con los balances de fósforo.

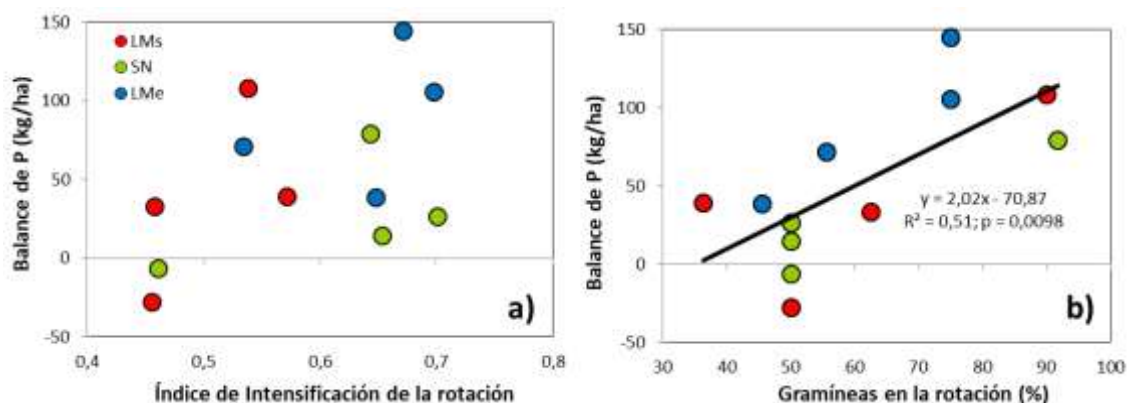


Figura 2.2.8. Relación entre el Balance de P (P aplicado - P extraído; kg/ha) con el índice de intensificación de la rotación (a) y el porcentaje de gramíneas (b) para tres establecimientos de la Chacra Pergamino (LMs, SN y LMe).

FRANJA DE FERTILIZACIÓN EXTRA (FFE)

1) Rendimiento en grano

El efecto en el rendimiento de la fertilización extra de cada cultivo fue diferente en cada rotación del establecimiento San Nicolás (Figura 2.2.9 a 2.2.12). En general se observó un mayor efecto en las últimas campañas y tanto en los cultivos invernales (trigo y cebada principalmente) como estivales. Dentro de los cultivos estivales, el mayor efecto se observó en sorgo y maíz. En general hay poco efecto en las leguminosas, tanto de invierno (arveja) como verano (soja).

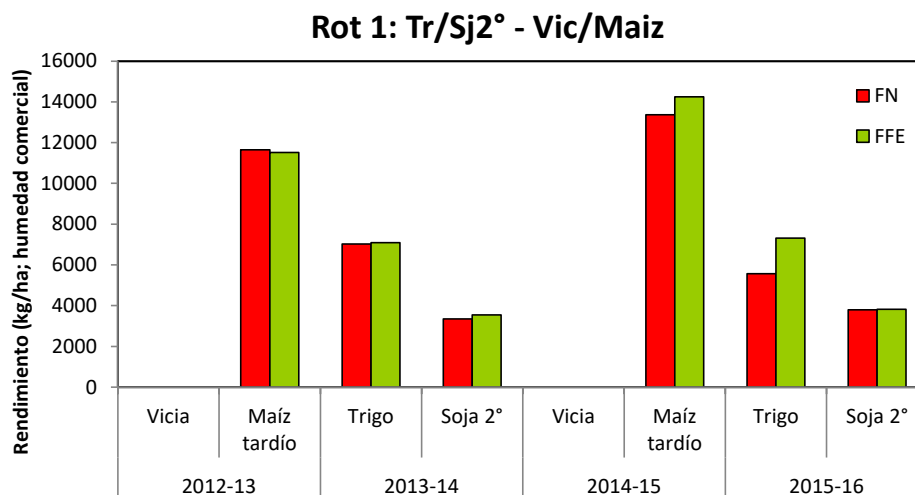


Figura 2.2.9. Rendimiento por cultivo (kg/ha) de la rotación Tr/Sj-Vic/Mz del establecimiento San Nicolás desde la campaña 2012-13 a la 2015-16. En rojo se muestra el rendimiento de la franja de fertilización normal (FN) y en verde de la franja de fertilización extra (FFE).

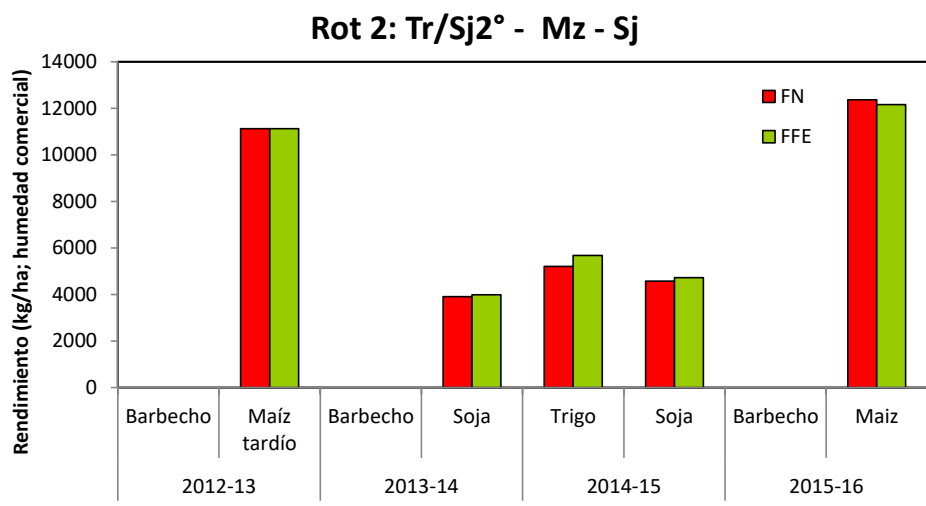


Figura 2.2.10. Rendimiento por cultivo (kg/ha) de la rotación Tr/Sj-Mz-Sj del establecimiento San Nicolás desde la campaña 2012-13 a la 2015-16. En rojo se muestra el rendimiento de la franja de fertilización normal (FN) y en verde de la franja de fertilización extra (FFE).

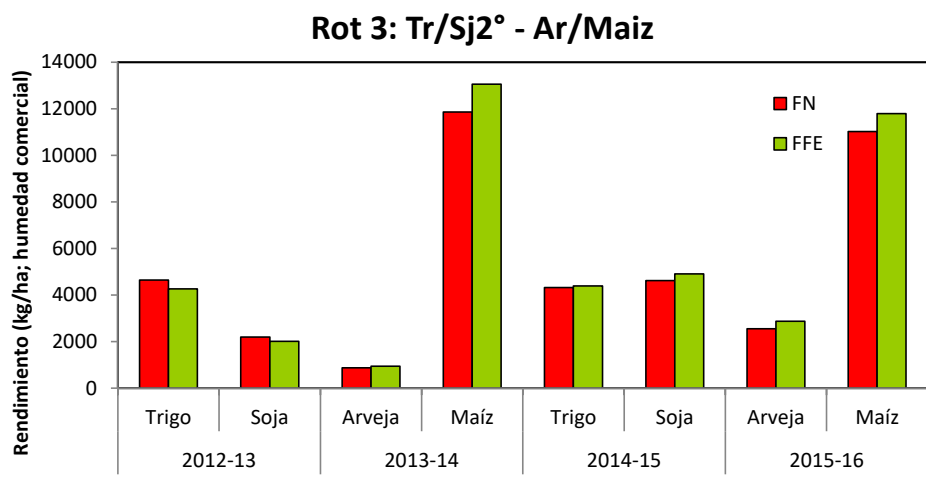


Figura 2.2.11. Rendimiento por cultivo (kg/ha) de la rotación Tr/Sj-Ar/Mz del establecimiento San Nicolás desde la campaña 2012-13 a la 2015-16. En rojo se muestra el rendimiento de la franja de fertilización normal (FN) y en verde de la franja de fertilización extra (FFE).

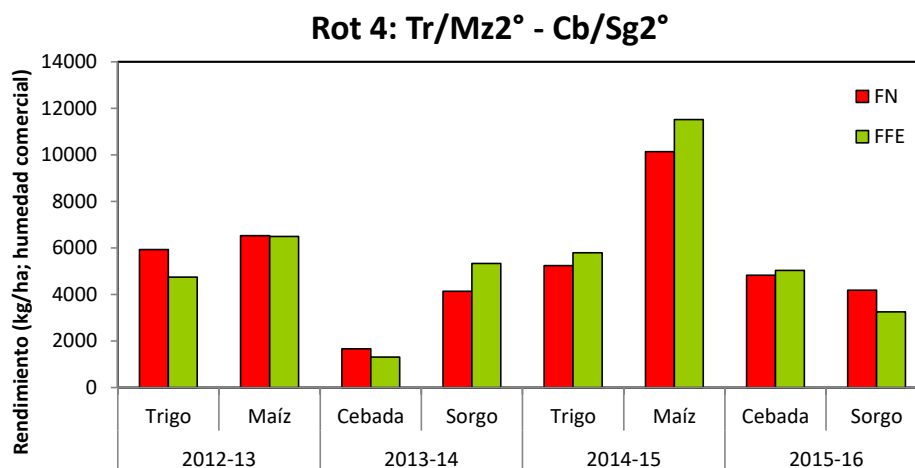


Figura 2.2.12. Rendimiento por cultivo (kg/ha) de la rotación Tr/Mz-Cb/Sg del establecimiento San Nicolás desde la campaña 2012-13 a la 2015-16. En rojo se muestra el rendimiento de la franja de fertilización normal (FN) y en verde de la franja de fertilización extra (FFE).

Sumando los rendimientos de cada cultivo en cada rotación, se obtuvo un mayor incremento del rendimiento en las rotaciones Tr/Sj-Vic/Mz y Tr/Sj-Ar/Mz que en las rotaciones Tr/Sj-Mz-Sj y Tr/Mz-Cb/Sg (Figura 2.2.13). Es llamativo que la rotación con vicia tenga el mayor incremento en el rendimiento total, ya que presenta un cultivo menos de cosecha en la rotación. También se convirtió el rendimiento en equivalentes glucosa y equivalente maíz, para no castigar o beneficiar a algún cultivo por el nivel de rendimiento, pero no se obtuvieron grandes diferencias en el efecto de la FFE (datos no mostrados).

A diferencia de lo esperado, la con 100% gramíneas no presentó un alto aumento del rendimiento por la mayor fertilización. El alto nivel de inmovilización de N que ocurre en esa rotación con aportes de materia seca de alta relación C/N, hacía pensar que con fertilización nitrogenada extra, se podría reducir ese efecto y aumentar el rendimiento de los cultivos. Seguramente lo que esté limitando el rendimiento sea la falta de nitrógeno “biológico” que sólo puede ser incorporado a la rotación con leguminosas.

De todos modos, la información suministrada por los mapas de rinde no permite ver un posible efecto de la FFE sobre la producción de MS por biomasa aérea o radical. Esto podría estar ocurriendo en algún cultivo y rotación, lo que podría afectar el aporte de C al sistema y la consiguiente mejora en el C del suelo. Por este motivo también se evaluó el efecto de la FFE sobre indicadores edáficos de suelo.

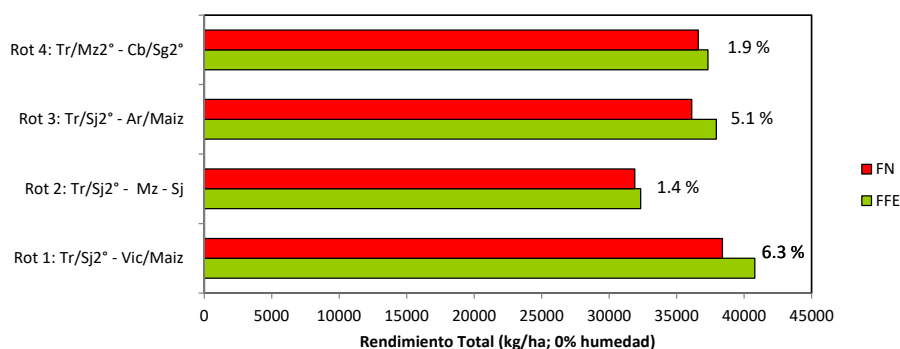


Figura 2.2.13. Rendimiento acumulado por rotación (kg/ha) del establecimiento San Nicolás desde la campaña 2012-13 a la 2015-16. En rojo se muestra el rendimiento de la franja de fertilización normal

(FN) y en verde de la franja de fertilización extra (FFE). Los porcentajes muestran los aumentos generados por la fertilización extra.

2) Indicadores químicos de suelo

El efecto de la FFE sobre los indicadores edáficos se evaluó en San Nicolás y La Matilde (Figura 2.2.14). A pesar de que a 0-5cm como a 0-20cm la MO del suelo tendió a aumentar con la FFE, no fueron significativas las diferencias entre FN y FFE. Sólo en San Nicolás a 0-20cm en la rotación Tr/Sj-Mz-Sj, se observa una mejora significativa de la MO con la fertilización extra. Esto no se condice con lo sucedido en rendimiento en esa rotación, ya que como se observó en la Figura 2.2.9 y 2.2.13, esa rotación tuvo los menores incrementos de rinde por efecto de la FFE. Sin embargo, pudo haber en esa rotación una mejora en la producción y calidad de biomasa aérea y radical por efecto de la fertilización extra, que genero la mejora en C del suelo. Con fertilización extra, en esa rotación, se igualó los niveles de C del suelo de la FN en las otras rotaciones, que tuvieron mejores aportes de C al sistema.

En La Matilde el mayor contenido de MO, en FN y FFE en ambas profundidades, se obtuvo en la rotación Tr/Sg-Cob/Mz, que presenta 100% de gramíneas de cosecha. Sin embargo, el efecto más claro de la FFE en MO se observó en la rotación Ar/Mz-Tr/Sj a 0-5cm, que es la que menor contenido de gramíneas tiene.

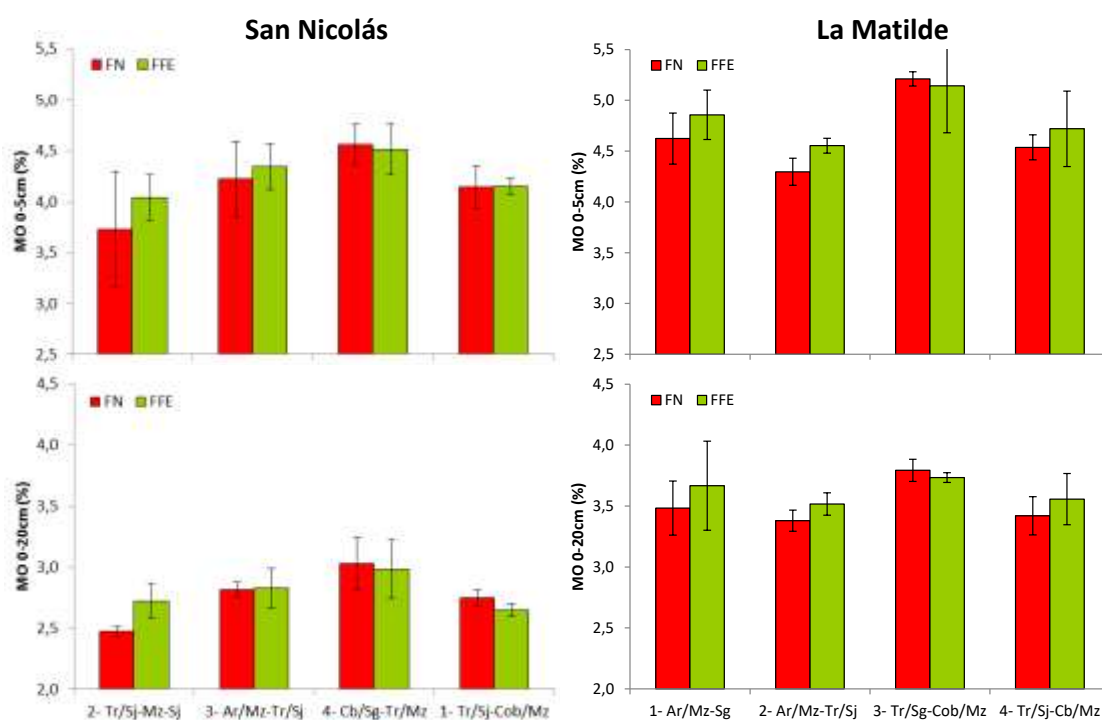


Figura 2.2.14. Contenidos de materia orgánica (%) a 0-5cm (arriba) y 0-20cm (abajo) en San Nicolás (izquierda) y La Matilde (derecha). En rojo se muestra el rendimiento de la franja de fertilización normal (FN) y en verde de la franja de fertilización extra (FFE). Las rotaciones están ordenadas dentro de cada campo de izquierda a derecha de menor a mayor IIR.

El COP a 0-5cm mostro la misma tendencia que la MO en ese estrato en ambos establecimientos (Figura 2.2.15). En SN se destaca la rotación Tr/Sj-Mz-Sj y en LMe la rotación Tr/Sj-Cb/Mz con los menores valores de COP considerando los niveles de FN. En ambos establecimientos esas rotaciones tuvieron bajos aportes de C total (Capítulo 2.1) y es en esas mismas rotaciones donde se observó el

mayor efecto mejorador por la FFE. Con la fertilización extra, en esas rotaciones, se alcanzaron los niveles de COP de las otras rotaciones con FN.

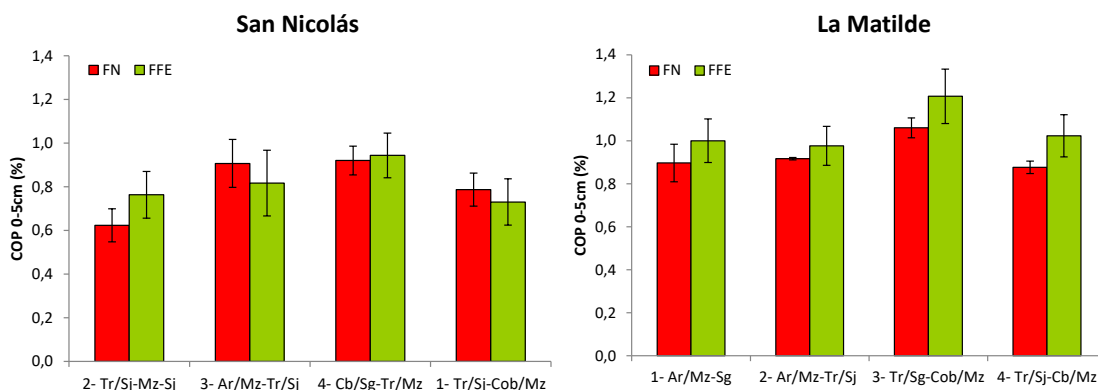


Figura 2.2.15. Contenidos de carbono orgánico particulado (%) a 0-5cm en San Nicolás (izquierda) y La Matilde (derecha). En rojo se muestra el rendimiento de la franja de fertilización normal (FN) y en verde de la franja de fertilización extra (FFE). Las rotaciones están ordenadas dentro de cada campo de izquierda a derecha de menor a mayor IIR.

En nitrógeno total del suelo, no manifestó cambios por efecto de la FFE (Figura 2.2.16). En ninguno de los establecimientos se observaron cambios ni entre rotaciones ni entre los tratamientos de fertilización en el N total. Probablemente el efecto se observaría si se hubiese determinado el Nitrógeno Orgánico Particulado (NOP). En fósforo aumentó en todas las rotaciones en ambos establecimientos por efecto de la FFE. Los mayores aumentos del nivel de P se observaron en la rotación 2 de San Nicolás y La Matilde, que son las rotaciones con menor nivel de fertilización por menor IIR en San Nicolás y menor contenido de gramíneas en La Matilde.

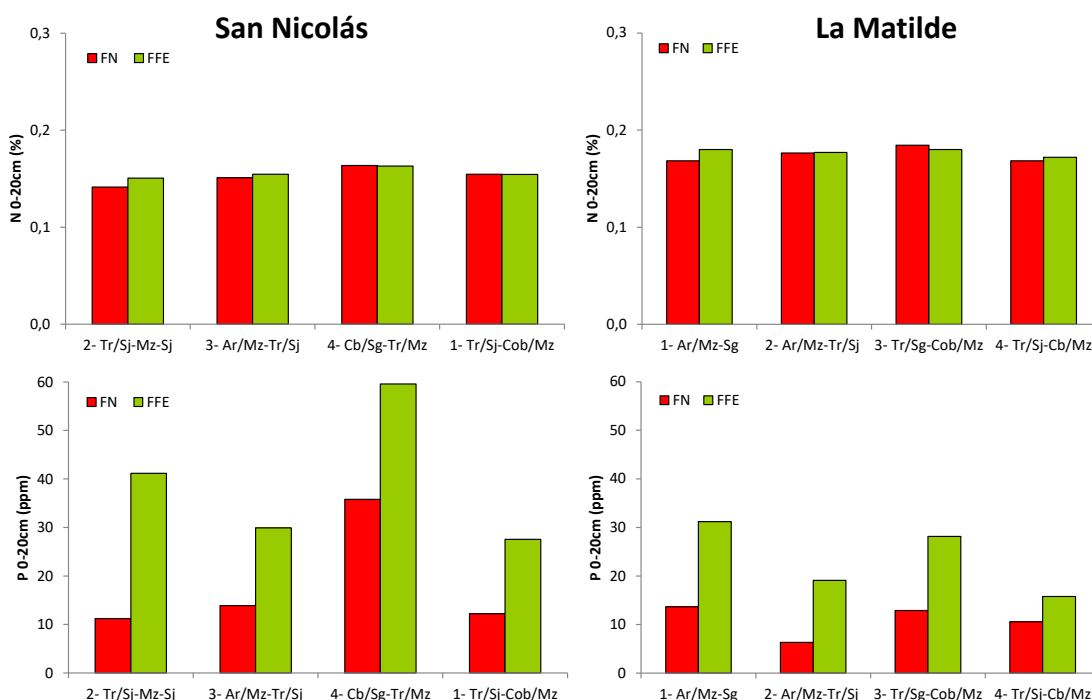


Figura 2.2.16. Contenidos de nitrógeno total (% , arriba) y P Bray (ppm, abajo) a 0-20cm en San Nicolás (izquierda) y La Matilde (derecha). En rojo se muestra el rendimiento de la franja de fertilización normal (FN) y en verde de la franja de fertilización extra (FFE).

3) Análisis foliar y DRIS

En trigo, el análisis foliar no mostro grandes deficiencias entre tratamientos de fertilización (Tabla 2.2.8). Sólo se observaron bajos niveles de S en dos rotaciones de SN en la fertilización normal. El resto de los nutrientes dio suficiente o alto. En algunas rotaciones se observó una mejora del nivel de N en la fertilización extra en relación a la fertilización normal (rotaciones marcadas con círculo verde). El DRIS mostró algunos desbalances de nutrientes en trigo (Tabla 2.2.9). El S claramente se mostró deficiente en todas las rotaciones y situaciones de fertilización. Este nutriente mostró algunas mejoras de DRIS al pasar de FN a FFE. El K también mostró algunas deficiencias en algunas rotaciones en FFE.

Tabla 2.2.8. Resultados de análisis foliar en trigo. Se muestran los valores porcentuales de cada nutriente y el estado nutricional caracterizado como A: alto, S: suficiente o B: bajo. En rojo se indican las situaciones con bajo estado nutricional y los círculos verdes muestran diferencias entre FN y FFE.

TRIGO - Análisis foliares

Establecimiento	Rotación	Fertilización	Análisis foliar				Cal. Nivel Nutr.			
			N %	P %	K %	S %	N	P	K	S
San Nicolás	1- Tr/Sj-Vic/Mz	Normal	3,02	0,27	2,45	0,14	A	S	A	B
		Extra	3,26	0,30	2,43	0,18	A	S	A	S
	2- Tr/Sj-Mz-Sj	Normal	2,83	0,27	1,96	0,16	S	S	A	S
		Extra	3,17	0,31	2,02	0,20	A	S	A	S
	4- Tr/Sg-Vic/Mz	Normal	2,37	0,27	2,15	0,14	S	S	A	B
		Extra	2,78	0,29	2,11	0,15	S	S	A	S
La Matilde	1- Tr/Sj-Mz-Sj	Normal	3,08	0,26	2,01	0,16	A	S	A	S
		Extra	3,04	0,31	2,04	0,20	A	S	A	S
	2- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	Normal	2,93	0,27	2,07	0,17	S	S	A	S
		Extra	3,08	0,30	2,00	0,20	A	S	A	S
	3- Tr/Sg-Vic/Mz	Normal	2,92	0,30	2,01	0,18	S	S	A	S
		Extra	3,07	0,33	1,90	0,19	A	S	A	S
	4- Tr/Sj-Cb/Mz	Normal	2,70	0,27	2,09	0,16	S	S	A	S
		Extra	3,49	0,26	2,08	0,15	A	S	A	S
	5- PP-Tr/Sj-Cb/Mz	Normal	3,26	0,30	2,12	0,17	A	S	A	S

B= Bajo S= Suficiente A= Alto

Tabla 2.2.9. Resultados de DRIS en trigo. Se muestran los índices DRIS para cada nutriente y el estado nutricional de las situaciones deficitarias (DRIS negativo) caracterizado como LD: levemente deficiente, MD: moderadamente deficiente o D: deficiente. Los círculos verdes muestran diferencias entre FN y FFE.

TRIGO - Índices DRIS

Establecimiento	Rotación	Fertilización	Índice DRIS					Cal. DRIS neg.			
			N	P	K	S	Σabs	N	P	K	S
San Nicolás	1- Tr/Sj-Vic/Mz	Normal	3,1	11,8	13,5	-28,5	56,9				D
		Extra	0,1	11,1	4,3	15,5	31,1				MD
	2- Tr/Sj-Mz-Sj	Normal	0,2	14,5	-1,1	-13,6	29,5				MD
		Extra	-1,0	15,9	-8,1	-6,8	31,8			LD	LD
	4- Tr/Sg-Vic/Mz	Normal	-9,4	19,2	10,3	-20,1	59,0	LD			D
		Extra	-2,1	19,4	3,0	-20,3	44,8				D
La Matilde	1- Tr/Sj-Mz-Sj	Normal	5,2	10,1	-0,2	-15,1	30,7				MD
		Extra	-3,5	16,4	-6,8	-6,1	32,9			LD	LD
	2- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	Normal	0,0	11,3	0,4	-11,7	23,5				LD
		Extra	-1,8	14,5	-7,3	-5,4	29,1			LD	LD
	3- Tr/Sg-Vic/Mz	Normal	-2,8	17,6	-4,6	-10,2	35,3				LD
		Extra	-2,0	23,7	-12,3	-9,5	47,4			MD	LD
	4- Tr/Sj-Cb/Mz	Normal	-3,6	13,9	3,4	-13,8	34,7				MD
		Extra	13,6	8,8	0,6	-23,1	46,1				D
	5- PP-Tr/Sj-Cb/Mz	Normal	3,7	15,5	-2,5	-16,7	38,5				MD

LD=Levemente Deficiente MD= Moderadamente Deficiente D= Deficiente

En soja, el análisis foliar mostro un buen estado nutricional del cultivo (Tabla 2.2.10). Sólo se marcaron deficiencias en S en SN. En LMe en algunas rotaciones hubo una mejora en la FFE. El DRIS en soja manifestó desbalance en S en todas las situaciones (Tabla 2.2.11). El K en soja también algunas deficiencias en LMe. Fue llamativo que en N apareciera algún desbalance de SN, cuando no es un nutriente del cual normalmente se tiene preocupación en una leguminosa. Podría haber influido negativamente en la nodulación y fijación de N en soja la falta de lluvias durante enero y febrero que en este establecimiento fueron especialmente meses muy secos.

Tabla 2.2.10. Resultados de análisis foliar en soja. Se muestran los valores porcentuales de cada nutriente y el estado nutricional caracterizado como A: alto, S: suficiente o B: bajo. En rojo se indican las situaciones con bajo estado nutricional y los círculos verdes muestran diferencias entre FN y FFE.

SOJA - Análisis foliares

Establecimiento	Rotación	Fertilización	Análisis foliar							Cal. Nivel Nutr.							
			N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %	Zn ppm	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	
San Nicolás	1- Tr/Sj-Vic/Mz	Normal	3,83	0,37	2,22	1,04	0,27	0,13	30,5	S	S	S	S	S	S	B	S
		Extra	3,54	0,35	1,80	1,02	0,26	0,16	26,0	S	S	S	S	S	S	B	S
	2- Tr/Sj-Mz-Sj	Normal	3,72	0,33	1,92	1,18	0,28	0,15	27,0	S	S	S	S	S	S	B	S
		Extra	3,75	0,33	2,01	1,21	0,30	0,16	26,5	S	S	S	S	S	S	B	S
La Matilde	1- Tr/Sj-Mz-Sj	Normal	4,75	0,53	1,66	1,26	0,39	0,21	38,9	S	S	S	S	S	S	S	S
		Extra	5,24	0,61	2,06	1,28	0,42	0,22	41,3	S	A	S	S	S	S	S	S
	2- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	Normal	5,29	0,54	1,88	1,18	0,42	0,20	38,5	S	S	S	S	S	S	S	S
		Extra	5,31	0,60	1,99	1,22	0,41	0,21	40,1	S	A	S	S	S	S	S	S
	4- Tr/Sj-Cb/Mz	Normal	5,72	0,62	1,88	1,22	0,40	0,21	42,3	A	A	S	S	S	S	S	S
		Extra	4,99	0,63	1,95	1,23	0,41	0,22	40,3	S	A	S	S	S	S	S	S
	5- PP-Tr/Sj-Cb/Mz	Normal	5,62	0,64	1,79	1,13	0,38	0,21	47,7	A	A	S	S	S	S	S	S

B= Bajo S= Suficiente A= Alto

Tabla 2.2.11. Resultados de DRIS en soja. Se muestran los índices DRIS para cada nutriente y el estado nutricional de las situaciones deficitarias (DRIS negativo) caracterizado como LD: levemente deficiente, MD: moderadamente deficiente o D: deficiente. Los círculos verdes muestran diferencias entre FN y FFE.

SOJA - Índices DRIS

Establecimiento	Rotación	Fertilización	Índice DRIS							Índice DRIS							
			N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Σ abs	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn
San Nicolás	1- Tr/Sj-Vic/Mz	Normal	-8,2	19,6	19,0	10,3	-1,6	-43,9	4,7	99,2	LD					D	
		Extra	-10,2	17,8	8,3	10,6	-1,6	-24,7	-0,1	63,1	LD					D	
	2- Tr/Sj-Mz-Sj	Normal	-8,3	11,9	10,6	16,4	0,3	-31,1	0,1	70,5	LD					D	
		Extra	-9,5	10,1	11,5	16,1	2,2	-28,6	-1,7	70,0	LD					D	
La Matilde	1- Tr/Sj-Mz-Sj	Normal	-9,5	29,2	10,7	7,5	4,0	-24,9	4,3	80,6	LD	LD				D	
		Extra	-10,0	32,6	-4,3	3,8	3,0	-28,2	3,2	75,1	LD					D	
	2- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	Normal	-0,4	27,2	-5,4	3,1	6,3	-29,9	3,1	75,1			LD			D	
		Extra	1,8	33,0	-4,8	2,8	3,1	-29,6	3,1	76,5						D	
	4- Tr/Sj-Cb/Mz	Normal	2,1	34,7	-8,9	2,3	1,4	-30,6	4,7	82,6			LD			D	
		Extra	4,2	37,7	-6,5	2,8	2,7	-27,1	2,9	79,8			LD			D	
	5- PP-Tr/Sj-Cb/Mz	Normal	5,1	39,0	-11,6	-1,0	-0,7	-30,6	9,6	92,6			LD			D	

LD=Levemente Deficiente MD= Moderadamente Deficiente D= Deficiente

El maíz fue el cultivo que tuvo el peor estado nutricional en el análisis foliar (Tabla 2.2.12). Se observó baja concentración de N y Mg en casi todas las situaciones. Algunos tratamientos tuvieron bajo nivel de P y K. El DRIS del maíz también fue deficiente en S y Mg en todos los tratamientos (Tabla 2.2.13). Algunas situaciones estuvieron desbalanceadas en N, P y Ca.

Tabla 2.2.12. Resultados de análisis foliar en maíz. Se muestran los valores porcentuales de cada nutriente y el estado nutricional caracterizado como A: alto, S: suficiente o B: bajo. En rojo se indican las situaciones con bajo estado nutricional y los círculos verdes muestran diferencias entre FN y FFE.

MAIZ - Análisis foliares

Establecimiento	Rotación	Fertilización	Análisis foliar							Cal. Nivel Nutr.						
			N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %	Zn ppm	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn
San Nicolás	3- Tr/Sj-Ar/Mz	Normal	1,96	0,16	2,37	0,36	0,11	0,11	19,1	B	B	S	S	B	S	S
		Extra	2,33	0,20	2,30	0,38	0,13	0,12	22,3	B	S	S	S	B	S	S
	4- Tr/Sg-Vic/Mz	Normal	2,00	0,24	1,90	0,35	0,12	0,14	21,8	B	S	S	S	B	S	S
		Extra	2,02	0,22	2,06	0,35	0,12	0,14	37,6	B	S	S	S	B	S	S
	5- PP-Tr/Sj-Ar/Mz	Normal	1,95	0,21	1,92	0,39	0,13	0,11	33,7	B	S	S	S	B	S	S
		Extra	2,32	0,21	2,14	0,38	0,14	0,12	27,0	B	S	S	S	B	S	S
La Matilde	3- Tr/Sg-Vic/Mz	Normal	2,25	0,22	1,55	0,29	0,11	0,13	41,5	B	S	B	S	B	S	S
		Extra	2,85	0,23	1,66	0,30	0,11	0,14	96,7	S	S	B	S	B	S	S

B= Bajo S= Suficiente A= Alto

Tabla 2.2.13. Resultados de DRIS en maíz. Se muestran los índices DRIS para cada nutriente y el estado nutricional de las situaciones deficitarias (DRIS negativo) caracterizado como LD: levemente deficiente, MD: moderadamente deficiente o D: deficiente. Los círculos verdes muestran diferencias entre FN y FFE.

MAIZ - Índices DRIS

Establecimiento	Rotación	Fertilización	Índice DRIS								Cal. DRIS neg.						
			N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Σabs	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn
San Nicolás	3- Tr/Sj-Ar/Mz	Normal	6,1	4,0	36,2	5,2	-32,1	-19,3	-0,2	103,2					D	MD	
		Extra	9,0	9,8	26,3	3,0	-28,7	-20,2	0,7	97,7					D	D	
	4- Tr/Sg-Vic/Mz	Normal	-0,4	24,6	16,8	1,4	-33,0	-9,9	0,4	86,5					D	LD	
		Extra	-9,3	11,9	18,8	-1,4	-39,5	-14,5	34,1	129,5	LD				D	MD	
	5- PP-Tr/Sj-Ar/Mz	Normal	-7,9	11,6	17,4	5,1	-29,4	-25,4	28,7	125,5	LD				D	D	
		Extra	4,9	9,8	20,5	2,1	-25,5	-21,6	9,8	94,0					D	D	
La Matilde	3- Tr/Sg-Vic/Mz	Normal	0,7	13,8	8,1	-6,4	-44,9	-15,9	44,6	134,4				LD	D	MD	
		Extra	-8,9	-7,3	1,7	-17,7	-79,5	-31,0	142,8	288,9	LD	LD		MD	D	D	

LD=Levemente Deficiente MD= Moderadamente Deficiente D= Deficiente

CONCLUSIONES

- ✓ Las **eficiencias de captura** de agua fueron bajas en todas las situaciones evaluadas (entre 50 y 70% de la oferta total), mostrando una gran ineficiencia de los sistemas agrícolas y una posible vía de mejora para reducir las pérdidas de agua y el riesgo de problemáticas producidas por excedentes hídricos.
- ✓ El aumento de la intensidad de las rotaciones mejoró la **productividad del agua** (kg MS/mm consumido), a través de mejoras en la eficiencia de captura.
- ✓ El aumento en la proporción de gramíneas de las rotaciones fue acompañado por mejoras en los niveles de **fertilización (N y P)**, caídas en la **productividad del N** y aumentos en la **eficiencia de uso del P** y el balance de P. El IIR no explicó los cambios en estas variables.
- ✓ La **fertilización extra con N-P-S** mejoró los rendimientos de las rotaciones, en especial en rotaciones de alta intensidad y balance entre leguminosas y gramíneas. Entre los indicadores edáficos evaluados, sólo se generaron cambios en el nivel de P del suelo.
- ✓ El **balance foliar** mostró deficiencia de S en todos los cultivos y N en maíz.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R., L. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy. 300 pp.
- Allen, R.G. 1996. Assessing integrity of weather data for use in reference evapotranspiration estimation. *J. Irrig. and Drain. Engng. Div., ASCE* 122(2): 97-106.
- Alzueta, I. 2019. "Contribuir a mejorar la competitividad de los sistemas de producción a través de la intensificación, diversificación y nutrición sistémica". Informe final Chacra Bragado-Chivilcoy. Sistema Chacras, AAPRESID: 77 páginas.
- Andrade, J.F.; Poggio, S.L.; Ermácora, M.; Satorre, E.H. 2015. Productivity and resource use efficiency in intensified systems in the Rolling Pampa, *European Journal of Agronomy* 67 (2015) 37-51.
- Cambardella, C.A. y E.T. Elliot. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grass land cultivation sequence. *SoilSci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Caviglia O.P., Sadras V.O. and Andrade F. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean.
- Dardanelli, J.L. 1998. Eficiencia en el uso del agua según sistemas de labranzas. En: J.L. Panigatti; H. Marelli; D. Buschiazzi y R. Gil (eds), *Siembra Directa. INTASAGyP*, pp. 107-115.
- Gil, R.C., Peralta, G., Coronel, J., Salomón, C., Vidal, G., 2010. Eficiencia de uso del agua en ambientes semiáridos y sub-húmedos del Nordeste Argentino: un análisis comparativo de líneas de desarrollo en ambientes de Chaco, Formosa y Corrientes. In: *Proceedings on CD, XVIII Congreso AAPRESID: El Cuarto Elemento. 11–13 August 2010, Rosario, Argentina*, p. 9.
- Havlin, J. L., Kissel, D. E., Maddux, L. D., Claassen, M. M., & Long, J. H. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 54(2), 448-452.
- IPNI. 2016. Cálculo de Requerimientos Nutricionales. [en línea] <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>
- Romaniuk, R., M. Beltrán, L. Brutti, A. Costantini, S. Bacigaluppo, H. Sainz-Rozas, and F. Salvagiotti. 2018. Soil organic carbon, macro- and micronutrient changes in soil fractions with different lability in response to crop intensification. *Soil Tillage Res.* 181: 136–143.
- Sasal, MC. 2012. Factores condicionantes de la evolución estructural de suelos limosos bajo siembra directa. Efecto sobre el balance de agua. Tesis de Doctorado de la Universidad de Buenos Aires.
- Saxton, K.E. y W.J. Rawls. 2006. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1569- 1578.
- Walkley, A. and I. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *SoilSci.* 34: 29-38.

CAPÍTULO 2.3

SISTEMAS INTENSIFICADOS: EFECTO SOBRE INDICADORES FÍSICOS DE SUELO

M.B. Agosti, G. Peralta, H. Rimski y C. Álvarez

INTRODUCCIÓN

Además de cuantificar el efecto de la intensificación sobre la productividad y la eficiencia de uso de los recursos, es importante poder analizar el efecto sobre los indicadores de salud del suelo. Estos indicadores los podemos agrupar en físicos, químicos y biológicos. Los próximos tres capítulos describirán el efecto de los sistemas intensificados sobre estos tres grupos de indicadores.

Los indicadores físicos, describen la estructura y la matriz porosa del suelo. Ambos son fundamentales porque definen la posibilidad de crecimiento de las raíces, así como también el movimiento de aire y agua en el perfil. La porosidad del suelo es tal vez la propiedad física más fácil, frecuente y ampliamente alterada por las operaciones de labranza o de manejo sin laboreo. Esto tiene un impacto directa sobre el balance de agua (entradas y salidas del sistema), y su dinámica (relaciones agua-planta), en la entrada y difusión de gases y de calor, y en el desarrollo y crecimiento de las raíces. Existen varios indicadores físicos del suelo que permiten caracterizar directa o indirectamente el sistema poroso del mismo. Entre ellos está la textura, la densidad aparente, la porosidad total y de aireación, la infiltración básica, etc. A la vez, ciertas propiedades químicas del suelo nos permiten caracterizar la fertilidad del mismo y la capacidad de producción de biomasa del mismo, como así también identificar ciertas limitantes productivas (por ejemplo, el nivel de pH).

En Argentina existen investigaciones, a distintas escalas y usando distintos indicadores, que muestran el impacto de la agricultura en la calidad física del suelo. Aunque todos ellos incluyen variables físicas y químicas del suelo. Muchos de ellos, concluyen que el fósforo (Vázquez *et al.*, 1991; Heredia *et al.*, 2004), la estabilidad de los agregados (Orellana y Pilatti, 1994; Urricariet y Lavado, 1999; Wilson *et al.*, 2000) o ambos (Maddonna *et al.*, 1999) son las propiedades del suelo que mejor describen dicho impacto. A nivel regional, Michelena *et al.* (1989) hallaron una disminución de la calidad del suelo por la agricultura. Entre las variables físicas, la estabilidad de los agregados y la tasa de infiltración fueron los parámetros evaluados que sufrieron las mayores variaciones. Campitelli *et al.* (2010), en un trabajo realizado en la zona central de Córdoba, observaron varios indicadores bajo distintos usos del suelo. Entre los indicadores físicos más sensibles hallaron cambios en el diámetro medio ponderado de agregados, profundidad del CO₃Ca y espesor del horizonte superficial. Esto determinó un aumento en la susceptibilidad a la erosión hídrica a medida que se prolongan los años de agricultura y se incrementan las prácticas tales como monocultivo de soja y siembra convencional, evidenciando el deterioro de la calidad del suelo en relación a los sitios bajo bosque nativo que son los que presentaron el máximo potencial.

En relación a estos temas, el objetivo de la Chacra Pergamino es **detectar los cambios en propiedades físicas de “salud del suelo”** entre situaciones con niveles de intensificación contrastantes.

METODOLOGÍA

Determinaciones

Los muestreos de indicadores físicos de suelo se realizaron en invierno 2019 (físicos), en 5 unidades de muestreo (UM) en cada rotación y establecimiento. Las UM fueron georreferenciadas en 2015, y se ubicaron en zonas representativas de cada rotación (ver ubicación en Anexo 2).

A continuación, se detalla la metodología empleada para la determinación de cada indicador.

a) Densidad Aparente

La densidad aparente (DAP) se determinó con la metodología propuesta por Burke *et al.* (1986), con un cilindro de 216 cm³ (Figura 2.3.1). Se extrajeron muestras de suelo a 0-5 cm y a 10-15 cm de profundidad en cada unidad de muestreo. El suelo fue colocado en bolsas de polietileno y llevadas al laboratorio para determinar peso húmedo y seco (luego de 48 hs a 110 °C). El valor de densidad aparente se obtuvo dividiendo el peso seco del suelo por el volumen del cilindro (g suelo seco/cm³).



Figura 2.3.1. Secuencia de extracción de muestras de suelo para medir densidad aparente en dos profundidades (0-5 cm y 10-15 cm).

b) Resistencia a la Penetración

La resistencia a la penetración (RP) se determinó a campo usando un penetrómetro de golpe (INTA Villegas; Díaz-Zorita, 1999), de cono de 30° y una constante de 2,75 kg/cm² – 0,26 Mpa por golpe, con correcciones de humedad. Las mediciones se hicieron en capas de cinco cm de espesor hasta los 30 cm de profundidad. Se realizaron 5 determinaciones en cada una de las UM de todos los tratamientos. Los registros se efectuaron en condiciones de humedad cercanas a capacidad de campo en los primeros 30 cm (Humedad gravimétrica = 31,3 % en LMe; 31,1 % en SN; 28,1 % en LMs). Se corrigieron posibles efectos asociados a diferencias de humedad en cada profundidad de medición, descontando al valor de penetrometría observado el efecto de la humedad sobre la resistencia a la penetración (a partir de la relación observada en muestreos pre-existentes en suelos de texturas similares, Figura 2.3.2). Los registros se estandarizaron así a una humedad promedio de 30,1 % (promedio de todas las observaciones, tratamientos y profundidades).

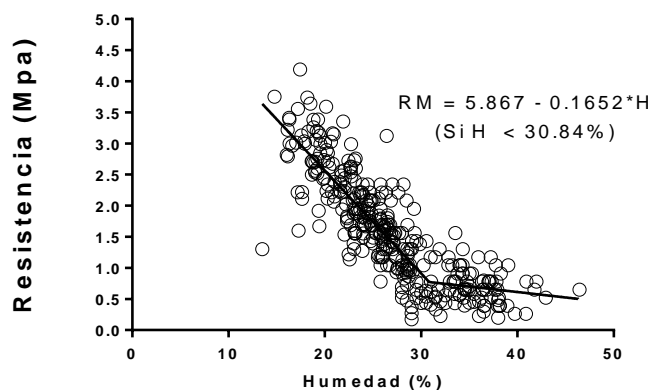


Figura 2.3.2. Relación entre la humedad y la resistencia a la penetración en Argiudoles y Hapludoles de la región pampeana (Peralta, comunicación personal).

c) Índice de Estallido

Para cuantificar el estado estructural se utilizó el Índice de Estructura por estallido (Peralta *et al.*, 2018), que consiste en una modificación de carácter cuantitativo del método cualitativo de evaluación visual de estructura por “drop-test” (VSA, Visual Soil Assessment; Shepherd, 2009; Mueller *et al.*, 2013). Para esto se extrajeron muestras sin disturbar de 20 x 20 x 20 cm del horizonte superficial, en contenidos de humedad de capacidad de campo o similar (80-100% agua útil). Las mismas, se arrojaron desde una altura de 1,5 m sobre una superficie plana, y se separaron los terrones resultantes de acuerdo a su diámetro en 3 clases: mayores a 10 cm (coincidentes con “bloques masivos o densificados”), de 5-10 cm, y menores a 5 cm (coincidentes con bloques “granulares o pequeños”). Se pesaron las distintas fracciones y se expresaron las proporciones respecto al total (Figura 2.3.3). Se realizó una determinación por UM en cada tratamiento.



Figura 2.3.3. Ejemplos de mediciones de índice de estallido en dos situaciones diferentes: rotación Tr/Sj-Mz-Sj (izquierda) y rotación Pastura-Agricultura (derecha). Se muestran los grupos en los que se separan por tamaño los terrones de tierra: >10 cm, 5-10 cm y <5 cm.

d) Estructuras laminares

Se determinó la frecuencia y espesor de estructuras laminares, siguiendo una aproximación similar a la propuesta por Alvarez *et al.* (2014). Se consideró la frecuencia de aparición de estructuras laminares consolidadas (de más de 1 cm de espesor) en 10 pozos de observación de 20 cm de profundidad por UM. Se registró el espesor promedio (cm) de las estructuras laminares en cada UM, y el máximo observado en cada UM. Se calculó a su vez el grado de desarrollo de estructuras laminares como un espesor ponderado que incluye tanto la frecuencia de aparición como el espesor observado, en cada UM:

$$\text{Espesor ponderado (cm)} = \text{Frecuencia (0-1)} \times \text{Espesor promedio (cm)}$$

Análisis de datos

Se obtuvieron los valores promedios y percentiles 25 y 75 % para utilizar gráficos de cajas y bigotes para cada indicador en cada profundidad, tratamiento y establecimiento (INFOSTAT, 2003). Se establecieron relaciones funcionales, a través de análisis de regresión lineal simple, entre algunos indicadores físicos e indicadores de producción (IIR, % gramíneas, aporte de C, rastrojo, etc.).

RESULTADOS

Densidad Aparente

La densidad aparente en superficie (0-10 cm) tuvo valores promedios de 1,12 gr cm⁻³ en LMs, 1,17 gr cm⁻³ en SN y 1,19 gr cm⁻³ en LMe (Figura 2.3.4). Estas diferencias entre establecimientos en densidades superficiales seguramente estén asociadas a la textura de las distintas series de suelo. En LMs y LMe, tendió a ser menor en las rotaciones menos intensivas (rotaciones de la izquierda), posiblemente asociado al menor tránsito de maquinarias al realizarse menos cultivos por año (8-9 cosechas en 6 años vs. 11-12 cosechas en 6 años, en rotaciones más intensivas). En SN tuvo poca variación la DAP superficial, aunque fue menor en la rotación con pastura, como era esperable por el gran aporte de raíces durante el ciclo de la pastura.

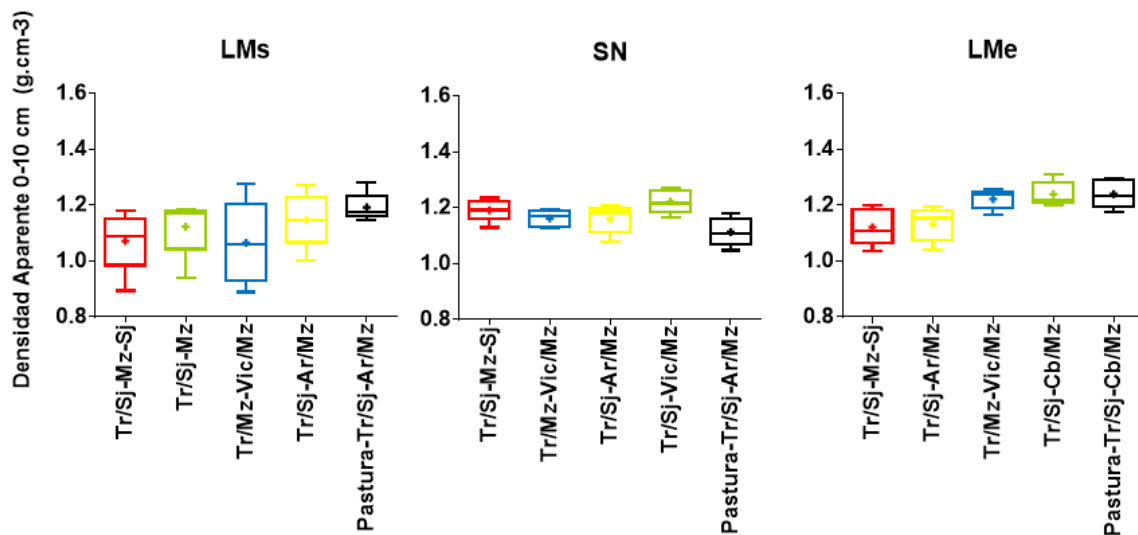


Figura 2.3.4. Densidad aparente (gr cm⁻³) a 0-10 cm de profundidad en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las cruces muestran los promedios, las cajas el 25 y 75 % de los datos y los bigotes los datos mínimos y máximos. Las rotaciones están ordenadas de izquierda a derecha en orden creciente de IIR.

Llamativamente, tanto en LMs como LMe, se observaron mayores valores de densidad aparente superficial en la rotación con pastura respecto a las rotaciones puramente agrícolas. Esto coincidió con las observaciones a campo en estos tratamientos (Figura 2.3.5). La susceptibilidad de un suelo frente a la aplicación de un estrés compresivo como el que ocasiona el tránsito de maquinaria depende de su capacidad portante (presión de preconsolidación) y de su resistencia a deformarse (índice de compresión) (Imhoff *et al.*, 2016). Así por ejemplo, suelos prístinos al ser puestos en producción o suelos descompactados mecánicamente resultan altamente susceptibles a la compactación. Una rápida mejora en las condiciones físicas como las que puede generar un ciclo con pasturas puede también ocasionar que los suelos presenten una menor capacidad portante, y resulten más susceptibles frente a la aplicación posterior de un estrés compresivo, particularmente en los primeros cm (en especial luego de las primeras pasadas de maquinaria). Es necesario, por lo

tanto, considerar las condiciones de tránsito posterior a la introducción de prácticas mejoradoras. En el caso de LMe, este efecto pudo haberse magnificado aún más por la ubicación del tratamiento de pastura (en posición perpendicular a los otros tratamientos, actuando como “cabecera” de las labores de las otras rotaciones (Figura 2.3.6).



Figura 2.3.5. Densificación superficial en rotación con pastura en Las Matreras (izquierda) y La Matilde (derecha).



Figura 2.3.6. Huellado superficial en rotación con Pastura en La Matilde.

La DAP a 10-20 cm de profundidad tuvo menos variación entre unidades de muestreo y tratamientos, en especial en LMs y LMe (Figura 2.3.7). Los promedios generales fueron de 1,35 gr cm⁻³ en LMs, 1,37 gr cm⁻³ en SN y 1,36 gr cm⁻³ en LMe. Las rotaciones con más gramíneas (cajas azules) tendieron a tener menos DAP en LMs y SN. En SN, la pastura también tuvo baja densidad, al igual que en superficie. En LMe varió muy poco la densidad entre rotaciones.

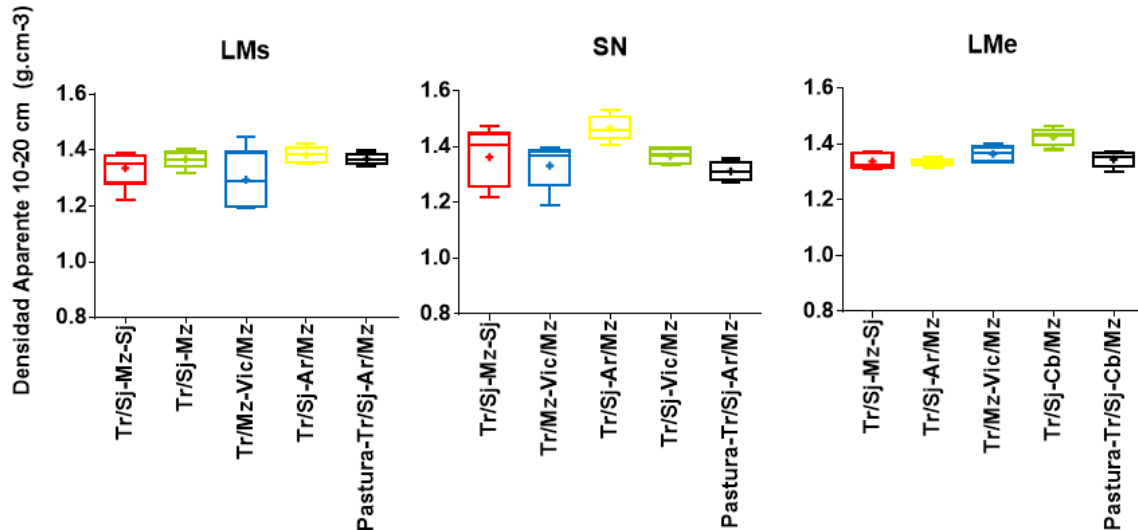


Figura 2.3.7. Densidad aparente (gr cm⁻³) a 10-20 cm de profundidad en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las cruces muestran los promedios, las cajas el 25 y 75 % de los datos y los bigotes los datos mínimos y máximos. Las rotaciones están ordenadas de izquierda a derecha en orden creciente de IIR.

La densidad aparente en superficie, no ajustó con regresión lineal a los cambios en la intensidad de las rotaciones (Figura 2.3.8). Sin embargo, pareciera haber un aumento de la DAP entre valores de IIR de 0,4 a 0,7; y luego tiende a ser menor en los máximos IIR (rotaciones con pastura), en especial en LMs y SN. Este aumento de la densidad a medida que aumenta el número de cultivos, en el primer segmento de IIR (0,4 a 0,7), puede estar explicado por un mayor tránsito de maquinarias en el lote, que generan mayor huellado y mayor densificación superficial. En el segmento final de IIR (> 0,7), pareciera que este efecto se revierte, posiblemente por los mayores aportes de biomasa de raíces de las pasturas y por un menor tránsito de maquinarias durante su ciclo. En LMe, este último efecto no se observó, ya que la DAP se mantuvo alta en la rotación con pastura. Como se explicará anteriormente, el motivo podría ser la ubicación de la rotación con pastura en ese establecimiento, que fue en la cabecera del lote, pudiendo probablemente tener más tránsito de maquinarias en los giros. Es importante destacar, que los valores de DAP promedio hallados en todas rotaciones están por debajo de los umbrales críticos reportados por distintas fuentes. Por ejemplo, USDA considera como crítica una DAP > a 1,5 gr cm⁻³. Estos resultados concuerdan con numerosos trabajos de la región, los cuales reportan valores de DAP por debajo de los críticos.

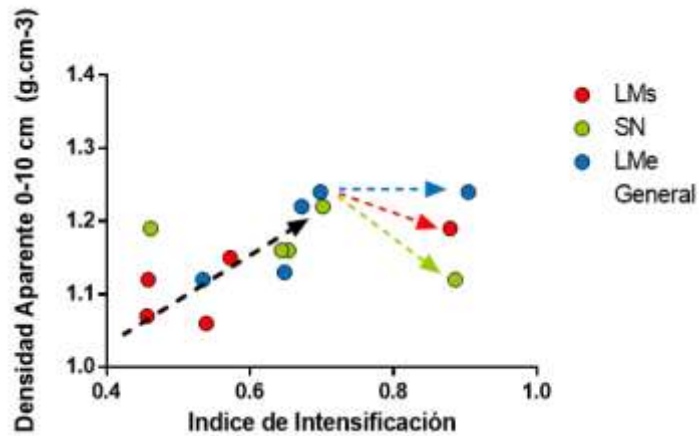


Figura 2.3.8. Relación de la Densidad Aparente a 0-10 cm ($gr\ cm^{-3}$) con el Índice de Intensificación de la rotación incluyendo todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las flechas punteadas indican posibles respuestas al aumento de IIR.

Resistencia a la penetración

En los tres establecimientos se encontraron valores de RP promedio de 0-20 cm menores a 2 MPa, que es considerado un valor umbral para el normal crecimiento de las raíces de los cultivos (Figura 2.3.9). En LMs se encontraron los mayores valores, especialmente en las rotaciones agrícolas, disminuyendo significativamente en la rotación con pastura. En SN los valores de RP fueron bajos y muy similares entre rotaciones. En LMe también se obtuvieron bajos valores de RP a 0-20 cm, pero más variables entre rotaciones, con valores muy bajos en la rotación con arveja (caja amarilla) y más elevados en la rotación con gramíneas (caja azul). Las rotaciones con más gramíneas (cajas azules) fueron las de mayor RP en los tres establecimientos, posiblemente esto podría estar asociado a mayor compactación por cosechas con más cantidad de grano, como ocurre al incorporar más maíces en la rotación. Por último, al establecer correlaciones de otras variables con la RP, no se obtuvieron buenos ajustes ni con la DAP 0-20 cm ($R^2= 0,06$) ni con el IIR ($R^2=0,20$).

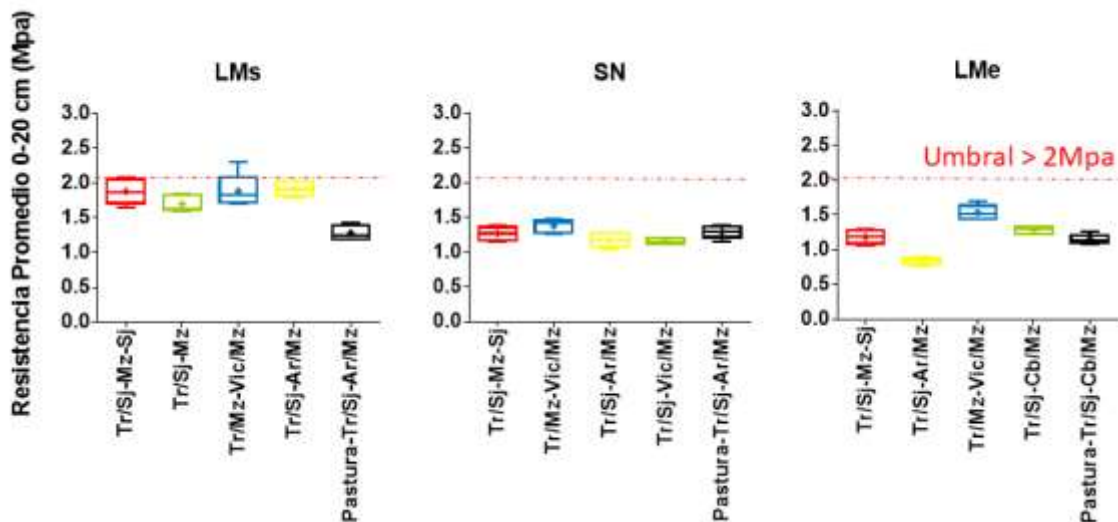


Figura 2.3.9. Resistencia a la penetración (MPa) de 0 a 20 cm de profundidad en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las cruces muestran los promedios, las cajas el 25 y 75 % de los datos y los bigotes los datos mínimos y máximos. Se indica con línea punteada el umbral de 2 MPa. Las rotaciones están ordenadas de izquierda a derecha en orden creciente de IIR.

El perfil de resistencia a la penetración tuvo una forma clásica en LMs y LMe, con máximos entre 10 y 20 cm de profundidad, y valores más elevados en profundidad (entre 20 y 30 cm) en SN (Figura 2.3.10). No se observaron signos de compactación marcados en ninguno de los tratamientos o establecimientos al analizar los perfiles de RP, ya que todos los valores están por debajo de 2 MPa. Únicamente en LMs se observaron perfiles de resistencia mecánica típicos de siembra directa, con picos máximos entre los 5 y 15 cm cercanos a los 2 Mpa. La rotación con pastura presentó en este campo menores valores de resistencia a profundidad, coincidentes con las observaciones de estructura subsuperficial (ver puntos siguientes). No se observaron mayores diferencias entre los tratamientos agrícolas. En el caso de SN, los valores de resistencia resultaron relativamente inferiores a los observados en LMs en todos los casos. Sólo se observaron valores altos de RP por debajo de los 20 cm de profundidad, coincidentes con la presencia de horizontes arcillosos (que genéticamente suelen presentar una mayor cohesión). Los valores de RP resultaron también relativamente bajos en LMe (menores en general a 1 MPa). Únicamente se destaca con mayor resistencia la rotación con alto porcentaje de gramíneas (Tr/Mz-Vic/Mz, líneas azules), que presentó también valores altos de DAP a 0-10 cm y 10-20 cm. Como se dijo anteriormente, posiblemente ligado a la presencia de maíz todos los años, que presenta la característica de ser el cultivo de mayor producción.

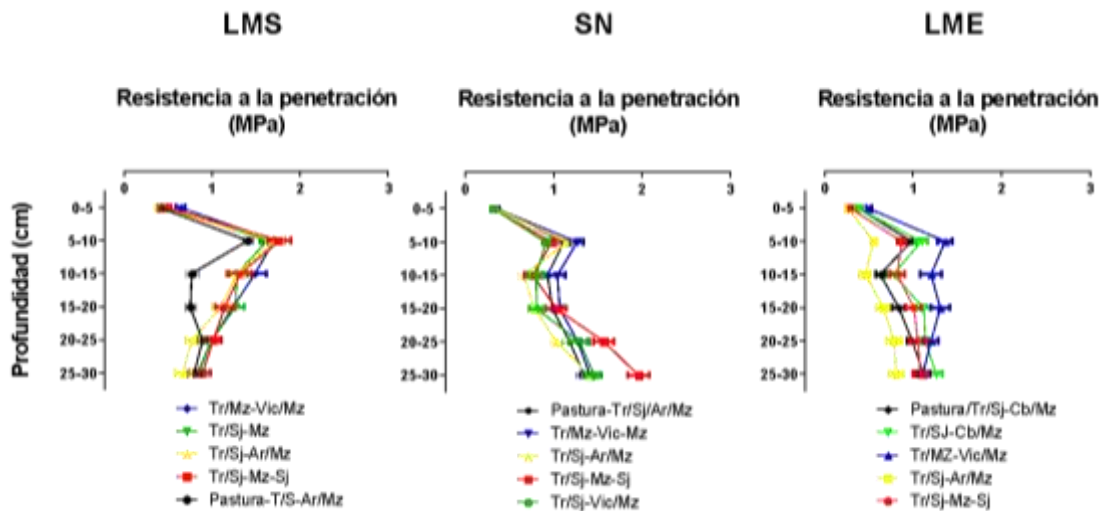


Figura 2.3.10. Resistencia a la penetración (MPa) de 0 a 30 cm de profundidad en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Se muestran los valores promedios y desvío estándar en barras de error en cada profundidad. Las rotaciones están ordenadas de arriba hacia abajo en orden creciente de IIR.

Índice de estallido

En los tres establecimientos, el índice de estallido mostró una mayor proporción de bloques pequeños (<5 cm), que varió de 48 a 87 %, y una baja proporción de bloques de mayor tamaño (>10 cm), que varió de 2 a 13 % (Figura 2.3.11). En LMe se observaron las mayores proporciones de bloques pequeños (>58 %), sin embargo el valor más bajo de estos bloques se dio en las pasturas. En LMs y SN, las pasturas tuvieron la mayor proporción de bloques pequeños y la menor proporción de bloques medianos y grandes. Esto es acorde a lo esperado en rotaciones con alto aporte de raíces durante 4 años, como ocurre en las pasturas.

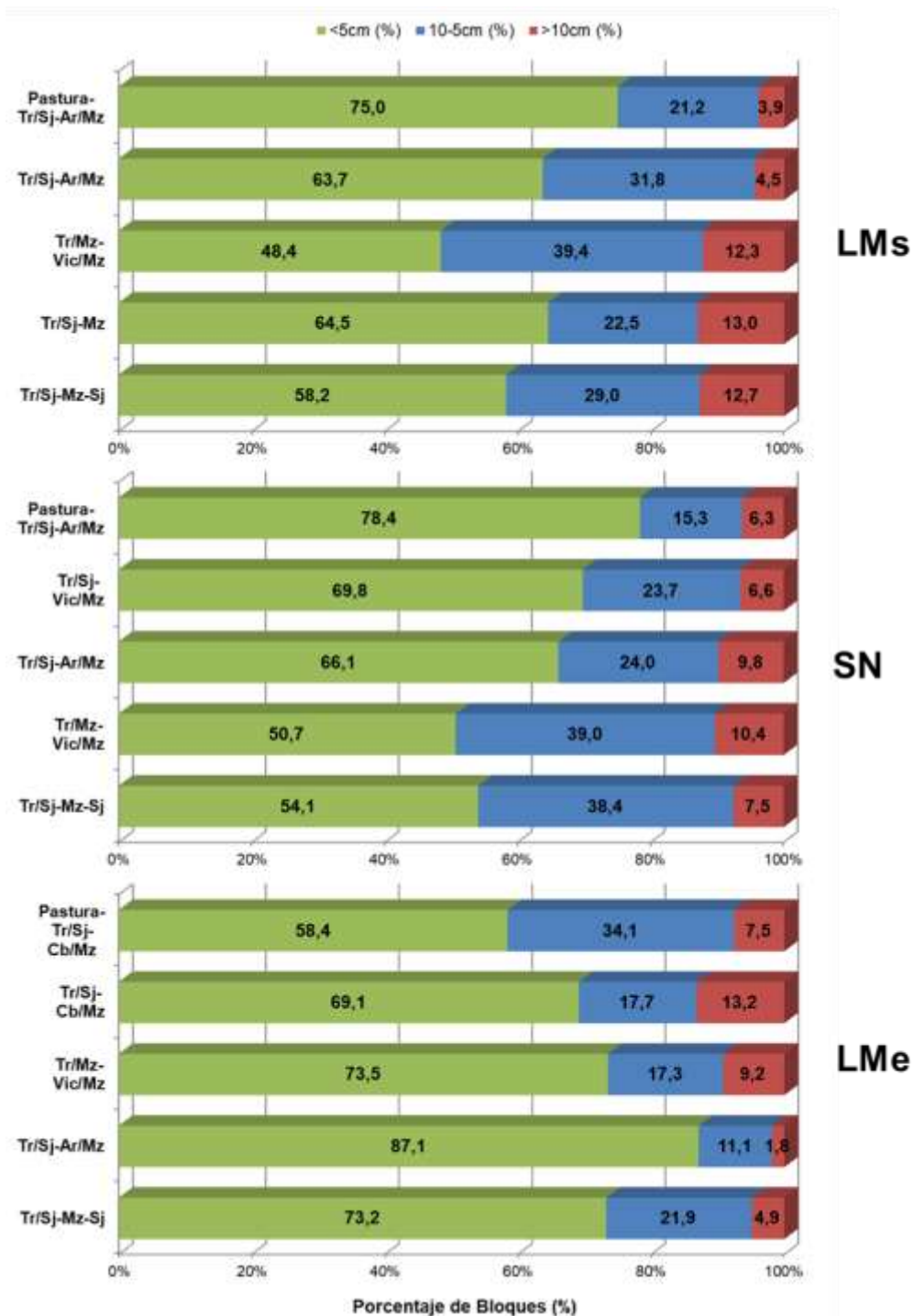


Figura 2.3.11. Proporción (%) de Bloques Pequeños (<5 cm), Bloques Medios (5-10 cm) y Bloques Grandes (>10 cm) en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las rotaciones están ordenadas de abajo hacia arriba en orden creciente de IIR.

La intensificación explicó en parte los cambios en la proporción de bloques pequeños (Figura 2.3.12). En LMs y SN, la incorporación de más cultivos por año generó aumentos de la proporción de bloques pequeños, que son los deseables. En LMe no se da esta misma respuesta, por la gran caída de estos bloques en la rotación con pastura (mayor IIR). Este resultado es acorde a la respuesta en DAP en esta misma rotación en este establecimiento, que se mantiene alta, a pesar del mayor aporte de raíces. Esto se atribuía a que el tratamiento de pastura actuó como cabecera del ensayo (mayor tránsito de maquinaria).

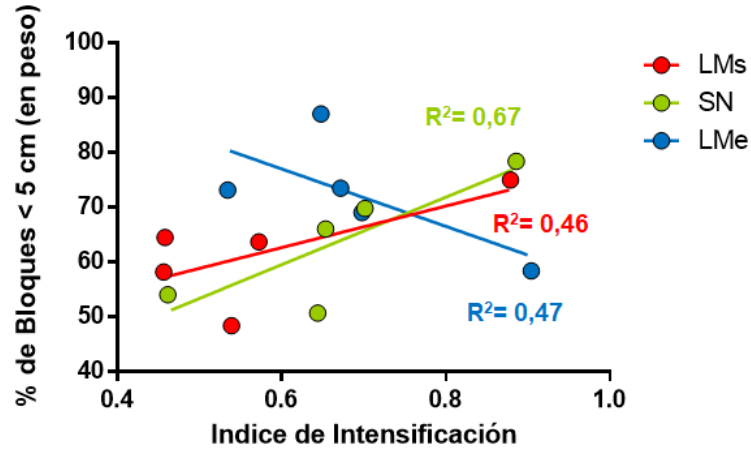


Figura 2.3.12. Relación del % de Bloques pequeños (<5 cm) con el Índice de Intensificación de la rotación incluyendo todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Se incluyen las regresiones de cada establecimiento con los R^2 en colores.

Estructuras laminares

En todas las rotaciones y establecimientos, se identificaron estructuras laminares, con muy alta proporción en algunas situaciones (Figura 2.3.13). En LMs y SN se dieron los valores más altos de frecuencia de estructura laminar, en especial en las rotaciones agrícolas, con promedios de 84 a 100 %. En los tres establecimientos, las rotaciones con pasturas redujeron la frecuencia de aparición de láminas, hallándose las menores frecuencias en comparación con otras rotaciones: 54 %, 66 % y 16 % para LMs, SN y LMe, respectivamente. En LMe las frecuencias fueron menores en todas las rotaciones, esto posiblemente este asociado a la textura del horizonte superficial que es mucho menos limosa en LMe en comparación con los otros dos establecimientos (ver Figura A1 en Anexo 3). En SN y LMe, se destacaron las rotaciones con vicia (Tr/Sj-Vic/Mz en verde SN y Tr/Mz-Vic/Mz en azul en LMe), por la baja frecuencia de aparición de láminas (84 % en SN y 30 % en LMe). Los valores obtenidos en estas rotaciones son los menores dentro de las rotaciones agrícolas, que se diferencian de resto por la incorporación del cultivo de cobertura de vicia en tan alta proporción (3 años de 6). Posiblemente el alto aporte de C, aéreo y radical, en conjunto con el aporte de N orgánico de la fijación, podrían estar generando un beneficio en la estructuración laminar del suelo.

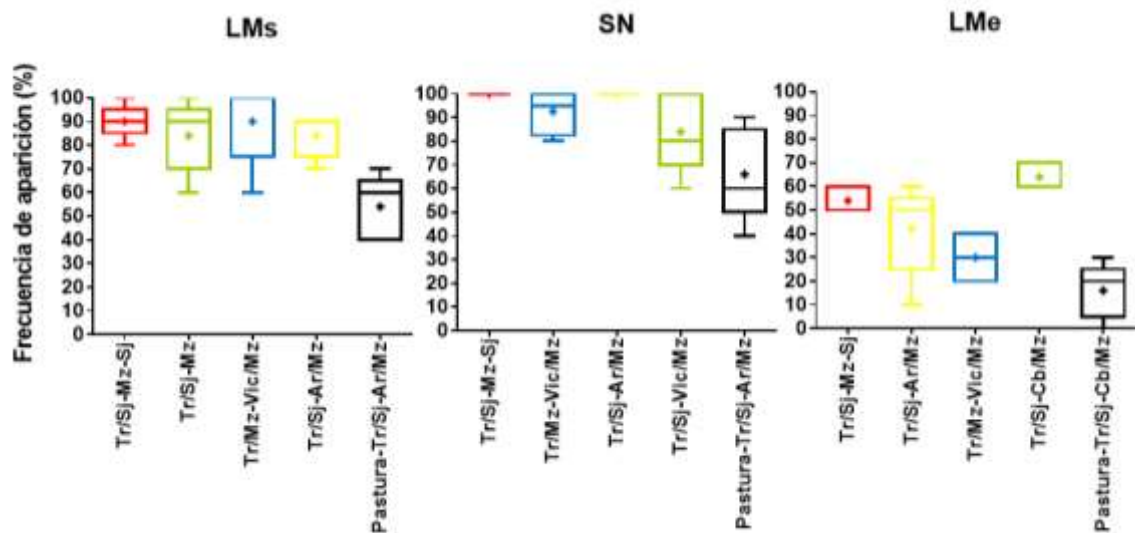


Figura 2.3.13. Frecuencia de aparición de láminas (%) en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las cruces muestran los promedios, las cajas el 25 y 75 % de los datos y los bigotes los datos mínimos y máximos. Las rotaciones están ordenadas de izquierda a derecha en orden creciente de IIR.

El espesor máximo de láminas también fue diferente entre las distintas situaciones (Figura 2.3.14). En LMs y SN, se registraron mayores espesores máximos para todas las rotaciones que en LMe. Al igual que con la frecuencia, el espesor máximo fue menor en las rotaciones con pastura en los tres establecimientos. La rotación testigo Tr/Sj-Mz-Sj presentó los mayores valores: 8cm en LMs, 10 cm en SN y 5,2 cm en LMe.

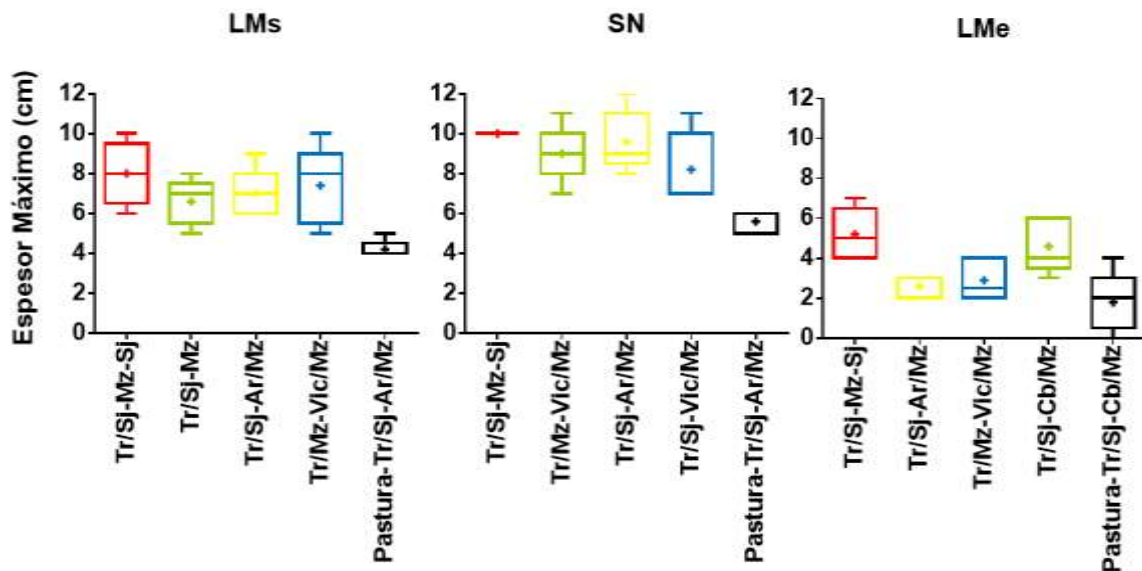


Figura 2.3.14. Espesor Máximo de láminas (cm) en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las cruces muestran los promedios, las cajas el 25 y 75 % de los datos y los bigotes los datos mínimos y máximos. Las rotaciones están ordenadas de izquierda a derecha en orden creciente de IIR.

El espesor promedio varió entre 2,8 y 4,9 cm para LMs, entre 4,1 y 7,3 cm en SN y entre 1,3 y 3,1 cm en LMe (Figura 2.3.15). En los tres establecimientos se observaron los mayores valores en la rotación testigo Tr/Sj-Mz-Sj (cajas rojas) y los más bajos en las rotaciones con pastura (cajas negras). Las

rotaciones de intensidad intermedia (cajas amarillas, azules y verdes), tuvieron valores intermedios de espesor medio de láminas y similares entre sí.

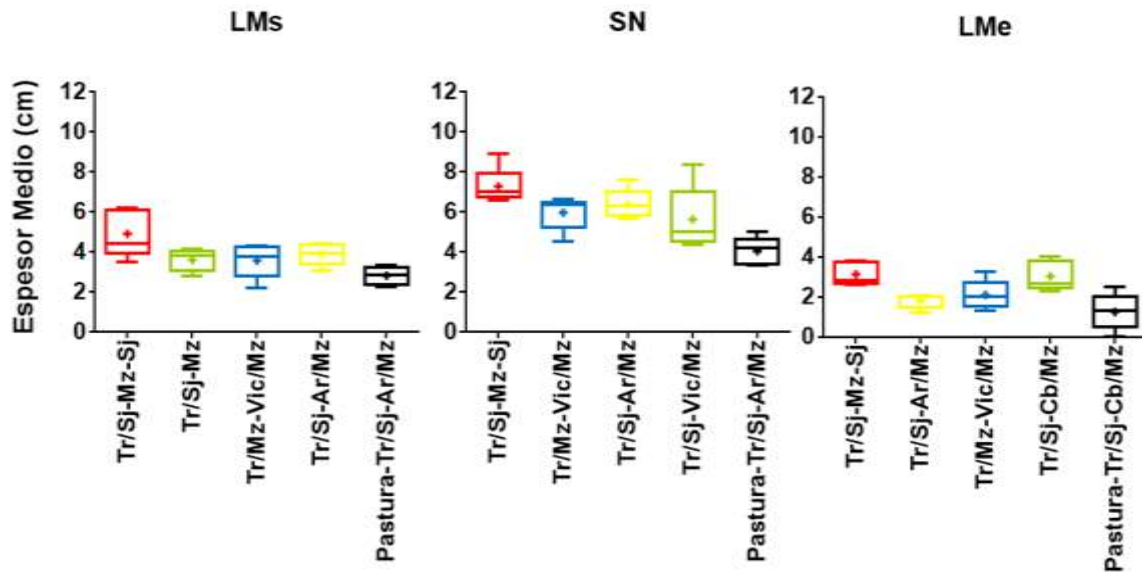


Figura 2.3.15. Espesor Medio Observado (cm) en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las cruces muestran los promedios, las cajas el 25 y 75 % de los datos y los bigotes los datos mínimos y máximos. Las rotaciones están ordenadas de izquierda a derecha en orden creciente de IIR.

Al ponderar los valores de espesor (Frecuencia de aparición x espesor medio), se obtiene una tendencia similar a los gráficos de espesor medio (Figura 2.3.16). Con máximos en rotaciones testigo (cajas rojas) y mínimos en las pasturas (cajas negras). Se destaca más LMe con valores de espesor mucho más bajos que LMs y SN.

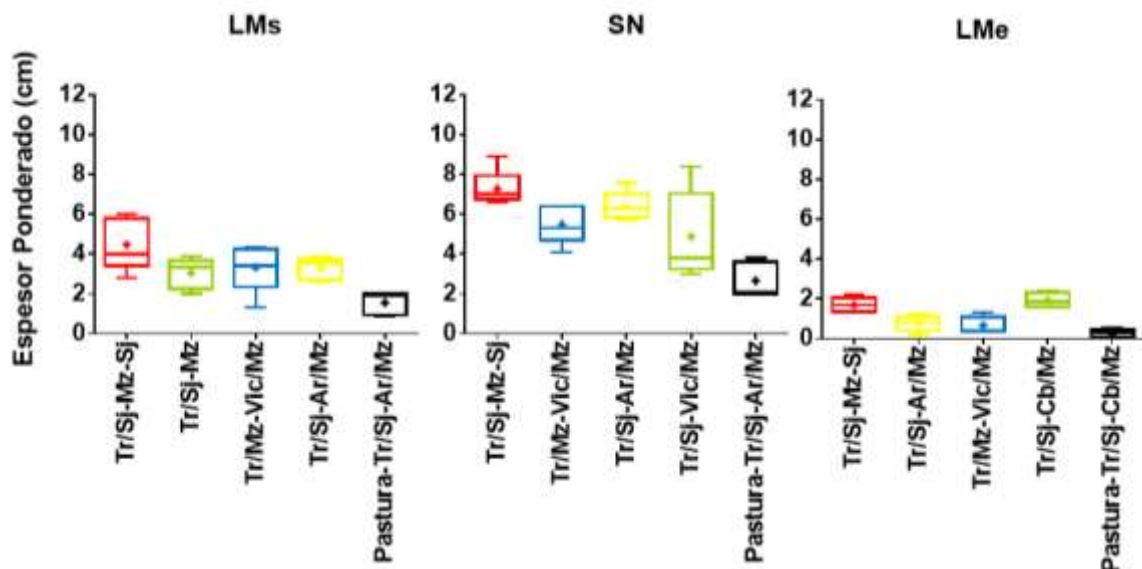


Figura 2.3.16. Espesor Ponderado (cm) en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las cruces muestran los promedios, las cajas el 25 y 75 % de los datos y los bigotes los datos mínimos y máximos. Las rotaciones están ordenadas de izquierda a derecha en orden creciente de IIR.

El espesor ponderado de láminas estuvo fuertemente asociado con la intensificación de las rotaciones (Figura 2.3.17). En los tres establecimientos se redujo el espesor de láminas a medida que fue mayor el IIR. Si bien las pendientes no fueron diferentes significativamente entre campos ($p=0,76$), tendió a ser mayor en SN, menor en LMs y luego LMe. Sí fueron diferentes entre establecimientos las ordenadas en origen ($p<0,01$), indicando las potencialidades de cada ambiente en cuanto al espesor de láminas. En este sentido, SN presentó los mayores espesores de láminas, LMs una situación intermedia, y LMe la mejor situación, tuvo bajo espesor de láminas y menor margen de mejora en este indicador. La posible causa de estas diferencias son las diferencias texturales en superficie entre las distintas series de suelo en los tres establecimientos, sobre todo en los niveles de limo (67,8 % en SN; 56,8 % en LMs y 49,4 % en LMe). El limo da fragilidad a la estructura del suelo, lo hace más inestable. Probablemente también sea lo que explica las mayores pendientes en SN y LMs.

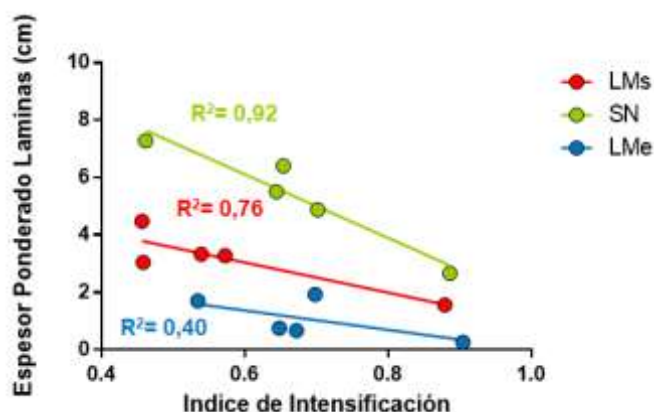


Figura 2.3.17. Relación del Espesor Ponderado de Láminas (cm) con el Índice de Intensificación de la rotación incluyendo todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Se incluyen las regresiones de cada establecimiento con los R^2 en colores.

A continuación se presentan algunas imágenes tomadas durante el muestreo de láminas en LMs (Figura 2.3.18), SN (Figura 2.3.19) y LMe (Figura 2.3.20). La rotación testigo (Tr/Sj-Mz-Sj), ubicadas siempre a la izquierda, se muestra con gran cantidad de láminas y de mayor espesor. En el medio se ubican las rotaciones con alta proporción de gramíneas (Tr/Mz-Vic/Mz en LMs y LMe) o con alta proporción de vicia (Tr/Sj-Vic/Mz en SN), mostrando una menor presencia de láminas. La rotación con pastura se ubicó a la derecha de las tres figuras, con muy baja presencia de láminas. Comparando entre establecimiento, se aprecia claramente la menor frecuencia y espesor de láminas en LMe, en comparación de LMs y SN.



Figura 2.3.18. Presencia y espesor de estructuras laminares en Las Matreras. Izquierda: Trigo/Soja-Maíz-Soja; centro: Trigo/Maíz-Vicia/Maíz; derecha: rotación con pastura.



Figura 2.3.19. Presencia y espesor de estructuras laminares en San Nicolás. Izquierda: Trigo/Soja-Maíz-Soja; centro: Trigo/Soja-Vicia/Maíz; derecha: rotación con pastura.



Figura 2.3.20. Presencia y espesor de estructuras laminares en La Matilde. Izquierda: Trigo/Soja-Maíz-Soja; centro: Trigo/Maíz-Vicia/Maíz; derecha: rotación con pastura.

CONCLUSIONES

- ✓ La intensificación generó mejoras en las **estructuras laminares** de los suelos, con diferente capacidad según la textura del suelo (mayor mejora en suelos más limosos). Si bien, todas las rotaciones presentaron láminas, se halló mayor frecuencia en las rotaciones agrícolas que en las rotaciones con pastura, y mayor espesor en las rotaciones de menor intensidad (rotaciones Tr/Sj-Mz-Sj).
- ✓ La intensificación tendió a aumentar la **densidad aparente** (especialmente en el rango de IIR de 0,4 a 0,7), seguramente asociado al mayor tránsito de maquinaria agrícolas con mayor peso, por el aumento de los rendimientos totales cosechados. Sin embargo, todos los valores de densidad superficial hallados estuvieron por debajo de los valores críticos (1,5 gr/cm³).
- ✓ Los valores de resistencia a la penetración fueron menores al crítico para el crecimiento de las raíces (2 MPa), tanto en superficie como en el perfil (0-30cm de profundidad).
- ✓ La “máxima” intensificación (**rotaciones con pasturas**) no impide que en el mediano plazo se generen alteraciones en la estructura, que ocurren al volver al ciclo agrícola. Será importante tener en cuenta las condiciones de manejo del ciclo agrícola (por ejemplo la humedad a cosecha) para evitar rápidas pérdidas de la estructura del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C.R., Taboada, M.A., Perelman, S., Morrás, H.J.M. 2014. Topsoil structure in no-tilled soils in the Rolling Pampa, Argentina. *Soil Res.* 52, 533–542.
- Burke, W.; D. Gabriela & J. Bruma (eds). 1986. Soil structure assessment. Rotterdam, A.A. Balkema. 92 pp.
- Campitelli, P.; A. Aoki; O. Gudelj; A. Rubenacker y R. Sereno. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del Suelo* 28(2): 223-231.
- Díaz-Zorita, M. 1999. Efectos de seis años de labranzas en un Hapludol del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 17: 31-36.
- Heredia, O.S.; D. Cosentino y M.E. Conti. 2004. Calidad de suelo: intensificación de uso de la tierra y materiales coloidales en Hapludertes de Entre Ríos. *Rev. Cientif. Agrop.* 8 (1): 57-64.
- Imhoff, S; A Silva; P Ghiberto; C Tormena; M Pilatti & P Libardi. 2016. Physical quality indicators and mechanical behavior of agricultural soils of Argentina. PLOS ONE. San Francisco: Public Library Science. ISSN 1932-6203.
- INFOSTAT 3.0. 2003. InfoStat versión estudiantil (registro de software 960318). Autores: Di Rienzo JA, Robledo CW, Balzarini MG, Casanoves F, Gonzalez L, Tablada M. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Maddonni, G.A.; S. Urricariet; C.M. Ghersay R.S. Lavado. 1999. Assessing soil quality in the Rolling Pampa, using soil properties and maize characteristics. *Agron. J.* 91: 280-287.
- Michelena, R.O.; C.B. Irurtia; F.A. Vavruska; R. Mon y A. Pittaluga. 1989. Degradación de suelos en el Norte de la Región Pampeana. *Publ. Tec.* 6. INTA. Centros Regionales de Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fé. Proyecto de Agricultura Conservacionista.
- Mueller, L., Shepherd, G., Schindler, U., Ball, B.C., Munkholm, L.J., Hennings, V., Smolentseva, E., Rukhovic, O., Lukin, S., Hu, C. 2013. Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating. *Soil Tillage Res.* 127, 74–84.
- Orellana, J.A. y M.A. Pilatti. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo* 12: 75-80.
- Peralta, G., Mórtola, N., Bressán, E., Romaniuk, R., Laghi, J. 2018. Desarrollo de una metodología para evaluar a campo la calidad estructural de suelos bajo siembra directa. (Field method to assess Topsoil quality under no-till). En actas: XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 15-18 Mayo. Tucumán, Argentina.
- Shepherd, T.G. 2009. Visual Soil Assessment. Volume 1. Field guide for pastoral grazing and cropping on flat to rolling country. Horizons Reg. Counc. Palmerst. North, New Zeal. Online: https://www.landcareresearch.co.nz/__data/assets/pdf_file/0003/28677/VSA_Vol2_smaller.pdf. Acceso 23-11-2018.
- Urricariet, S. y R.S. Lavado. 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17 (1): 37-44.
- Vázquez, M.E.; L.A. Berasategui, E.R. Chamorro, L.A. Taquín y L.A. Barberis. 1990. Evolución de la estabilidad estructural y diferentes propiedades químicas según el uso de los suelos en tres áreas de la Pradera Pampeana. *Ciencia del Suelo* 8 (2): 203-210.
- Wilson, M.G.; C.E. Quintero; N.G. Boschetti; R.A. Benavidez y W.A. Mancuso. 2000. Evaluación de atributos del suelo para su utilización como indicadores de calidad sostenibilidad en Entre Ríos. *Rev. Fac. Agron. (UBA)* 2 (1): 23-30.

CAPÍTULO 2.4

SISTEMAS INTENSIFICADOS: EFECTO SOBRE INDICADORES QUÍMICOS DE SUELO

M.B. Agosti, A. Irizar, L. Milesi y A. Andriulo

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MO) es ampliamente reconocida como el reservorio de nutrientes para las plantas y el mayor factor de estabilización de la estructura edáfica (Andriulo *et al.*, 2001). Si bien, la MO representa sólo entre un 1 y 6 % del horizonte A, disminuyendo con la profundidad, se la considera un factor muy importante. Muchos trabajos han mostrado que la materia orgánica del suelo afecta la estabilidad de los agregados, la capacidad de almacenamiento de agua útil, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes, entre otros factores (Álvarez y Steinbach, 2006).

Bajo agricultura, el nivel de carbono orgánico en el suelo podría incrementarse al aumentar la cantidad de cultivos por año o incorporar en la rotación cultivos de mayor producción de biomasa, como el maíz o sorgo, debido al mayor aporte de rastrojo. En ensayos de once años en Balcarce, Studdert y Echeverría (2000) hallaron una relación positiva entre la cantidad de C aportado por los residuos y el contenido de C del suelo al final del período analizado. Las variaciones en el C aportado las lograron con distintas secuencias de cultivos, con diferencias en la cantidad de cultivos por año y en el porcentaje de gramíneas. De manera que la intensificación de los sistemas productivos, en conjunto con aumentos en la cantidad de gramíneas en la rotación, surge en el mediano plazo como una estrategia de manejo para lograr mayores aportes de rastrojo al sistema y mejoras o mantenimiento de la materia orgánica del suelo.

Sin embargo, en el largo plazo, cuando se analiza la evolución en el tiempo del C del suelo, varios trabajos muestran que el nivel de C cae en agricultura continua. En ensayos de larga duración en INTA Pergamino (25-35 años), tanto rotaciones de mayor intensidad de cultivos (Tr/Sj-Mz o Tr/Sj), como monoculturas de maíz y soja, generaron caídas del carbono del suelo respecto del valor inicial de C (Irizar *et al.*, 2015). Pero los niveles de caída del C del suelo fueron mayores en las monoculturas que en las rotaciones de más cultivos por año. Andriulo y Cordone (1998) observaron una caída aproximada del 43 % en el nivel de carbono del suelo, luego de 110 años desde la roturación de la pradera nativa. La disminución de la MO fue más rápida durante los primeros años de uso agrícola y luego se hizo más lenta tendiendo a un equilibrio. Vázquez *et al.* (1990) también observaron una importante caída del % de carbono total y carbono liviano al comparar situaciones inalteradas y bajo 10-24 años de agricultura, en tres zonas de la pradera Pampeana. De manera que en el largo plazo pareciera que ninguna rotación agrícola de las evaluadas permite mantener los niveles de C del suelo. De todos modos, la mayoría de estos ensayos no evalúan rotaciones tan intensivas como las de los ensayos de la Chacra Pergamino. Por lo que estos ensayos permitirán explorar un mayor rango de intensidades de cultivos con mayor porcentaje de gramíneas (hasta 100%).

También se han comparado secuencias agrícolas con pasturas, bajo el supuesto que las rotaciones agrícola-ganaderas permiten elevar el nivel de materia orgánica del suelo durante la fase de pastura, debido al mayor aporte de residuos. Algunos trabajos muestran los cambios en el contenido de carbono del suelo en rotaciones agrícolas-ganaderas, observándose mayores cambios de las fracciones lábiles de la materia orgánica (carbono liviano y particulado) durante el período de pastura (Casanovas *et al.*, 1995; Studdert *et al.*, 1997; Galantini, 2005). En el sudeste bonaerense, para una secuencia de 9 años, Eiza *et al.* (2005) hallaron mejoras en los contenidos de carbono orgánico total y particulado por la inclusión de rotaciones cortas (3 años) de agricultura y pastura. Estas mejoras, fueron similares a las logradas con otros manejos, como siembra directa y fertilización nitrogenada. En Uruguay, en un ensayo de rotaciones de cultivos-pasturas de 40 años, Morón (2003)

observó diferencias de más del 1 % en el C orgánico entre los tratamientos extremos (agricultura continua vs. rotación: 50 % tiempo bajo pastura y 50 % bajo cultivos).

En Argentina existen investigaciones, a distintas escalas y usando distintos indicadores, que muestran el impacto de la agricultura en la calidad del suelo. A nivel regional, Michelena *et al.* (1989) hallaron una disminución de la calidad del suelo por la agricultura. El carbono orgánico, el nitrógeno total, el fósforo extractable, el pH, la estabilidad de los agregados y la tasa de infiltración fueron los parámetros evaluados que sufrieron las mayores variaciones. Campitelli *et al.* (2010), en un trabajo realizado en la zona central de Córdoba, observaron que los indicadores más sensibles y sencillos de medir para evaluar calidad de suelos están relacionados a la fertilidad de los mismos: materia orgánica (carbono orgánico total y sus fracciones), nitrógeno total (NT), fósforo extractable (PE), y a la susceptibilidad a la erosión: cambio en el diámetro medio ponderado de agregados, profundidad del CO₃Ca y espesor del horizonte superficial. Hallaron una disminución del C y sus fracciones, macronutrientes (NT y PE) y el aumento en la susceptibilidad a la erosión hídrica a medida que se prolongan los años de agricultura y se incrementan las prácticas tales como monocultivo de soja y siembra convencional, evidenciando el deterioro de la calidad del suelo en relación a los sitios bajo bosque nativo que son los que presentaron el máximo potencial.

En relación a estos temas, el objetivo de la Chacra Pergamino es **detectar los cambios en propiedades químicas de “salud del suelo”** entre situaciones con niveles de intensificación contrastantes.

METODOLOGÍA

Los muestreos de indicadores químicos de suelo se realizaron en junio 2018, en 5 unidades de muestreo (UM) en cada rotación y establecimiento. Las UM fueron georreferenciadas en 2015, y se ubicaron en zonas representativas de cada rotación. En los inviernos 2012 y 2015, también se realizaron algunas determinaciones químicas, en las mismas UM, las cuales se utilizaron para observar la evolución en el tiempo de ciertos indicadores.

Determinaciones

a) Carbono total

En cada unidad de muestreo se extrajo una muestra compuesta de suelo (integrada por diez repeticiones) en dos profundidades: 0-5 cm y 0-20 cm (Figura 2.4.1). En ambas profundidades se midió el contenido de carbono del suelo (%COS; Walkley y Black, 1934). A partir del mismo se estimó la materia orgánica del suelo (%MO= %COS/0,58). A su vez, los contenidos de carbono fueron expresados en stock (Stock COS) para una masa equivalente de suelo, anulando de esta forma el efecto de variaciones en DAP (Irizar, 2010). Para ello, primero se identificó la DAP mínima obtenida en cada establecimiento en todos los muestreos (2012, 2015 y 2018) y se calculó la masa de suelo a 0-20 cm correspondiente a esa DAP. En la Tabla 2.4.1 se muestran las DAP mínimas y masas equivalentes.



Figura 2.4.1. Muestreo de materia orgánica y nutrientes a dos profundidades (0-5 cm y 0-20 cm).

Tabla 2.4.1. Densidad aparente mínima (DAP Min en gr/cm³) y Masa de suelo Equivalente (ME Min en tn/ha) para cada establecimiento.

Establecimiento	DAP Min (gr/cm ³)	ME Min (tn/ha)
LMs	1,12	2.245
SN	1,17	2.350
LMe	1,25	2.503

Para continuar con el cálculo de stock a masa de suelo equivalente, se estimó para cada tratamiento (rotación, establecimiento, en los 3 años) la masa de suelo a 0-20cm (MS 0-20 cm = DAP x 0,2 m x 10.000). Como esta masa es mayor a la masa equivalente mínima, se le restó la ME Min (MS 0-20 cm - ME Min = Dif MS). Luego se calculó la diferencia de C con la siguiente ecuación:

$$\text{Dif. C} = (\text{Dif MS} \times \text{Stock C 5-20 cm}) / \text{Masa 5-20 cm}$$

por último, se le resto esta diferencia de C al Stock de C de suelo 5-20 cm con la siguiente ecuación:

$$\text{Stock COS ME 0-20 cm} = \text{Stock 0-5 cm} + (\text{Stock 5-20 cm} - \text{Dif. C 5-20 cm})$$

En la Tabla 2.4.2 se muestra como ejemplo un tratamiento de Las Materas y abajo los cálculos realizados.

Tabla 2.4.2. Ejemplo de cálculo de Stock a Masa Equivalente en un tratamiento de Las Matreras (ME Min 2.245 tn/ha).

Profundidad (cm)	Espesor (cm)	DAP (gr/cm ³)	Masa Suelo (tn/ha)	%COS (%)	Stock COS (tn/ha)	Stock COS a ME (tn/ha)
0-5	5	1,23	616	3,06	18,9	
5-20	15	1,41	2.109	1,76	37,0	
0-20	20	1,36	2.725	1,89	55,9	47,5

$$\text{Dif. MS} = \text{MS 0-20 cm} - \text{ME Min}$$

$$\text{Dif. MS} = 2.725 - 2.245 = 480,1$$

$$\text{Dif. C} = (\text{Dif MS} \times \text{Stock C 5-20 cm}) / \text{Masa 5-20 cm}$$

$$\text{Dif. C} = (480,1 \times 37,0) / 2.109 = 8,4$$

$$\text{Stock COS ME 0-20 cm} = \text{Stock 0-5 cm} + (\text{Stock 5-20 cm} - \text{Dif. C 5-20 cm})$$

$$\text{Stock COS ME 0-20cm} = 18,9 + (37,0 - 8,4) = 47,5$$

b) Carbono orgánico particulado

El carbono orgánico particulado (%COP) se determinó en muestras de suelo a 0-5 cm de profundidad. El mismo se determinó mediante la metodología propuesta por Cambardella y Elliot (1992).

c) Fósforo

El fósforo (P) se determinó en muestras de suelo de 0-20 cm de profundidad. Se utilizó la metodología de Bray y Kurtz Nº1.

d) Nitrógeno, Azufre y pH

En las mediciones de 2012, en las muestras de 0-20cm de profundidad, se determinó el nitrógeno total (Nt en %, Kjeldahl) y el azufre (S-SO₄ en ppm, Turbidimetría) en todos los establecimientos y rotaciones. En las mediciones de 2015 se determinó el pH del suelo (agua 1:2.5, potenciométrico).

Análisis de datos

Se obtuvieron los valores promedios y percentiles 25 y 75 % para utilizar gráficos de cajas y bigotes para cada indicador en cada profundidad, tratamiento y establecimiento (INFOSTAT, 2003). Para COS (stock) 0-20 cm se graficó la evolución en el tiempo, desde 2012 a 2018, estableciendo regresiones lineales. También se establecieron relaciones funcionales, a través de análisis de regresión lineal simple, entre algunos indicadores químicos, y entre indicadores edáficos y de producción (IIR, % gramíneas, aporte de C, rastrojo, etc).

RESULTADOS

Materia Orgánica

Luego de 6 años de ensayo, hubo cambios tanto en la materia orgánica del suelo a 0-5 cm (Figura 2.4.2) como a 0-20 cm (Figura 2.4.3) de profundidad. En el estrato superficial, la MO fue elevada en las rotaciones con alta proporción de gramíneas (cajas azules), seguramente por el mayor aporte de rastrojo y de alta relación C/N. Las rotaciones con pastura (cajas negras) también tuvieron altos niveles de MO, en especial en LMs y SN, explicado por el alto aporte de carbono por parte de las raíces durante el ciclo de la pastura. En SN se destaca también la rotación con vicia de cobertura (caja verde), con valores similares a la rotación con gramíneas y pastura.

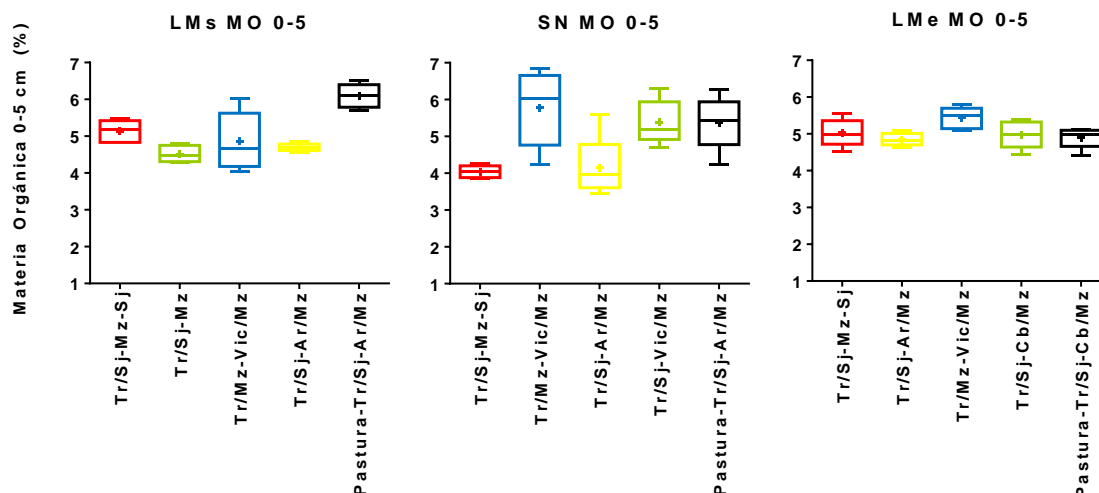


Figura 2.4.2. Materia Orgánica (%) a 0-5 cm de profundidad en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las cruces muestran los promedios, las cajas el 25 y 75 % de los datos y los bigotes los datos mínimos y máximos. Las rotaciones están ordenadas de izquierda a derecha en orden creciente de IIR.

A 0-20 cm de profundidad se observa mejor un ordenamiento de las rotaciones en orden creciente de IIR y MO, en especial el LMs y SN. De los tres establecimientos, SN muestra la mayor variabilidad en MO entre rotación y el mejor ordenamiento por intensificación. En LMe ocurrieron los menores cambios en MO entre rotaciones y con la menor variabilidad dentro de cada rotación, tanto a 0-20 cm como a 0-5 cm.

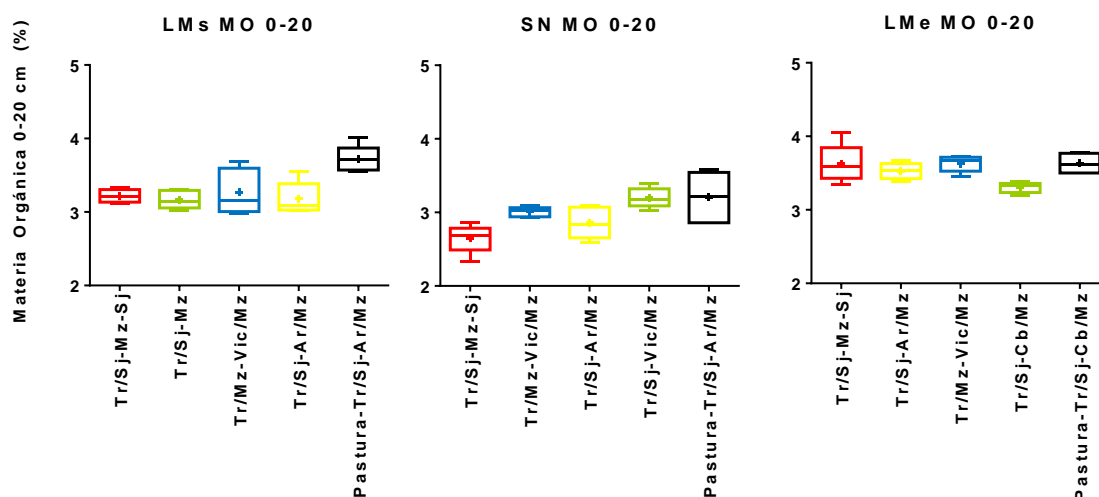


Figura 2.4.3. Materia Orgánica (%) a 0-20 cm de profundidad en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las cruces muestran los promedios, las cajas el 25 y 75 % de los datos y los bigotes los datos mínimos y máximos. Las rotaciones están ordenadas de izquierda a derecha en orden creciente de IIR.

Al asociar los valores de MO de cada rotación con el nivel de intensificación que tuvo en los 6 años, se observa una asociación positiva para ambas profundidades de MO (Figura 2.4.4). De manera que la mayor intensificación, debido a los mayores aportes de rastrojo por realizar más cultivos, generó aumentos en la MO del suelo. Los ajustes son relativamente bajos en la regresión general (0,28 para 0-5 cm y 0,21 para 0-20 cm) pero mejoran al hacer las regresiones por establecimiento: 0,77-0,35-0,05 para 0-5 cm (LMs-SN-LMe) y 0,91-0,77-0,01 para 0-20 cm (LMs-SN-LMe). Sin embargo, en ambas

profundidades, al comparar las pendientes entre establecimientos, las mismas no son diferentes significativamente (en 0-5 cm $p=0,31$ y en 0-20 cm $p=0,13$). En LMe se observan los niveles más altos de MO y con muy poca variación asociada a la intensificación.

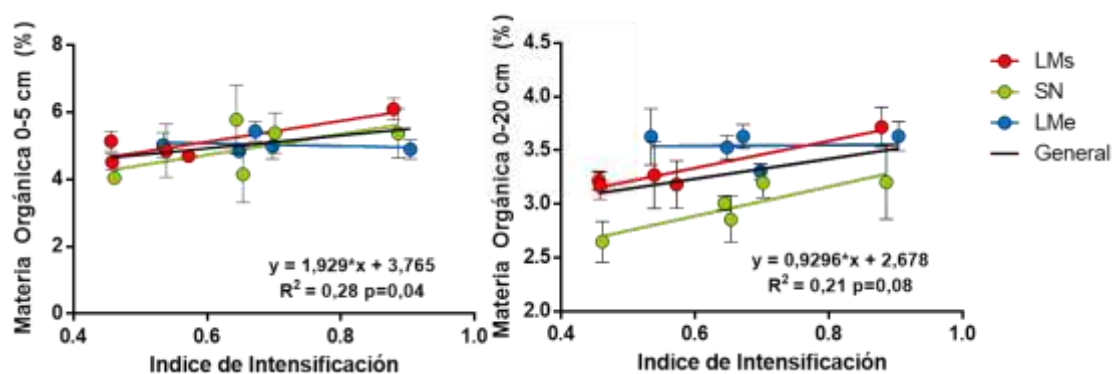


Figura 2.4.4. Relación de la Materia Orgánica (%) a 0-5 cm (izquierda) y 0-20 cm (derecha) con el índice de intensificación incluyendo todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Se incluye la regresión general (línea negra y ecuación) y la individual de cada establecimiento en colores.

Stock de Carbono

El stock de C a 0-20 cm varió de 45 a 54 tn ha^{-1} en LMs, de 38 a 46 tn ha^{-1} en SN y fue muy estable con valores alrededor de 50 tn ha^{-1} en LMe (Figura 2.4.5). Las pasturas en LMs y SN tuvieron 8 y 4 tn ha^{-1} más de C, respectivamente, que el promedio de las otras rotaciones de menor intensidad. Sin embargo en SN, el valor de C de la pastura fue igualado con la rotación con vicia (caja verde).

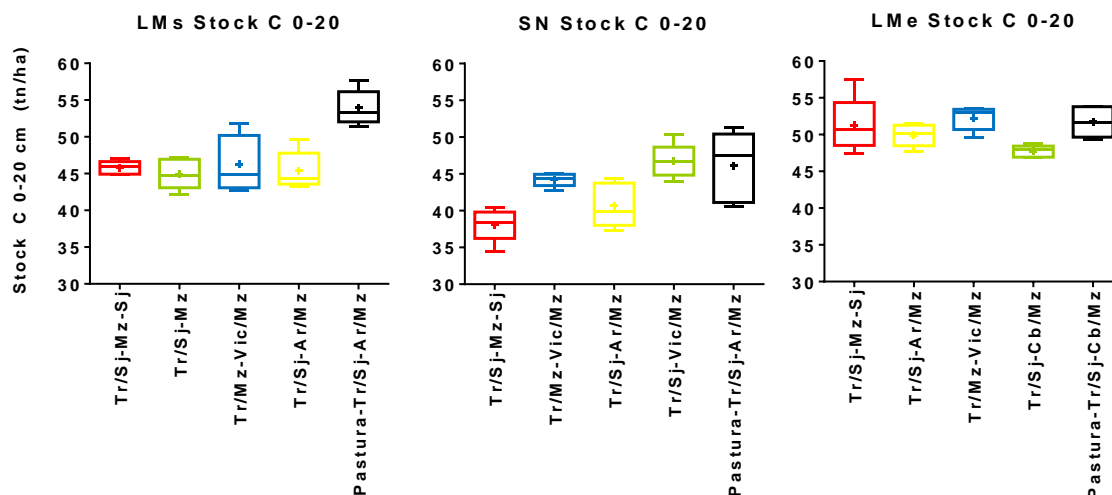


Figura 2.4.5. Stock C (tn ha^{-1}) a 0-20 cm de profundidad en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Valores expresados en masa equivalente. Las cruces muestran los promedios, las cajas el 25 y 75 % de los datos y los bigotes los datos mínimos y máximos. Las rotaciones están ordenadas de izquierda a derecha en orden creciente de IIR.

La relación entre el stock de C y el IIR fue positiva en la regresión general y por establecimiento (Figura 2.4.6). Sin embargo, las pendientes entre establecimientos no fueron diferentes significativamente ($p=0,15$). Sí fue diferente entre establecimientos la ordenada en origen ($p=0,001$), mostrando diferencias en los niveles de C del suelo. En LMe casi no hubo diferencias en stock de C entre rotaciones, lo que hizo que el ajuste de la regresión sea muy bajo y la pendiente no significativa.

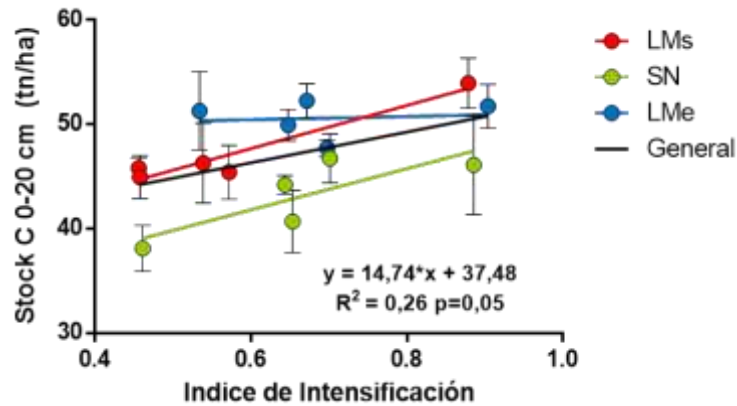


Figura 2.4.6. Relación del Stock C (tn ha^{-1}) con el índice de intensificación incluyendo todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Los valores de stock están expresados en masa equivalente. Se incluye la regresión general (línea negra y ecuación) y la individual de cada establecimiento en colores.

Evolución del Carbono

Al tener tres mediciones de C durante los 6 años de ensayo (2012, 2015 y 2018), fue posible graficar la evolución del stock de C en el tiempo. Se dieron situaciones donde en la rotación no varió el nivel de C en el tiempo, pero también de aumentos o disminuciones (Figura 2.4.7). En los tres establecimientos las pasturas aumentaron el C del suelo, con pendientes de 1,07; 0,56 y 0,60 para LMs, SN y LMe, respectivamente. La rotación testigo (líneas rojas) mantuvieron (SN y LMe) o redujo su nivel de C (LMs), seguramente que el aporte de C de esa rotación no sea lo suficientemente alto para generar ganancias de C en el suelo. Las dos rotaciones con más historia de vicia (Tr/Sj-Vic/Mz en SN y Tr/Mz-Vic/Mz en LMe), llamativamente tuvieron las máximas pendientes de aumento de C (1,70 en SN y 0,97 en LMe). Estos valores resultan muy elevados, pero el efecto acumulativo de 3 vicias en 6 años, el alto aporte de C y N orgánico de esta leguminosa, las mejoras en rendimiento de los otros cultivos en esas rotaciones (en especial maíz y trigo), podrían ser algunas de las posibles causas. Sin embargo, será fundamental seguir estudiando estas respuestas y validarlas con nuevos ensayos para concluir al respecto.

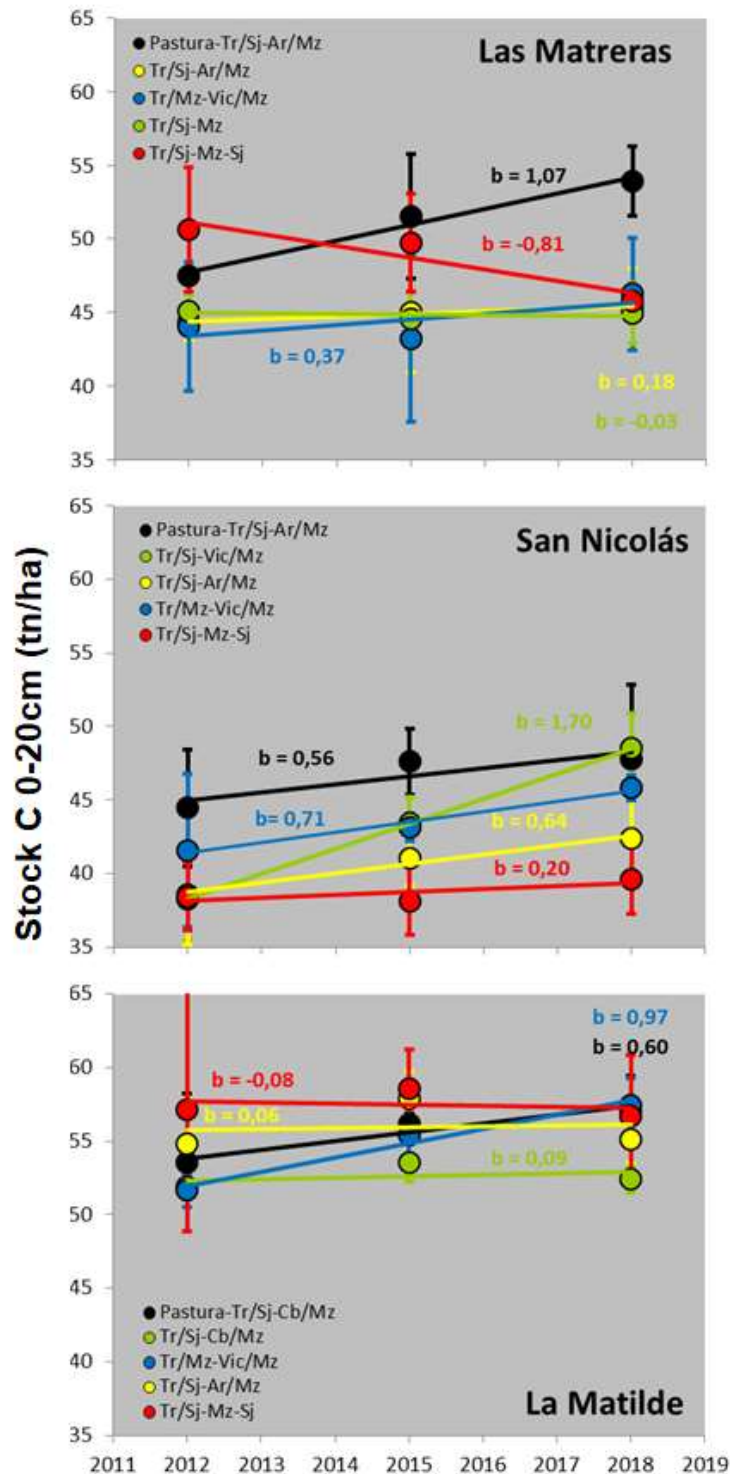


Figura 2.4.7. Evolución del Stock C (tn ha^{-1}) desde el inicio del ensayo (2012 a 2018) en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Se incluyen los desvíos estándar de cada punto y las pendientes (b) de cada regresión.

La evolución del stock de C se contrastó con la evolución simulada del C del suelo, realizada con AMG (ver detalle metodológico en Capítulo 2.1). En general, el modelo siguió bien la evolución de las mediciones de C. En la Figura 2.4.8 se muestran como ejemplos las rotaciones típicas (Tr/Sj-Mz-Sj) y las de pastura, para los tres establecimientos. Para todas las rotaciones y los momentos de muestreo del C (2012, 2015 y 2018) se graficó el valor observado y el simulado (Figura 2.4.9). Casi todos los puntos están cercanos a la relación 1:1, aunque en general se observan por encima, indicando una

leve sub-estimación del modelo. Esta proximidad a la relación 1:1 muestra que el modelo refleja bien las observaciones a campo y que fue correcta su validación. De todos modos, algunos puntos se alejan un poco más de la relación.

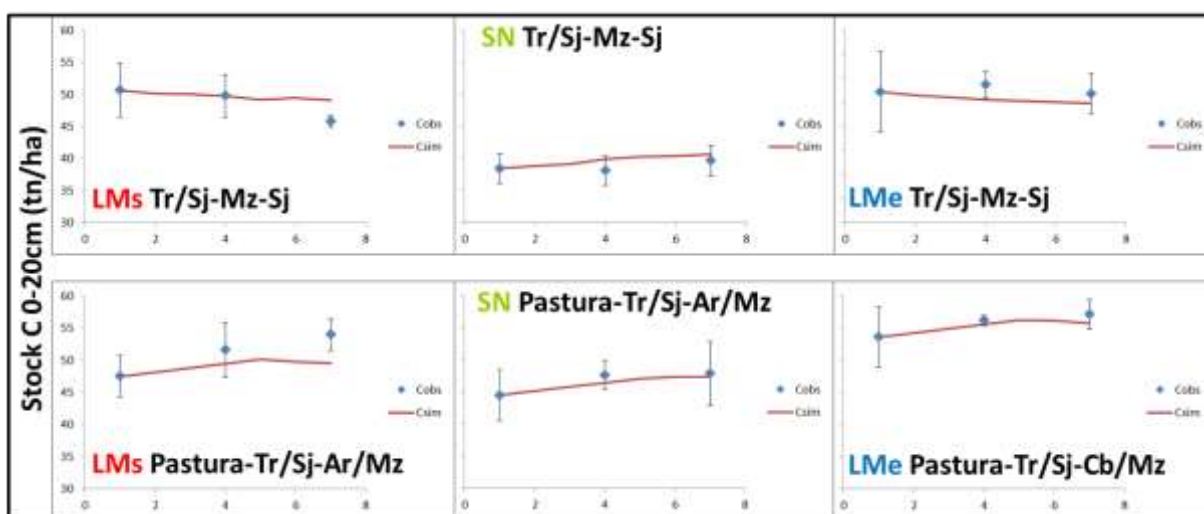


Figura 2.4.8. Evolución del Stock C (tn ha^{-1}) simulado (líneas, Csim) y observado (rombos, Cobs) desde el inicio del ensayo (2012 a 2018) en rotaciones testigo (Tr/Sj-Mz-Sj) y con pastura (Pastura-Agricultura) en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Se incluyen los desvíos estándar de cada valor observado.

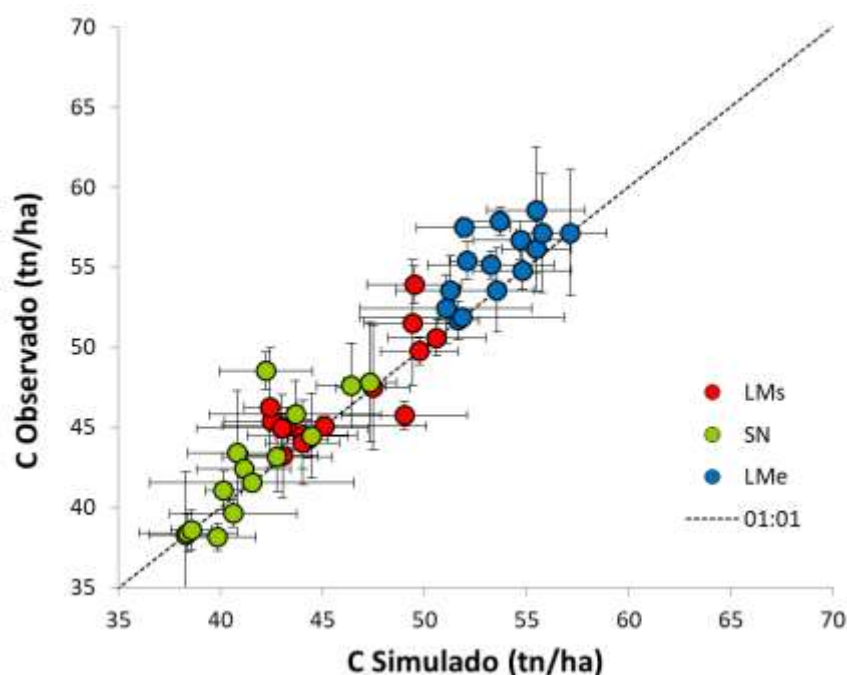


Figura 2.4.9. Stock C (tn ha^{-1}) simulado con AMG (eje x) y observado con mediciones a campo (eje y) en 2012, 2015 y 2018 en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las barras de error muestran los desvíos estándar de los valores observados y el RMSE (%) del modelo de los valores simulados.

El desvío del modelo respecto de lo observado se puede cuantificar a través del RMSE (%). El valor de RMSE (%) promedio de todos los puntos fue de $3,96 \pm 2 \%$, ubicándose por debajo de 5% que se

considera como límite para que la validación del modelo sea aceptable. En las rotaciones de la Chacra Pergamino, los valores de RMSE fueron mayormente menores al 5%, obteniendo en general buenas simulaciones (Tabla 2.4.3). Hubo dos excepciones, que son las rotaciones con mayor proporción de vicia: Tr/Sj-Vic/Mz de SN y Tr/Mz-Vic/Mz de LMe, donde los valores de RMSE fueron de 9,0 y 6,8%, respectivamente. El menor ajuste del modelo en estas rotaciones podría estar indicando una dificultad para simular el aporte de C de las coberturas. Por lo que será necesario realizar más contrastes en rotaciones con alta proporción de coberturas, en especial de leguminosas que además de aportar C, están aportando N.

Tabla 2.4.3. Valores de RMSE (%) del modelo AMG en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino.

Est.	Rotación	RMSE (%)
LMs	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	5,55
LMs	Tr/Sj-Ar/Mz	4,33
LMs	Tr/Mz-Vic/Mz	4,94
LMs	Tr/Sj-Mz	2,54
LMs	Tr/Sj-Mz-Sj	3,84
SN	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	1,58
SN	Tr/Sj-Vic/Mz	9,00
SN	Tr/Sj-Ar/Mz	2,13
SN	Tr/Mz-Vic/Mz	2,81
SN	Tr/Sj-Mz-Sj	3,03
LMe	Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	1,56
LMe	Tr/Sj-Cb/Mz	2,91
LMe	Tr/Mz-Vic/Mz	6,79
LMe	Tr/Sj-Ar/Mz	4,71
LMe	Tr/Sj-Mz-Sj	3,71

Carbono Orgánico Particulado

El COP presentó variaciones entre rotaciones en los tres establecimientos pero sin un patrón claro de cambio (Figura 2.4.10). En general, las rotaciones con vicia (cajas azules en LMs, SN y LMe y caja verde en SN) mostraron altos valores de COP y mayor variabilidad (cajas más grandes). Al asociar el COP con el IIR, no hubo un efecto claro de la intensificación sobre este indicador (Figura 2.4.11). Los ajustes de las regresiones fueron bajos en SN (0,03), LMe (0,06) y en la regresión general (0,07). Solo hubo un ajuste lineal positivo significativo ($p < 0,01$ y $R^2 = 0,88$) en LMs. Estos resultados son contradictorios con los hallados en 2015 en este mismo ensayo, donde los aumentos del COP estuvieron explicados por aumentos en la intensificación en los tres establecimientos. Esta discrepancia nos muestra la variabilidad de este indicador y la dificultad para ser utilizado como indicador de salud del suelo.

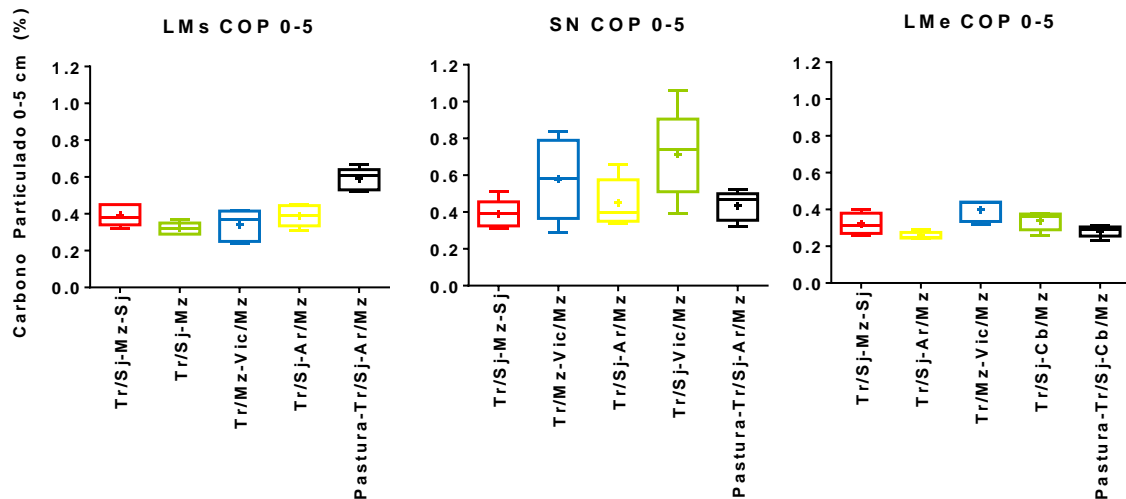


Figura 2.4.10. Carbono Orgánico Particulado (%) a 0-5 cm de profundidad en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las cruces muestran los promedios, las cajas el 25 y 75 % de los datos y los bigotes los datos mínimos y máximos. Las rotaciones están ordenadas de izquierda a derecha en orden creciente de IIR.

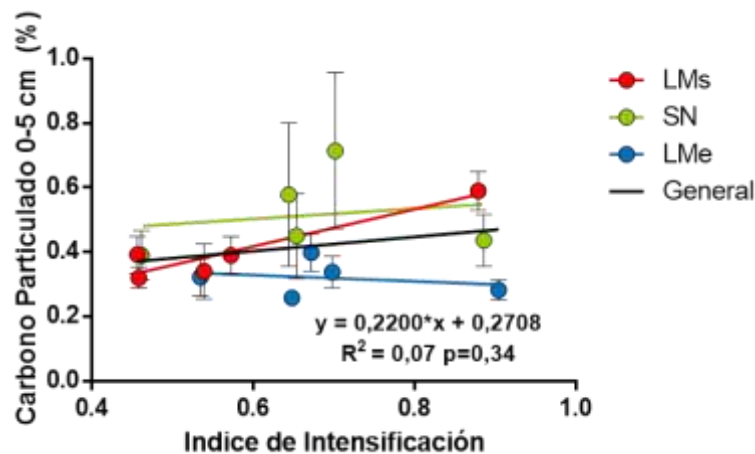


Figura 2.4.11. Relación del Carbono Orgánico Particulado a 0-5 cm (%) con el índice de intensificación incluyendo todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Se incluye la regresión general (línea negra y ecuación) y la individual de cada establecimiento en colores.

Fósforo

El fósforo del suelo fue diferente entre rotaciones y establecimientos (Figura 2.4.12). Los valores reflejan principalmente las diferencias en fertilización fosforada asociada a los distintos cultivos de las rotaciones y diferentes manejos históricos del P entre campos. En los tres establecimientos, las rotaciones con alta proporción de gramíneas (cajas azules) tuvieron más P, debido a que las gramíneas se suelen fertilizar más con P que las leguminosas. Por este motivo, al asociar el nivel de P con el porcentaje de gramíneas de la rotación, la relación es positiva con un buen ajuste aceptable para los tres establecimientos (Figura 2.4.13). En LMs y SN las rotaciones con pastura (cajas negras) también tendieron a tener más P, asociado a que todos los años las pasturas se fertilizaron y la extracción de P es menor. En LMe la rotación testigo (caja roja) tuvo alto P, seguramente porque inicialmente esa rotación tenía sorgo de primera y los niveles de P que se aplicaron fueron altos.

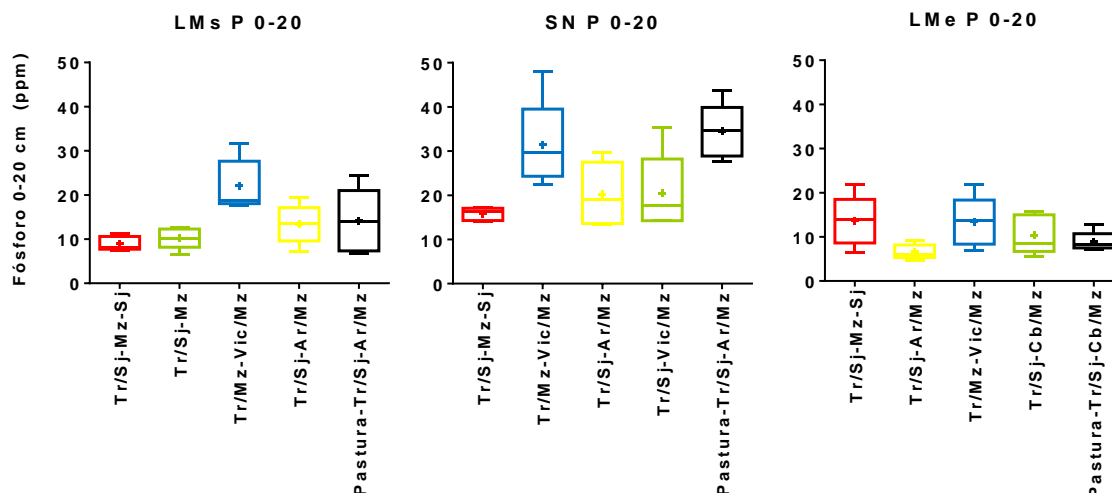


Figura 2.4.12. Fósforo (ppm) a 0-20 cm de profundidad en todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Las cruces muestran los promedios, las cajas el 25 y 75 % de los datos y los bigotes los datos mínimos y máximos. Las rotaciones están ordenadas de izquierda a derecha en orden creciente de IIR.

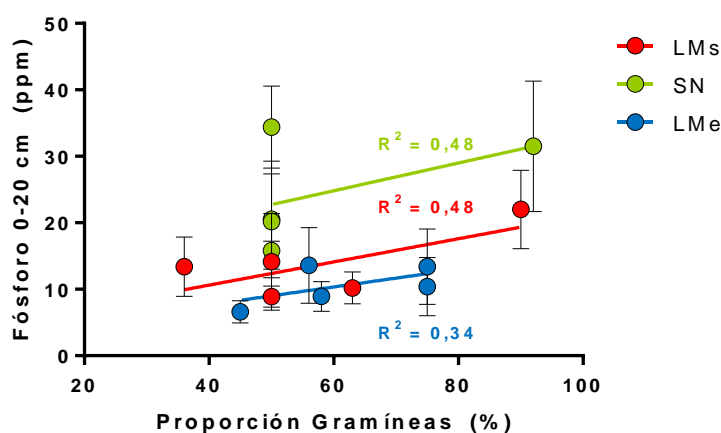


Figura 2.4.13. Relación del Fósforo a 0-20 cm (ppm) con la proporción de gramíneas de la rotación (%) incluyendo todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Se incluyen las regresiones de cada establecimiento con los R^2 en colores.

Como hubo muchas diferencias en la fertilización fosforada entre rotaciones, se asoció el fósforo del suelo con el P total aplicado por fertilización durante los 6 años de ensayo (Figura 2.4.14). Las relaciones fueron positivas con muy buen ajuste en LMs y SN. En LMe, los niveles de P aplicados fueron mayores, especialmente en dos de las rotaciones (dos puntos de la derecha). Sin embargo, a pesar de haberse fertilizado más durante el ensayo, los niveles bajos de P del suelo reflejan un menor historial de fertilizaciones fosforadas, seguramente previo al ensayo.

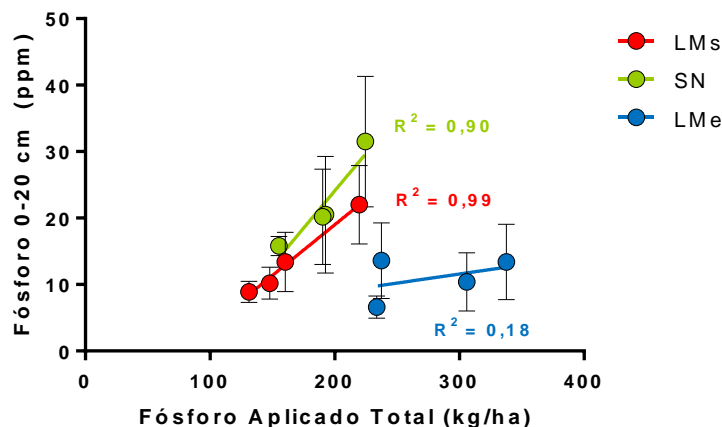


Figura 2.4.14. Relación del Fósforo a 0-20 cm (ppm) con el Fósforo aplicado en el total de la rotación (kg/ha) incluyendo todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe) de la Chacra Pergamino. Se incluyen las regresiones de cada establecimiento con los R^2 en colores.

Nitrógeno, Azufre y pH

Estos indicadores químicos sólo se midieron un año y al no presentar demasiada variabilidad, no se volvieron a repetir los análisis en las campañas siguientes. En nitrógeno total fuer en promedio de 1,78 % para LMs, 1,34 % para SN y 1,65 % para LMe. Existió muy poca variación entre rotaciones y UM. Los desvíos estándar fueron de 0,12 % para LMs y de 0,10 % para SN y LMe.

Los valores de azufre también fueron estables entre tratamientos, con promedios de 7,6 ppm para LMs y LMe, y de 7,1 ppm para SN. Los desvíos estándar fueron de 0,88 ppm para LMs, 2,11 ppm para SN y 0,93 ppm para LMe. El pH de suelo fue cercano a 6 en los tres establecimientos, con promedios de 5,92 ($\pm 0,16$) en LMs, 5,78 ($\pm 0,22$) en SN y 6,14 ($\pm 0,11$) en LMe.

CONCLUSIONES

- ✓ De las variables químicas evaluadas, la **materia orgánica** y el **stock de C (0-20 cm)** respondieron positivamente a la intensificación. Existieron diferencias entre establecimientos en la respuesta
- ✓ En 6 años, las **rotaciones más intensivas** tendieron a aumentar el C del suelo, en especial en suelos más frágiles (SN).
- ✓ La inclusión de **vicia de cobertura** en alta proporción (1 vicia cada 2 años) generó los mayores incrementos de C (tasas de 1,70 y 0,97 tn/ha).
- ✓ El **modelo de balance de C utilizado simuló bien la evolución del stock de C** en el suelo (RSME < 5%), salvo en las rotaciones con alta proporción de vicia.
- ✓ El **Carbono Orgánico Particulado** en 2018 no respondió a la intensificación como había ocurrido en 2015.
- ✓ Los cambios en **Fósforo** entre rotaciones estuvieron asociados al manejo de la fertilización fosforada (P aplicado) y al balance de P, más que a la intensificación.

- ✓ El **Nitrógeno Total**, el **Azufre** y **pH** del suelo no fueron indicadores edáficos sensibles a los cambios en intensidad y diversidad de las rotaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R. y H.S. Steinbach. 2006. Valor agronómico de la materia orgánica. En: *Materia Orgánica - Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos* (Ed. R Álvarez) pp 13-29 (EFA).
- Andriulo, A.; G. Cordone, C. Sasal, M. Bueno y F. Rimatori. 2001 Evolución del contenido de materia orgánica en el suelo bajo agricultura continua: análisis y modelización. *Rev. de Tec. Agrop.* INTA Pergamino. Mayo/Agosto 2001: 21-25.
- Cambardella, C.A. y E.T. Elliot. 1992. Particulate soil organic-matter changes across agrass land cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Campitelli, P.; A. Aoki; O. Gudelj; A. Rubenacker y R. Sereno. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del Suelo* 28(2): 223-231.
- Casanovas, E.M.; H.E. Echeverría y G.A. Studdert. 1995. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. I Contenido total y de distintas fracciones. *Ciencia del Suelo* 13: 16-20.
- Eiza, M.J.; N. Fioriti; G.A. Studdert y H.E. Echeverría. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo* 23 (1): 59-67.
- Galantini, J. 2005. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. *Actas Jornadas de Materia Orgánica y Sustancias Húmicas (Argentina)*.
- INFOSTAT 3.0. 2003. InfoStat versión estudiantil (registro de software 960318). Autores: Di Rienzo JA, Robledo CW, Balzarini MG, Casanovas F, Gonzalez L, Tablada M. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Irizar, A. 2010. Cambios en las reservas de materia orgánica del suelo y sus fracciones granulométricas: efecto de la secuencia de cultivo, del sistema de labranza y de la fertilización nitrogenada. Tesis para optar por el grado de Magister. FAUBA. Universidad de Bs. As. 63pp.
- Irizar, A.; L.A. Milesi Delaye y A.E. Andriulo. 2015. Projection of Soil Organic Carbon Reserves in the Argentine Rolling Pampa Under Different Agronomic Scenarios. Relationship of these Reserves with Some Soil Properties. *The Open Agriculture Journal* 9, 30-41.
- Michelena, R.O.; C.B. Irurtia; F.A. Vavruska; R. Mon y A. Pittaluga. 1989. Degradación de suelos en el Norte de la Región Pampeana. *Publ. Tec.* 6. INTA. Centros Regionales de Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fé. Proyecto de Agricultura Conservacionista.
- Morón, A. 2003. Efecto de las rotaciones cultivos-pasturas sobre la fertilidad de los suelos en ensayos de larga duración en INIA La Estanzuela (1963-2003). *Inf. Agron.* 20: 1-6.
- Studdert, G.A. y H.E. Echeverría. 2000. Crop rotation and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- Studdert, G.A.; H.E. Echeverría and E.M. Casanovas. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Sci. Am. J.* 61: 1466-1472.
- Vázquez, M.E.; L.A. Berasategui, E.R. Chamorro, L.A. Taquín y L.A. Barberis. 1990. Evolución de la estabilidad estructural y diferentes propiedades químicas según el uso de los suelos en tres áreas de la Pradera Pampeana. *Ciencia del Suelo* 8 (2): 203-210.
- Walkley, A. and I. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 34: 29-38.

CAPÍTULO 2.5

SISTEMAS INTENSIFICADOS: EFECTO SOBRE INDICADORES BIOLÓGICOS DE SUELO

L. Wall y C. Bedano

INTRODUCCION

¿Qué son los indicadores biológicos?

Cuando nos referimos a “Indicadores Biológicos” en un estudio de suelos, nos referimos, en principio a aquellas variables que pueden ser medidas en forma cuantitativa y cuya génesis surge de la biología del suelo. Es decir, los indicadores biológicos son propiedades mensurables de la misma biología que se desarrolla en el suelo.

La medición cuantitativa puede ser del tipo ausencia o presencia, abundancia o diversidad de un grupo de organismos, hasta llegar a la posibilidad de obtener una curva dosis-respuesta.

En una primera aproximación, podemos considerar a los indicadores biológicos como un conjunto nuevo de herramientas para monitorear la calidad o salud de suelo. En el valor del indicador se busca reflejar una característica que se considera deseada para un determinado fin u objetivo.

El objetivo perseguido en la calidad del suelo puede ser la búsqueda de una mayor productividad agrícola, a veces nombrada como fertilidad del suelo y directamente relacionada con la producción de un bien o servicio para el hombre como alimento, fibra, biocombustible, material de construcción, etc., considerados actualmente por la ecología como parte de los servicios ecosistémicos del suelo.

Otra lectura o significado del objetivo buscado puede ser el de una mayor y mejor funcionalidad biológica de ese suelo, también en términos de servicios ecosistémicos, pero ya no de exclusiva utilidad para la vida del hombre sino para el resto de las especies que habitan el planeta, como son la mejora de la calidad del aire, del agua y del reciclado de la materia.

Estos dos objetivos parecen ser diferentes e independientes entre sí o simplemente aplicables a uno u otro caso según el modelo de uso o manejo que se le da al suelo. Sin embargo, la biología del suelo existe en cualquier caso de uso o manejo.

¿Por qué razón la biología del suelo no ha sido considerada parte sustancial del proceso agrícola?

En líneas generales podríamos decir, con una mirada histórica, que desde las diferentes revoluciones agrícolas que buscaron una mayor eficiencia en la producción de alimentos y en la calidad de los mismos, la biología del suelo no fue considerada parte del proceso agrícola.

Este modelo histórico que llega al presente con una colección de mejoras y tecnologías de insumos que se han incorporado al proceso agrícola para su mejora, depende del modelo con el que se interpreta o comprende el sistema suelo como un todo. El modelo histórico y actual de la agricultura se ha desarrollado sobre la base de una concepción fundamentalmente química y física del suelo.

A este modelo del suelo se superpone la manera de entender la fisiología vegetal en base a una nutrición que depende fundamentalmente de los procesos de absorción de nutrientes inorgánicos, presentes en la solución del suelo, a través de sus raíces y la posterior asimilación de los mismos para la síntesis de biomasa. Esta visión de la fisiología vegetal no ha cambiado mucho desde sus desarrollos a mediados del siglo XX a partir de estudios del desarrollo de plantas en sistemas hidropónicos para poder estudiar la fisiología vegetal en condiciones controladas.

La consecuencia de este paradigma de comprensión de la agricultura ha derivado, históricamente, en el desarrollo de una serie de insumos que mejoran la productividad de los cultivos, los insumos de fertilizantes inorgánicos, las técnicas de labranza, los procesos de mejoramiento vegetal y el desarrollo de productos químicos para el control de enfermedades, plagas y malezas.

En este modelo, la biología del suelo queda reducida a una mínima expresión abstracta donde la microbiología del suelo es responsable de la descomposición y transformación de la materia orgánica donde el proceso más importante, en términos agrícolas, sería la mineralización que hace aparecer elementos nutrientes en la solución del suelo. La materia orgánica del suelo es reconocida como una de sus variables más valiosas en términos de fertilidad y calidad de suelo y en la interpretación actual de la materia orgánica, el C de la biomasa microbiana es considerada menos al 5% de la materia orgánica total. En el resto es considerada materia orgánica como un componente químico del suelo, no biológico.

Cuando hoy analizamos la biología que habita los suelos vemos que la gran mayoría de la diversidad biológica corresponde a grupos de microorganismos u organismos muy pequeños, es decir, una biología que no se ve y lo que no se ve es difícil de considerar como componente del sistema.

¿De qué hablamos cuando hablamos de biología de suelos?

La biología del suelo es un concepto que refiere a la totalidad de organismos vivos que habitan en el suelo y que, de alguna manera, construyen el mismo suelo en la medida que no solo ocupan nichos, sino que los construyen a partir de los componentes minerales y orgánicos del suelo. La agregación de las partículas del suelo es consecuencia de esta actividad biológica, no es producto de un azar fisicoquímico. De alguna manera la estructura física del suelo es consecuencia de la biología que contiene.

En el suelo se pueden describir prácticamente la totalidad de niveles taxonómicos conocidos en el árbol evolutivo de la vida, desde virus (agentes a base de ácidos nucleicos que no tienen vida propia sino que viven en las células que infectan), procariotes (organismos unicelulares de células sin núcleo) que comprenden a los dominios de las bacterias y las arqueas y la diversidad de grupos o taxones eucariotes (organismos uni o pluricelulares formados por células con núcleo) que comprende a los protistas (protozoos y algas), hongos, plantas y animales (estos también clasificados en forma muy amplia en mesofauna y macrofauna tomando el tamaño de 2 mm como el límite por encima o por debajo del cual el organismo pertenece a uno u otro grupo).

En un suelo prístino, antes de ser cultivado, existe toda esa biología. En un suelo cultivado tradicionalmente (tecnologías de labranza y secano, uso de insumos químicos) esa biología cambia radicalmente, pero una gran parte persiste en dicho suelo o cambia su diversidad y composición. En un suelo cultivado con métodos conservacionistas esa misma biología puede persistir en su diversidad y funcionamiento casi en forma completa. Lo curioso en este punto es que aun hoy en día, independientemente del manejo que se aplique, la biología del suelo no se monitorea ni se considera parte del proceso productivo.

Para tener una idea de la densidad de estos grupos biológicos podemos señalar a modo de ejemplo que en un gramo de suelo (promedio) viven unos 10 mil millones de procariotes (bacterias y arqueas) que catalizan todos los procesos de transformación de la materia y se estima que en ese mismo gramo de suelo hay unos 200 metros de filamentos de hongos. Además de esa enorme densidad de organismos, existe una enorme diversidad de los mismos, se estima que debe haber una diversidad de cerca de 1 millón de tipos diferentes de organismos (Bardgett & Van Der Putten, 2014).

La biología del suelo y la biología en general está transitando un punto de inflexión conceptual acerca del significado de la biología y los sistemas a partir del descubrimiento de la microbiología no cultivable que habita absolutamente todos los ambientes imaginables del planeta y que se estima que constituye entre un 90 y un 99 % de la microbiología existente, de la cual solo conocíamos por su estudio en el laboratorio un 1 a 10 % del total. Los microorganismos que no se ven y que tampoco se pueden cultivar y hacer visibles en el laboratorio están siendo detectados y estudiados a partir de su ADN que se extrae directamente del ambiente y que se analiza por sofisticadas técnicas que combinan a la bioquímica, la nanotecnología y la bioinformática, que han revolucionado la microbiología de estos últimos 20 años y que probablemente revolucionen y cambien la mirada sobre todo lo conocido (Jandig & Prakash, 2019).

Se denomina **microbioma** al conjunto de microorganismos (bacterias, arqueas, hongos y protistas) que viven en un determinado ambiente (partícula de suelo, raíz de una planta, hoja de una planta, interior de una semilla, corteza de semilla, interior de una planta, manija de la puerta de los autos, volante del tractor, disco de la sembradora, etc. etc.) El concepto de microbioma viene a modificar todo lo conocido pues los microbiomas están por todos lados y claramente interfieren en el funcionamiento del sistema tal como lo teníamos conocido o, pensado de otra manera, hacen al funcionamiento del sistema de una manera que aún no hemos terminado de conocer.

Por ejemplo, el proceso de nutrición de una planta lo entendemos como la absorción de los nutrientes minerales por los pelos absorbentes de la raíz para su posterior asimilación en los tejidos de la planta. Este modelo, que es correcto, se describió a partir del estudio de la fisiología vegetal de plantas libres de microorganismos crecidas en hidroponía. En la naturaleza, tanto en ambientes prístinos como en cultivos agrícolas, las plantas crecen en el suelo que, con su microbiología, determina los microbiomas que se asocian a las raíces de la planta y que constituyen en la realidad una barrera o un puente de conexión entre la solución del suelo con sus nutrientes y el interior de la planta. Es sencillo pensar que el modelo de la hidroponía de la fisiología vegetal clásica es un modelo muy limitado - y quizás incorrecto – para dar cuenta de la fisiología de las plantas y los cultivos en los suelos prístinos o cultivados. Pero la fisiología vegetal en la era del microbioma recién se está comenzando a estudiar.

Cuando pasamos a la escala macroscópica o de observación con lupa pasamos a la sección de la biología del suelo que describimos como **la fauna del suelo**, que incluye a la **mesofauna** (organismos menores a 2 mm de diámetro corporal) y a la **macrofauna** (organismos mayores a 2 mm de diámetro corporal). Ambos grupos regulan procesos ecosistémicos claves en el suelo: los procesos asociados a la dinámica y los flujos de la materia orgánica (descomposición de restos vegetales y reciclado de nutrientes; estabilización de la materia orgánica mediante la formación de MOAM y MOP estable) y los procesos asociados a la bioformación de estructura edáfica. La macrofauna además de participar en la descomposición de restos vegetales, tiene vital importancia en el proceso de bioformación de estructura edáfica, lo que favorece fuertemente la circulación de agua y aire, el desarrollo de las raíces y la actividad biológica en el suelo y es por lo tanto un proceso limitante para el desarrollo y la productividad vegetal. Principalmente las lombrices, son los organismos capaces de modificar físicamente y de manera significativa las propiedades del suelo, al excavar y producir estructuras órgano-minerales (grumos fecales que acaban formando macro agregados resistentes) y una gran variedad de poros (galerías y cámaras). Por tanto tienen gran influencia en la regulación de la dinámica de la materia orgánica en el suelo, especialmente el proceso de descomposición y en la activación de la actividad microbiana. Las lombrices ingieren gran cantidad de suelo y restos orgánicos, que se mezclan en su paso a través del intestino y se excreta como grumos fecales. Estos bioagregados presentan una elevada concentración de materia orgánica y una mayor estabilidad respecto al suelo circundante y pueden tener un importante impacto en las propiedades físicas del suelo y la dinámica de la materia orgánica del suelo.

Dentro de la biota del suelo, los microorganismos son los principales descomponedores químicos de la hojarasca y de la MO, y el rol de las lombrices también está relativamente bien establecido. Por el contrario, el impacto de otros grupos biológicos como los ácaros oribátidos, no se comprende bien y su contribución a la dinámica de MO rara vez se considera en los modelos. Los ácaros son muy diversos y abundantes en los suelos de la región Pampeana argentina, incluidos los suelos de cultivo, por lo tanto, su impacto en la dinámica de la materia orgánica puede ser importante. Se ha demostrado que la mesofauna aumenta la tasa de descomposición de los restos orgánicos. Los ácaros oribátidos se alimentan de hojarasca o rastrojos y hongos, y producen pellets fecales ricos en nutrientes que pueden ser una fuente importante de nutrientes para las plantas. Son muy abundantes en la capa de rastrojos de la SD por lo que pueden contribuir significativamente al ciclado de nutrientes y a la formación de agregados (<1 mm de diámetro) compuestos de materia orgánica e hifas de hongos.

¿Cómo afecta la agricultura a la biología del suelo?

La biología del suelo se afecta de dos maneras por el proceso agrícola:

- 1) Por omisión. Se ignora la biología del suelo como arte del proceso, ergo, la biología del suelo enfrentará manejos que la ignoran y reaccionará en consecuencia, modificando su diversidad y abundancia de acuerdo al nuevo ambiente generado por la práctica agrícola sobre el suelo.
- 2) Por acción directa de los insumos agregados al suelo:
 - a. Los que modifican las interacciones propias de la red trófica de la biología en el suelo, como es el caso de los fertilizantes minerales que van a inhibir los procesos biológicos relativos a la fijación biológica del N o la movilización del P por el agregado de formas inmediatamente disponibles de N y P a través de los fertilizantes.
 - b. Los que inhiben o matan determinados grupos biológicos por acción biocida, ya sea fungicidas, nematicidas, acaricidas, etc., de amplio espectro que eliminan todo tipo de hongos, o componentes de la micro, meso o macrofauna o sustancias que tengan efectos tóxicos sobre las comunidades bacterianas, protistas o de arqueas o biota en general (el uso de antibióticos no es tan común en las prácticas agrícolas pero algunas sustancias tienen efectos tóxicos que terminan ejerciendo acciones biocidas en el ambiente).

En este modelo donde la biología del suelo no es parte del proceso agrícola -o lo es ínfimamente y abstractamente en el concepto de descomposición de rastrojos y mineralización de la materia orgánica-, el suelo es una especie de florero en el cual crecen las plantas y son manejadas con una idea basada de fisiología de la hidroponía (Luis Wall, Congreso de AAPRESID 2012; Science 2013).

La agricultura, la ecología y sus miradas sobre el suelo. Hipótesis de trabajo

En términos generales e históricos podríamos decir que la agricultura y la ecología estudian y buscan comprender al suelo de manera diferente y constituyen paradigmas o modelos que transcurren por carriles separados. El aumento de la conciencia ambiental en la humanidad por los problemas del cambio climático, de desertificación y de contaminación de ambientes obliga a la agricultura y a la ecología a sentarse en una misma mesa y buscar compatibilizar sus paradigmas, al menos para los procesos de producción de alimentos y de insumos originados en la agricultura.

Las consecuencias negativas de un uso histórico extractivo del suelo y las problemáticas reconocidas en la nueva era antropocéntrica, han llevado al desarrollo de nuevos sistemas de manejo de suelo de tipo conservacionistas tendientes a dar respuesta y solución a los problemas planteados.

Poniendo sobre la mesa el tema del calentamiento global como uno de los ejes principales de la era antropocéntrica, aparece como núcleo del problema el aumento de ciertos gases en la atmósfera del planeta que ejercen un efecto de tipo invernadero con la radiación solar determinando el calentamiento del planeta. Entre estos gases de efecto invernadero podemos reconocer dos de los más importantes, el CO₂ y el N₂O, ambos gases tienen que ver con las prácticas agrícolas. La descomposición de la materia orgánica aumenta los niveles de CO₂ por la combustión biológica de la misma, del mismo modo que la descomposición microbiana de los fertilizantes nitrogenados agregados al suelo genera una serie de gases denominados de efecto invernadero como el N₂O.

Por su parte, la ecología nos enseña como la naturaleza del suelo se puede explicar en términos de interacciones de los organismos vivos con el ambiente, las funciones que explican esas interacciones y las relaciones causa-efecto que tienen que ver, en última instancia, con la transformación de la materia. Transformación que tiene la característica de ser cíclica y donde la energía que mueve esos ciclos y flujos de materia proviene en gran medida de la energía solar.

En este esquema de comprensión de la naturaleza como la interacción de diferentes grupos funcionales que pertenecen a diferentes escalas taxonómicas, aparece en la biología del suelo el reconocimiento del valor que tiene cada uno de sus integrantes o componentes en el funcionamiento del sistema como un todo. El suelo es un sistema biológico complejo y dinámico.

Desde la ecología aprendimos a reconocer a muchos pequeños animales de la meso y macrofauna como ingenieros del sistema, formadores de la estructura física del suelo, generadores de porosidad a diferentes escalas, trituradores y descomponedores de la hojarasca y de toda la materia orgánica o cadáveres de los organismos vivos que mueren en el sistema. Luego a nivel microscópico, los microorganismos han sido reconocidos desde la microbiología y la bioquímica como los transformadores de la materia a nivel molecular o bioquímico y así podemos hablar de los fijadores de nitrógeno, los solubilizadores de fósforo, los degradadores de grandes polímeros de la materia viva como la celulosa, la quitina, la lignina. Estas propiedades del mundo microbiano fueron adoptadas desde la ecología como grandes grupos funcionales que encastran muy bien en la visión sistémica del suelo. A toda esta complejidad se suma el descubrimiento de los microbiomas, concepto que atraviesa todos los niveles de la biología conocida y generando una revolución epistemológica en ciernes, o sería ampliación del paradigma de la biología tal como lo conocemos hoy, con el desarrollo actual de la ecología microbiana. Esta nueva visión del suelo empieza a denominar de otra manera a gran parte de la materia orgánica del suelo como sustancia polimérica extracelular de origen biológico (EPS del inglés extracelular polymeric substances) que constituye la sustancia cementante de las partículas minerales y orgánicas (restos vegetales y animales en descomposición) que arman los microagregados del suelo como los componentes esenciales para determinar, a otra escala, la estructura física del suelo. Hace muy poco tiempo (2017) se reconoció a los grupos de procariotas y hongos como los actores principales necesarios para que esta microagregación ocurra. Esta microagregación de origen microbiológica sería complementada por la acción de otros agentes biológicos como las lombrices, reconocidos ingenieros y armadores de estructura física en el suelo. Es decir, la estructuración física primaria del suelo es consecuencia de una actividad biológica y la materia orgánica que esas estructuras contienen son un componente biológico y no tanto componente meramente químico. Sostenemos esta afirmación (como nueva hipótesis) en la funcionalidad biológica de este componente del suelo que denominamos EPS y que probablemente cambie la manera de comprender en un futuro el valor y significado de la materia orgánica del suelo (Bender y col., 2016).

Todos estos conceptos ecológicos provenientes de la biología se aplican también y en toda su extensión al suelo de uso agrícola. El hecho de que la agronomía (al igual que todas las actividades de desarrollo de la humanidad) y la ecología transcurrieron históricamente por carriles divergentes llevaron a la humanidad a los problemas que enfrentamos en la actualidad. El reconocimiento de

estos problemas que se pueden resumir conceptualmente en los temas del calentamiento global y los problemas de contaminación ambiental, y específicamente en torno al suelo, su degradación, ha llevado necesariamente a la búsqueda de soluciones.

La reacción a los problemas y la búsqueda simultánea de mejoras al sistema.

En lo que hace a la agricultura, en los últimos años han surgido nuevas prácticas y manejos tendientes a dar respuesta a las problemáticas planteadas. Muchas de esas nuevas prácticas y manejos se van adoptando en diferentes partes del mundo y la puesta en práctica revela nuevos problemas que se busca resolver sobre la marcha y de ese modo se van ajustando estas nuevas prácticas o manejos agrícolas. En términos generales se los denomina prácticas o manejos conservacionistas. En ellos se pretende conservar los valores de las variables reconocidas del suelo desde la ecología y la biología, en particular los niveles de materia orgánica. Se busca tanto evitar la pérdida de materia orgánica como fomentar su aumento en el suelo, como una forma de captura de Carbono. En este sentido se reconocen como prácticas conservacionistas a la siembra directa a la que se la ha reconocido ampliamente las consecuencias positivas respecto del manejo del agua y aumentos de la productividad. Además de la siembra directa per se, la rotación de cultivos aparece como una práctica indispensable para que la siembra directa constituya una práctica conservacionista ya que el monocultivo tiende al deterioro de la calidad del suelo.

Habiendo reconocido desde la ecología el valor de la biología del suelo respecto de las prestaciones ecosistémicas que presta el suelo al ambiente y el valor de la biología en los procesos de producción y desarrollo vegetal o la biofertilidad del suelo (Bender y col., 2016), aparece como un desafío la incorporación de la biología del suelo al proceso de producción.

Es importante reconocer, como se dijo más arriba, que la biología del suelo significa una compleja red de interacciones a y entre diferentes niveles taxonómicos de vida que ocurren en el suelo, con una gran densidad de individuos y una gran diversidad de los mismos, constituyendo verdaderas interacciones de comunidades biológicas entre sí. El significado de los microbiomas del suelo como parte sustancial de la biología del suelo es un campo de desarrollo de conocimiento en la actualidad. Podríamos decir que aún estamos en una etapa más bien descriptiva de la estructura de los microbiomas y que, muy de a poco y por técnicas indirectas, comenzamos a comprender su rol en el funcionamiento del suelo. Es tal la complejidad de los microbiomas que su manejo difícilmente pueda lograrse por tecnología de insumos. Los microbiomas se desarrollan en el suelo a la vez que lo forman y se organizan en función de los recursos disponibles. Los recursos en la naturaleza provienen fundamentalmente de los productos de la fotosíntesis que transforman la energía del sol en materia orgánica. Si esto es así y si consideramos que los cultivos constituyen verdaderos paneles solares que transforman la energía del sol en materia orgánica y que parte de esos recursos pasan al suelo a través de los exudados radiculares y la transformación posterior de los rastrojos, es racional pensar que quizás sea **a través de las prácticas agrícolas que se pueda manejar la biología del suelo y hacerlo en forma sistémica**. Este podría ser un camino para conseguir una mejora en la salud del suelo y como consecuencia, un aumento en la biofertilidad del mismo con consecuentes aumentos en la productividad de los cultivos, haciendo del proceso agrícola un proceso virtuoso.

El proyecto Chacra Pergamino y el análisis de los indicadores biológicos

En esta línea de pensamiento desarrollada más arriba y aplicada a los sistemas de producción que adoptan una filosofía de conservación del suelo como parte del proceso productivo, se inscribe el Proyecto Chacra Pergamino.

Partiendo de la hipótesis de que se puede mejorar la calidad y salud del suelo con tecnologías de insumos, el proyecto se pregunta si con diferentes manejos y tecnologías de insumos se puede

mejorar la calidad y salud del suelo. Aquí aparece nuevamente el concepto de salud del suelo que tiene en cuenta las prestaciones ecosistémicas del suelo como parte importante del buen funcionamiento del sistema como un todo, necesariamente inmerso en un contexto de cambio climático o calentamiento global. Esta pregunta inicial de la Regional Pergamino Colón de AAPRESID se amplía luego al incorporar en el análisis a las variables biológicas como potenciales indicadores del proceso.

Para interpretar correctamente el presente estudio de los indicadores biológicos del suelo debemos tener en cuenta el significado de la biología del suelo como hemos desarrollado más arriba. Pensemos en la biología del suelo no como un accesorio, sino como un componente sustancial y esencial del mismo. Dado el carácter dinámico y adaptativo de la vida, la biología del suelo podría tanto ampliarse y diversificarse como reducirse y simplificarse, según sea el efecto de las prácticas y manejos que se apliquen al suelo durante el proceso agrícola. Estas prácticas y manejos actuarían necesariamente sobre las redes de interacciones que constituyen y conforman la biología del suelo como sistema. La primera pregunta a contestar sería si las prácticas agrícolas y manejos del suelo modifican la biología del suelo.

Una segunda pregunta que surge naturalmente es si conviene que la actividad biológica del suelo aumente o disminuya para una mejora del proceso agrícola, en términos productivistas. Planteado desde otro lugar podríamos preguntarnos si es posible encontrar un sistema de producción que sea conservacionista (en términos de la salud y prestaciones del suelo) y que simultáneamente aumente los rindes en términos de producción. Si existe una respuesta a este aparente dilema, la misma deberá venir del lado de la biología del suelo agrícola.

Recuerdo que hace muy pocos años, en los tiempos finales del proyecto BIOSPAS (probablemente año 2012), se promocionaba un producto para el agro cuyo slogan de venta era más o menos así: “Estimado productor, cuide su producción, aplique XXX a su suelo, que no deja nada vivo”. Claramente esta visión del suelo y del proceso agrícola, ampliamente difundido y adoptado por gran parte de la actividad agrícola, no es compatible con lo que se discute en este informe.

El proyecto Chacra Pergamino se propuso investigar el devenir de la biología del suelo en sus ensayos de intensificación y diversificación de las rotaciones, apuntando también al descubrimiento de indicadores biológicos que permitieran monitorear esos mismos manejos.

Para dar respuesta a esta propuesta hemos analizado diferentes variables biológicas en las parcelas de intensificación de las rotaciones a partir de una historia común de rotación “típica” para la zona [trigo/soja-maíz-soja] a lo largo del tiempo, entre 2015 y 2019, entrando al ensayo a tomar muestras en mayo de 2015 a los 4 años de iniciado el ensayo.

Como variables biológicas, buscando abarcar diferentes escalas y grupos biológicos o taxones representativos que componen la biología del suelo, hemos medido: 1) actividades de diferentes enzimas del suelo cubriendo los diferentes ciclos biogeoquímicos que ocurren en el suelo (medimos 6 en el primer período 2015-2016 y 10 en la segunda etapa 2018-2019); 2) perfil de ácidos grasos de lípidos totales extraídos de las muestras de suelo; 3) comunidades procarióticas (Bacterias y Arqueas) a partir de análisis de ADN extraído directamente del suelo como una aproximación a uno de los componentes más relevantes del microbioma del suelo; 4) abundancia y diversidad de macrofauna del suelo; 5) abundancia y diversidad de mesofauna del suelo. Adicionalmente a estas mediciones también determinamos: 6) proporciones de microagregados de diferentes tamaños en rotaciones contrastantes en los diferentes establecimientos; 7) a modo de mediciones de contraste o de validación independiente, determinamos en 2018 perfiles enzimáticos, de lípidos y de microagregados en un ensayo coordinado por Alberto Peper en el establecimiento Don Eduardo, ajeno al proyecto Chacra. Estas mediciones permitieron hacer algunas consideraciones comparativas

entre intensificación de rotaciones y monocultivos de soja, necesarias para una mejor valoración de los resultados obtenidos en el análisis de intensificación de las rotaciones; 8) finalmente, en forma adicional y como estudio de caso de una práctica puntual, analizamos los perfiles enzimáticos y perfiles de lípidos en un ensayo puntual (única campaña) sobre el efecto de diversidad de los cultivos de cobertura en la productividad de un maíz tardío posterior y sus posibles efectos en la biología del suelo asociada.

METODOLOGIA

Procesamiento de las muestras

Para cada establecimiento agrícola, Las Matreras (LMs), La Matilde (LMe) y San Nicolás (SN) se realizaron los siguientes muestreos, dos en 2015 durante mayo y diciembre y dos en 2016 durante mayo y diciembre. Luego se realizaron dos muestreos en mayo en los años 2018 y 2019. En el establecimiento Carmen se tomaron muestras solamente en mayo 2015, ya que luego de los primeros análisis surgió que la estructura del ensayo tenía algunas diferencias de manejos temporales con los otros establecimientos que se ponían de manifiesto ya en los primeros indicadores medidos y, de comun acuerdo, decidimos concentrar el esfuerzo en los otros establecimientos cuyos ensayos generaron datos que presentan coherencia con las variaciones en la intensificación y diversificación de cultivos. En cada establecimiento se tomaron muestras de cada uno de los tratamientos, denominados del R1 al R5, según su IIR y porcentaje de gramíneas y nomenclatura determinada por Belén Agosti. A su vez en cada tratamiento, se tomaron muestras en cinco puntos georreferenciados con barrenos, formando una muestra compuesta de suelo integrada por 20-30 piques independientes, en dos profundidades: 0-5 cm y 5- 10 cm (aprox. 500 g. para cada muestra). De esta manera para cada muestreo, se obtuvieron por cada tratamiento cinco replicas, en dos profundidades dando un total de 50 muestras por establecimiento.

Las muestras obtenidas fueron almacenadas y transportadas en conservadoras hasta su llegada al laboratorio. En el laboratorio cada una de las muestras fueron homogenizadas manualmente. Cuando fue necesario, las muestras fueron aireadas durante unas horas a temperatura ambiente con el fin de disminuir la humedad de las mismas para poder realizar el correcto tamizado del suelo.

Para cada una de las muestras, luego de ser homogenizadas se tomaron aproximadamente 50 g y se las conservó en bolsas tipo ziploc en freezer para las posteriores determinaciones de lípidos. El resto de cada muestra fue tamizado con tamices de 2mm, para eliminar restos vegetales y otras impurezas. Luego de ser tamizadas, cada una de las muestras fue dividida en tres submuestras de aprox. 100 g cada una, dos de ellas fueron almacenadas en bolsas tipo ziploc en heladera a 4°C para determinaciones enzimáticas y recuento de bacterias (esto último solamente para el muestreo de mayo de 2015), las otras también fueron almacenadas en bolsas tipo ziploc pero conservadas en freezer para las posteriores determinaciones a partir de ADN del suelo. El resto de cada una de las muestras fue secada a temperatura ambiente hasta llegar a peso constante, para las determinaciones de glomalina.

Actividades enzimáticas

Preparación de las muestras: Se pesaron 0,1 g de suelo almacenado a 4°C en tubos IKA (BMT-20 S, IKA- Alemania) conteniendo 5 bolitas de acero inoxidable, a los que se le adicionaron 10 ml de buffer MES 0,1M pH 6,1. Los tubos fueron agitados durante 2 min a 600rpm en homogenizador ULTRA TURRAX (IKA, Alemania) o en agitador orbital por 5 minutos. Una vez homogenizadas las muestras, se utilizaron inmediatamente para armar la placa para medir actividad enzimática.

Armado de placas: para determinar la actividad enzimática de las distintas muestras en presencia de distintos sustratos, se utilizaron placas multipocillos negras donde se midió la fluorescencia relativa a la liberación del producto. Para ello se utilizaron sustratos unidos a un fluoróforo (Methylumbellifery MUB). Los sustratos utilizados fueron: 4-MUB α -D-glucopyranoside (actividad α glucosidasa), 4-MUB β -D-cellobioside (actividad cellobiohidrolasa), 4-MUB acetate (actividad estereasa), 4-MUB phosphate (actividad fosfatasa), 4-MUB sulfate potassium salt (actividad sulfatasa) y 4-MUB N-acetyl- β -D-glucosaminide (actividad quitinasa). Para las determinaciones de 2018 y 2019, por acceso a nuevos sustratos incorporamos la medición de las siguientes cuatro enzimas adicionales: 4-MUB β -D-glucopyranoside (actividad β -glucosidasa), 4-MUB D-xilose (actividad xilosidasa), 4-MUB β -D-glucuronide (actividad relacionada con la degradación de lignina), y AMC-Leu (leucina amino peptidasa). En todos los casos, el sustrato fue utilizado en una concentración final en el pocillo de 200 μ M. Cada una de las muestras fue evaluada por duplicado para cada sustrato (MUB-sustrato y suelo homogenizado). Además en cada placa se incorporó por duplicado: control de sustrato (buffer MES y MUB-sustrato), control del suelo (suelo homogenizado y buffer MES), control de MUB (buffer MES y MUB) y control de interferencia en la fluorescencia con el suelo (suelo homogenizado y MUB).

Medición de fluorescencia: una vez armadas las placas, inmediatamente se les midió emisión de fluorescencia en el lector de placas POLARstar Omega – BMG Labtech. Para ello, se utilizó una longitud de onda de excitación de 355 nm y de emisión a 460 nm. La emisión de fluorescencia fue medida cada 1 minuto durante media hora a 30°C.

Análisis de los datos: con los valores de emisión de fluorescencia a distintos tiempos de cada muestra, se calculó la velocidad de formación de producto (unidades de fluorescencia por min). Dicha velocidad, fue convertida a unidades de actividad enzimática como nmoles de MUB liberado por minuto por gramo de peso seco de suelo.

Determinación de lípidos

Aproximadamente 10 g de suelo de cada muestra fueron liofilizadas durante 12 horas y molidos con N₂ líquido. Del resultante, 1 g de suelo fue colocado en tubo de vidrio para realizar la extracción de lípidos.

Los lípidos de cada muestra fueron extraídos, mediante una saponificación con NaOH y metanol, seguida de una metilación con metanol y ácido clorhídrico 6N, una posterior extracción con mezcla metil-terbutil-eter y hexano 50/50 y un lavado del extracto con hidróxido de sodio 10%. Luego de la extracción, los ácidos grasos obtenidos del suelo como ésteres metílicos fueron resuspendidos con 100 μ l de hexano. Para la determinación del perfil de ácidos grasos de las muestras, 2 μ l de la extracción fueron inyectados en un cromatógrafo gaseoso Agilent 6850 con software de identificación microbiana MIDI. El cromatograma obtenido fue analizado y se identificaron los picos más representativos para cada muestra como aquellos con mayor valor en la función discriminante asociados a cada muestra, cuando los datos se procesan en modo multivariado con un análisis de discriminante que busca encontrar la mejor manera de separar los tratamientos, si existe esa posibilidad, tomando los datos de la matriz con un peso relativo diferencial que se denomina factor de carga en la función discriminante. Estos ácidos grasos relevantes para la discriminación se utilizaron luego para la construcción del índice de complejidad bioquímica de los lípidos del suelo (ICBLS) que se describe más adelante en la sección de Lípidos del suelo de Resultados.

Análisis Genómico - Diversidad Bacteriana a partir de ADN del suelo

A partir de 1 g de suelo conservado en el freezer se extrajo el DNA utilizando un kit comercial de extracción (ETC Internacional S.A.), siguiendo los protocolos utilizados en el Proyecto BIOSPAS (Figueroa et al 2012, 2014). Las muestras fueron secuenciadas en el INDEAR, en la región V3-V4 en

las muestras de 2016 y en la región V4 en las muestras de 2018 (lo que nos permitió acceder a la determinación de arqueas. La empresa INDEAR entregó los resultados con un análisis bioinformático básico de las muestras. Luego hicimos nuestro análisis buscando las comparaciones de los resultados entre muestras y a diferentes niveles de agrupamiento de las secuencias encontradas, tanto nivel de unidad taxonómica operacional como nivel de agrupamiento en Filo, Clase, Familia y Género.

Macrofauna

En cada uno de los lotes seleccionados se procedió al muestreo de la macrofauna edáfica mediante la metodología del TSBF, que consiste en determinar en cada lote 5 puntos de muestreo aleatorio, separados como mínimo 20 m entre sí. En cada punto se extrajo una muestra de suelo (monolito) de 25 x 25 x 20 cm (Figura 2.5.1 a y b). Luego el monolito fue separado en tres capas: hojarasca, 0-10 cm y 10-20 cm. Cada una de ellas fue revisada manualmente de manera exhaustiva, a campo, para la extracción de todos los macro invertebrados presentes, visibles a ojo desnudo (Figura 2.5.1 c y d). Todos los organismos colectados fueron colocados en tubos herméticos con alcohol al 96 %, separando en diferentes recipientes a los artrópodos y moluscos de los anélidos, previamente fijados.



Figura 2.5.1. Muestreo de macrofauna a campo. Toma de muestras y separación inicial de la fauna.

Las muestras de macrofauna fueron trasladadas al laboratorio, donde fueron limpiadas y analizadas: se separaron, contaron e identificaron a nivel de taxones de alto rango todos los organismos presentes en las muestras (Figura 2.5.2). Se clasificaron en: Lumbricina, Enchytraeidae, Formicidae, Coleoptera, Isoptera, Araneae, Scorpionida, Chilopoda, Diplopoda, Isopoda, Gastropoda, Diplura, etc. Los de mayor relevancia funcional en la región, las lombrices, los coleópteros y las hormigas fueron identificadas a nivel de especie mediante claves taxonómicas. Se calculó la abundancia, la riqueza específica y la diversidad taxonómica.



Figura 2.5.2. Separación y limpieza de macrofauna en laboratorio.

Un aspecto determinante en el estudio de las lombrices es que para la identificación taxonómica a nivel de especies, es necesario que los organismos sean adultos, pues los caracteres taxonómicos se expresan cuando los individuos alcanzan la madurez. Generalmente en los muestreos la proporción de individuos inmaduros es muy superior a la de adultos, por lo que en la mayoría de los estudios se subestima la diversidad de especies presentes, puesto que los inmaduros no pueden ser determinados a nivel de especie (Figura 2.5.3).



Figura 2.5.3. Diferencias entre lombrices adultas y juveniles.

En respuesta a esta situación, para este proyecto desarrollamos especialmente un protocolo de cría de todos los individuos juveniles que colectamos en los muestreos. El mismo consiste en la cría de los juveniles en condiciones controladas de laboratorio (luz, T y humedad), con sustrato especial enriquecido. El sustrato se obtiene mezclando suelo de sitios no intervenidos (naturales) defaunado (calor) y tamizado, y bosta de caballo en proporciones adecuadas. Para la elaboración se desarrolló un protocolo propio especial (Figura 2.5.4). En el muestreo de 2016 del total de lombrices, el 65% fueron juveniles. El total de juveniles, 673 individuos, fueron puestos en las cámaras de cría (Figura 2.5.5).



Figura 2.5.4. Elaboración del sustrato de cría.



Figura 2.5.5. Cría de ejemplares juveniles de lombrices. Detalle de una cámara.

Cada cámara de cría con juveniles es revisada semanalmente para controlar las condiciones de crecimiento en general y la presencia de individuos adultos. Los adultos son identificados y puestos en cría por separado en una cámara más amplia para mantenimiento de poblaciones para su uso

posterior en los experimentos en microcosmos (Figura 2.5.6). Los individuos que aún permanecen en estado inmaduro, se vuelven a colocar en las cámaras de cría iniciales.



Figura 2.5.6. Cría de lombrices adultas en cámara para mantenimiento de poblaciones.

Al poco tiempo de iniciada la cría, en cada cámara es posible observar la fuerte bioturbación que producen las lombrices, y el efecto diferencial de cada especie en relación a su tamaño y actividad (Figura 2.5.7).



Figura 2.5.7. Ejemplo de la bioturbación producida por los ejemplares en las cámaras de cría.

Mesofauna

En cada uno de los lotes de estudio, se extrajeron cinco muestras de suelo de 10 cm de profundidad y 5 cm de diámetro (Figura 2.5.8 a), que fueron divididas en: hojarasca, 0-5 y 5-10 cm. Luego fueron conservadas en condiciones especiales (Figura 2.5.8 b) para ser transportadas al laboratorio. Allí fueron procesadas en el sistema de Berlese para extraer los organismos (Figura 2.5.9).



Figura 2.5.8. Muestreo y conservación de muestras de mesofauna a campo.



Figura 2.5.9. Sistema de Berlese para la extracción de mesofauna.

Los especímenes fueron separados, limpiados y contados mediante lupas binoculares (Figura 2.5.10 a y b). Los ácaros fueron identificados en los subórdenes Oribátida, Mesostigmata, Prostigmata y Astigmata (Figura 2.5.10 c) y los Collembola a nivel de orden (Figura 2.5.10 d). En etapas sucesivas, los ácaros Oribatida del muestreo 2015 fueron identificados hasta el nivel de especie mediante claves taxonómicas (Subias&Balogh, 1989; Balogh&Balogh, 1990) y microscopios ópticos. Se obtuvo la riqueza y diversidad taxonómica.



Figura 2.5.10. Separación e identificación de ácaros y colémbolos.

Aclaraciones respecto de los tratamientos estudiados: Las variables de fauna del suelo fueron evaluadas en 2015 en los sitios con monocultivo (color blanco en los gráficos), sitios naturales (color marrón), pastura (negro), rotación típica (rojo), rotación intensiva alta con leguminosas denominada en algunos lugares “arveja” (verde o amarillo dependiendo el campo) y rotación intensiva alta con gramíneas denominada originalmente “bomba de Carbono” (azul). En el resto de los años, no se muestrearon los monocultivos ni los naturales, y si la pastura que pasó a agricultura (color violeta). En cuanto al muestreo de 2015, es importante aclarar que las comparaciones de las rotaciones del ensayo de intensificación con el monocultivo (MC) no siempre son adecuadas, dado que, los lotes elegidos de MC presentaron variaciones de suelo y de manejo importantes, algunas de ellas consideradas como negativas desde el punto de vista productivo (como la fuerte presencia de malezas) pero que para la fauna pueden tener algún efecto positivo dado que representan un aporte de residuos orgánicos diversos y abundantes. Por tanto, las comparaciones de las rotaciones intensificadas se deberían abordar considerando la rotación típica como un punto de partida igual para todos los tratamientos, y en base a eso, evaluar cómo las rotaciones con mayor intensidad y diversidad producen cambios en los parámetros evaluados, en comparación con la típica.

RESULTADOS

A continuación, se presentan y discuten los resultados obtenidos para cada uno de los ítems biológicos mencionados en la introducción y analizados en los establecimientos La Matilde, San Nicolás y Las Matreras del Proyecto Chacra Pergamino. Se discuten los resultados en el período 2015-2019 para las muestras tomadas en otoño (alrededor del mes de mayo en cada año).

Los análisis de los efectos estacionales por comparación de los resultados entre las muestras de mayo y de diciembre ya fue desarrollado en el informe 2015-2106.

BIOLOGIA DEL SUELO Y CAMBIO DE MANEJO O INTENSIFICACIÓN

1. **¿El cambio de manejo diversificado en 5 intensificaciones diferentes en la rotación de cultivo a partir de una historia común de uso, modifica la biología del suelo?**

En nuestra hipótesis de trabajo consideramos que un cambio de manejo de un lote con historia de uso común debería generar cambios en la biología del suelo en forma sistémica, a partir de un origen de estructura biológica común a todas las muestras. Esta diversificación, de existir, debería generar una creciente diversificación de las muestras en el tiempo. Si esa diversificación no es aleatoria y constituyen un proceso dinámico de acomodamiento de la biología del suelo al manejo introducido, la estructura biológica de las muestras de suelo, dada por el conjunto de las variables medidas, debería modificarse también con el transcurso del tiempo. Para responder a esta pregunta inicial y poner a prueba nuestra hipótesis, vamos a mostrar el resultado de un análisis multivariado, que toma la casi totalidad de las variables biológicas medidas, como caracterización multidimensional de los suelos en estudio y verificando si se observa algún ordenamiento de las muestras con relación al paso del tiempo, con relación a los espacios o establecimientos como diferentes ambientes y a los tratamientos como diferentes intensificaciones en la rotación de sus cultivos (ver informe de Belén Agosti para la descripción general de los ensayos). En este estudio no contamos con mediciones a tiempo cero. Habiéndose iniciado los ensayos de diferenciación en las intensificaciones en la campaña 2011-2012. Las mediciones se iniciaron en mayo del año 2015 y se prolongaron hasta el final del proyecto Chacra en mayo de 2019. Los resultados que se muestran a continuación surgen del análisis de los perfiles biológicos complejos de mediados (muestras de 2015-2016) del proyecto y de finalización del mismo (2018-2019), correspondientes a la tabla general de integración que se adjunta digitalmente y entrega como parte de este informe.

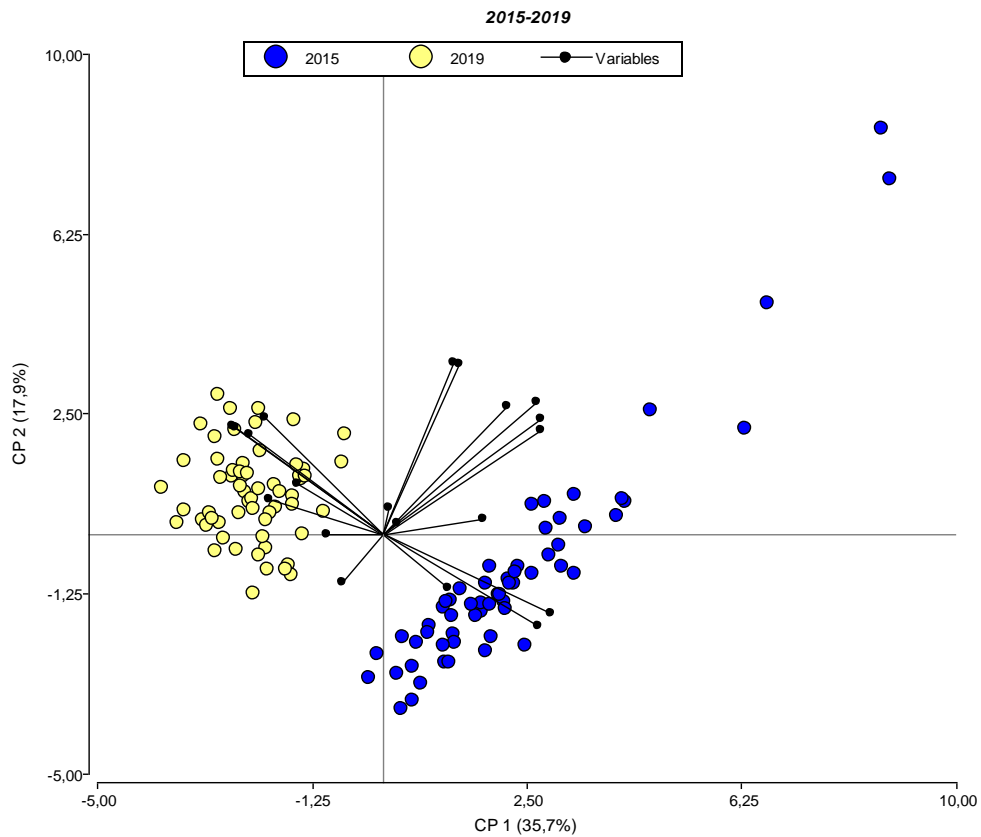


FIGURA 2.5.11. Análisis multivariante de componentes principales de los perfiles de la biología del suelo, incluyendo todas las variables analizadas de las muestras tomadas en 2015 y 2018, tomando las muestras de los tres establecimientos (La Matilde, San Nicolás y Las Matreras) en su conjunto.

Los resultados (Figura 2.5.11) muestran claramente un ordenamiento de las muestras y el mismo es diferente con el tiempo, lo que sugiere la dinámica del cambio biológico en el suelo. Es interesante señalar la mayor dispersión de los puntos al inicio del proyecto en 2015 respecto del comportamiento de las muestras en 2019 que se parecen más entre sí. Luego volveremos sobre esta observación. Este primer resultado justifica el análisis en cada uno de los momentos del proyecto y sugiere analizar la dinámica de los cambios en el tiempo.

Cuando hacemos un primer análisis de las muestras en cada una de las etapas encontramos que hay un claro efecto de sitio o ambiente dado por el agrupamiento de las muestras según su origen (Figura 2.5.12). En el gráfico de las muestras de 2015 se observa una cierta similitud o superposición en el análisis multivariante, entre las muestras de los establecimientos de San Nicolás (suelo serie Peyrano, puntos amarillos) y Las Matreras (suelo serie Río Tala, puntos azules), quedando las muestras de La Matilde (suelo serie Rojas, puntos verdes) separadas de los otros campos y con mayor identidad individual. Cuando analizamos el efecto tiempo y comparamos el efecto sitio entre los dos momentos de análisis, el efecto sitio deja de ser tan claro al confundirse más los puntos de los diferentes establecimientos en el gráfico correspondiente a las muestras de 2018.

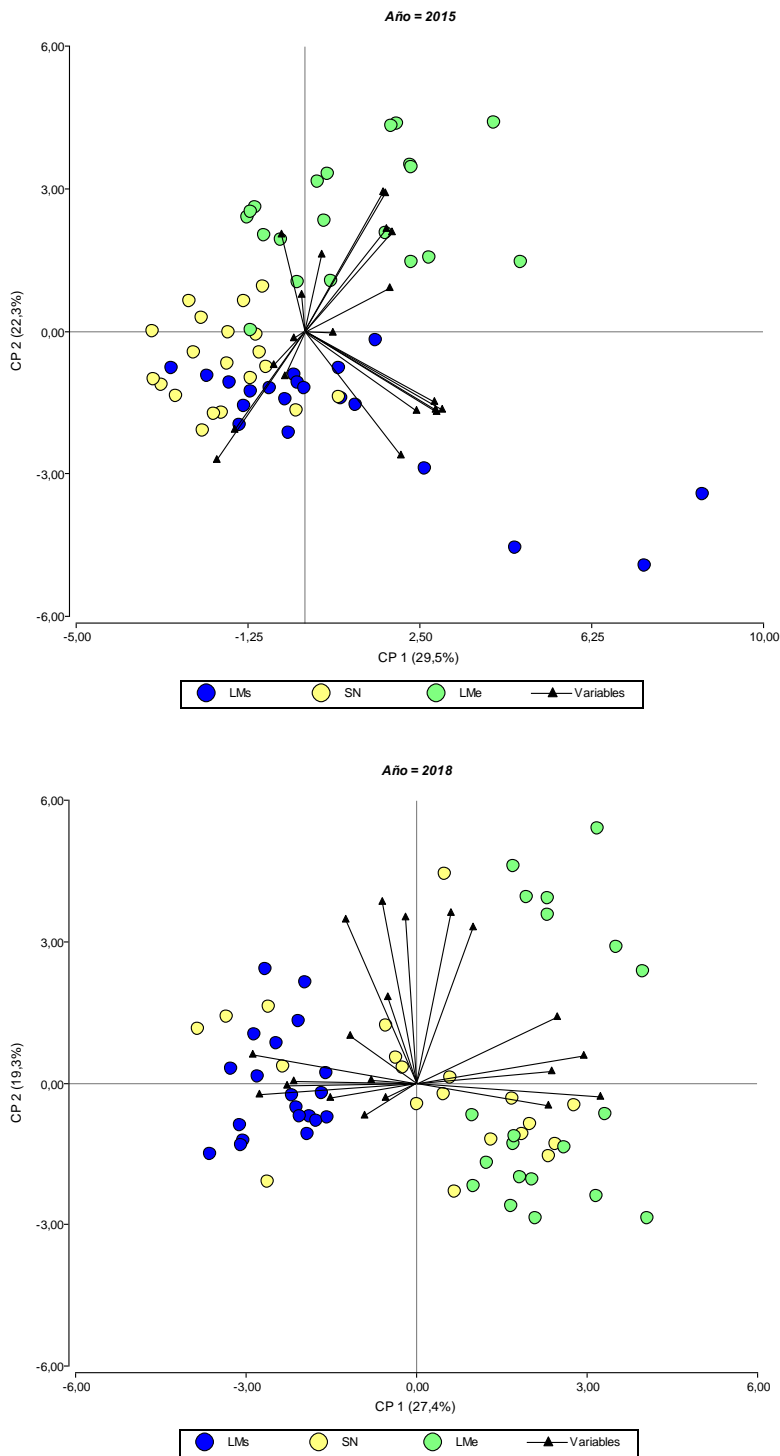


FIGURA 2.5.12. Análisis multivariado de componentes principales de los perfiles de la biología del suelo, incluyendo todas las variables analizadas de las muestras, para los años de muestreo 2015 (gráfico superior) y 2018 (gráfico inferior), tomando las muestras de los tres establecimientos (La Matilde, San Nicolás y Las Matreras) en su conjunto y coloreándolas según el origen o establecimiento.

A continuación, analizamos los casos por establecimiento y buscamos ver como se agrupan las muestras según su biología de suelo, es decir utilizamos el perfil biológico integral con todas las variables analizadas para cada muestra y allí observamos una diferenciación de las muestras según su tratamiento, que también refleja una dinámica que lleva a una mayor diferenciación entre tratamientos hacia el final del proyecto (2018) que a mediados del mismo (2015) (Figuras 2.5.13 a-c).

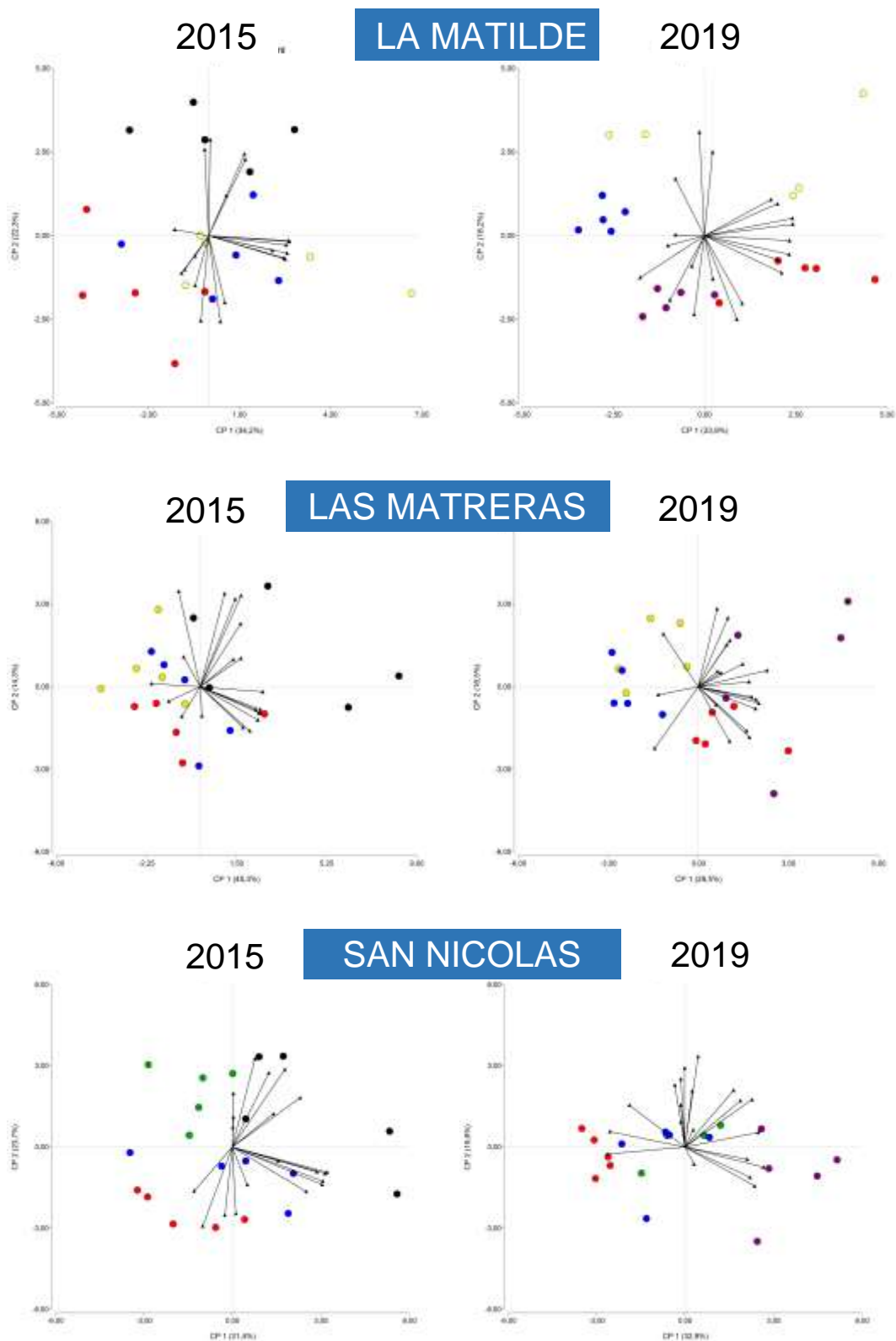


FIGURA 2.5.13. Análisis multivarial de componentes principales de los perfiles de la biología del suelo, incluyendo todas las variables analizadas de las muestras, para los años de muestreo 2015 (gráfico de la izquierda) y 2018 (gráfico de la derecha), analizado para las muestras de cada establecimientos, La Matilde, Las Matreras y San Nicolás, coloreando las muestras por rotación: *típica* [trigo/soja-maíz-

soja], *intensidad alta con leguminosas*[50% gramíneas, 50% leguminosas], *intensidad alta con gramínea*[75% gramíneas, 25% leguminosas], *pastura o pastura que pasó a agricultura*.

CONCLUSIONES PARCIALES – BIOLOGIA DEL SUELO mirada en forma integral:

De los gráficos de la Figura 2.5.13 se puede concluir claramente que la biología del suelo asociada a cada rotación agrupa las muestras de suelo de acuerdo a su rotación, separando claramente la situación inicial de rotación típica (trigo/soja-maíz-soja) de la de pastura y quedando las rotaciones intensificadas entre estos tratamientos. La distinción de los tratamientos ocurre en forma similar en los tres establecimientos. En algunos casos el paso del tiempo parece generar una mayor similitud de las muestras correspondiente al mismo tratamiento que aparecen más agrupadas en el gráfico con los datos de 2018 que en el de 2015. Estos resultados muestran que el suelo ha respondido cambiando y modificando su biología en forma diferencial en tan solo cuatro años de cambios en las intensidades de las rotaciones, siendo todas rotaciones de alta intensidad. Es importante señalar esta situación de similitud en los niveles de intensificación de rotaciones ya que la bibliografía existente y nuestra experiencia previa con el proyecto BIOSPAS compara en general situaciones de rotación contra situaciones de monocultivo. En este caso los 5 tratamientos realizados en cada establecimiento, no coincidiendo exactamente en la naturaleza de los cultivos, pero aproximando en la intensificación entre los ensayos de los diferentes establecimientos, en particular durante la primera mitad del proyecto Chacra 2011-2016, plantea una mayor exigencia al momento de la comparación y contrastación de los tratamientos. La sensibilidad de los indicadores biológicos analizados muestra, a las claras, potencia suficiente para discriminar entre los tratamientos de acuerdo al nivel de intensificación de las rotaciones. Más adelante analizaremos el comportamiento de cada variable biológica por separado.

2. ¿La intensificación y diversificación de las rotaciones modifica la microestructura del suelo variando las proporciones de sus microagregados?

Para responder esta pregunta tengamos en cuenta lo siguiente. En los últimos años, la ecología y la biología de suelo ha concluido, a partir de análisis de metadatos de 183 publicaciones con datos locales con distribución planetaria, cubriendo el análisis de 279 grupos biológicos diferentes del suelo, que el factor más importante principal de la agregación, en particular los denominados macroagregados (250-2000 mm) y los denominados microagregados mayores (63-250 mm), resistentes a la dispersión por agua, son fundamentalmente el resultado de la actividad biológica de los hongos y las bacterias presentes en el suelo, quienes a través de la síntesis de sustancias poliméricas extracelulares (EPS) unen y pegan las partículas minerales y restos orgánicos del suelo generando sus propios nichos donde se organizan las comunidades microbianas y el suelo desarrolla su funcionamiento a través de la transformación de la materia (Lehmann y col., 2017; Costa y col., 2018). Con esta información, que conocíamos previa a las publicaciones referidas, analizamos la composición en microagregados resistentes al agua de diferentes tamaños entre rotaciones de intensidad contrastante. Para comprender mejor la heterogeneidad de esta distribución de microagregados en los suelos y la reproducibilidad de la técnica de fraccionamiento por tamizado en húmedo, analizamos primero en forma comparativa el suelo de los casos de rotación típica y la rotación de alta intensidad con 50% de leguminosas, repitiendo por triplicado el fraccionamiento de cada una de las cinco submuestras de los puntos de muestreo geo referenciados en el sitio.

San Nicolás- Mayo 2016

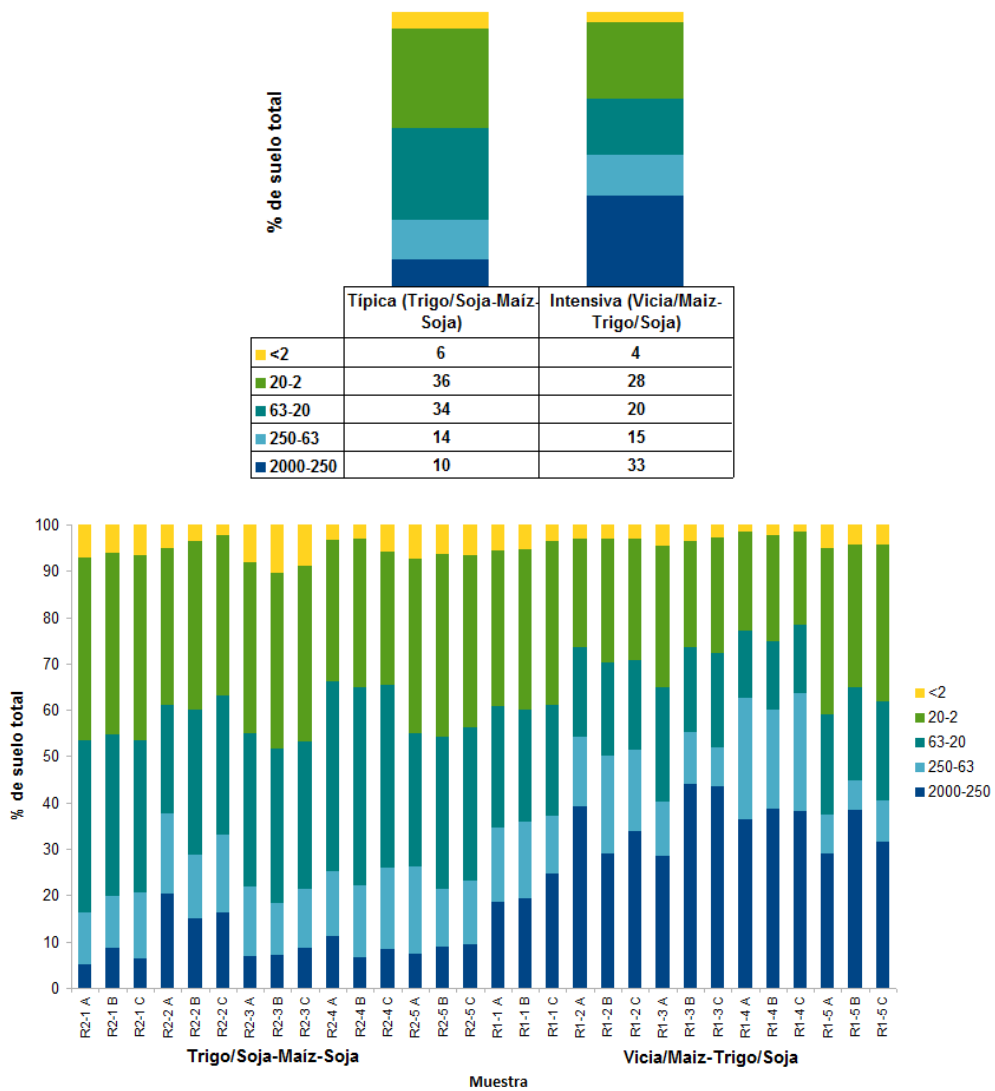


FIGURA 2.5.14. Fraccionamiento por tamizado en húmedo de suelos con tratamientos contrastantes en el establecimiento San Nicolás, muestreo de mayo 2016, con diferentes tamaños de tamices (ver Materiales y Métodos). Proporción en masa de cada tamaño de fracción (gráfico superior) y reproducibilidad del fraccionamiento realizado por triplicado para cada submuestra de suelo y relativa homogeneidad del lote en la similitud de los resultados para las diferentes puntos de muestreo (5) geo posicionadas del lote (gráfico inferior).

El aumento de la proporción de la fracción de macro-agregados en los suelos con mayor intensificación de las rotaciones (Figura 2.5.14) nos llevó a repetir en el año 2018 el mismo análisis, pero incluyendo mayor cantidad tratamientos con al menos tres intensidades de rotación diferente de menor a mayor (típica, intermedia alta c/leg y pastura), realizando el análisis en los suelos de los diferentes establecimientos (Figura 5).

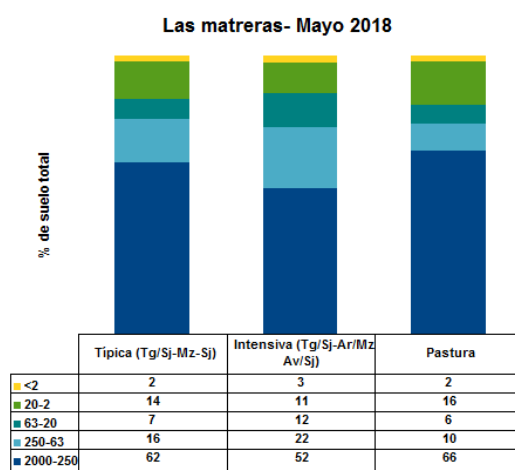
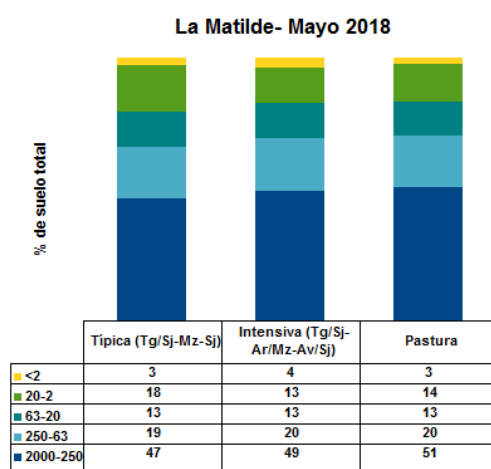
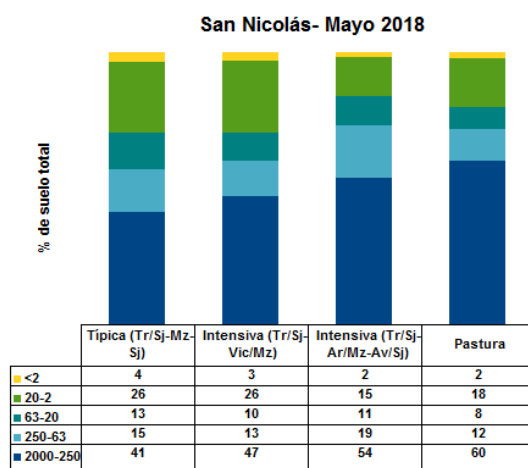


FIGURA 2.5.15. Fraccionamiento por tamizado en húmedo de suelos con tres niveles de intensificación (Típica, Rotación intensificada y Pastura) en cada uno de los tres establecimientos, San Nicolás, La Matilde y Las Matreras, sobre muestras tomadas e mayo de 2018.

Los resultados obtenidos en los muestreos de mayo de 2018 en los tres establecimientos (FIGURA 2.5.15) corroboran los resultados hallados y permiten proponer, siguiendo el conocimiento recientemente publicado (Tostche y col., 2018), que la proporción de macroagregados sería el resultado de la actividad biológica estimulada o condicionada por la intensificación de las rotaciones en el suelo. El resultado del caso de rotación típica, de menor intensidad, en el establecimiento Las Matreras, parece contradecir la conclusión anterior, sin embargo, en este caso aparece un factor topológico que ubica a la rotación típica y a la pastura en un bajo del lote, lo cual claramente

condiciona el desempeño de este tratamiento con respecto a los tratamientos de intensificación de rotaciones en este establecimiento. Esta particularidad se corrobora en los valores de C de la materia orgánica determinados para los suelos de la rotación típica en Las Matreras, así como los resultados de sus rendimientos en granos. En definitiva, lejos de resultar una contradicción al modelo propuesto de valor de los macroagregados como indicador de actividad biológica y de biofertilidad del suelo, lo corrobora funcionando como un control independiente.

A modo de corroboración adicional externa a nuestro caso de estudio de Chacra Pergamino, realizamos el mismo análisis en los suelos de los tratamientos de monocultivo de soja en comparación con una rotación intensiva incluyendo cultivos de cobertura, en un ensayo coordinado por el Dr. Alberto Peper en el Establecimiento Don Eduardo (muestreo junio 2018). Los resultados (Figura 2.5.16) corroboran ampliamente las observaciones y conclusiones obtenidas de los análisis anteriores, con una mayor proporción de macroagregados según la intensificación de la rotación de cultivos.

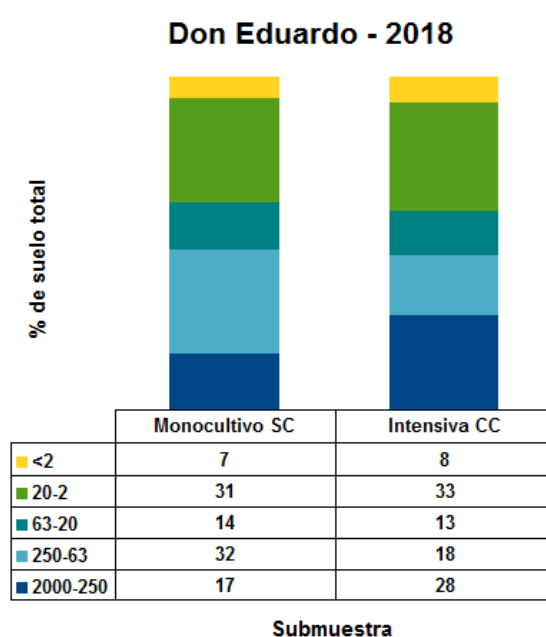


FIGURA 2.5.16. Fraccionamiento por tamizado en húmedo de suelos para comparar un suelo sojizado (monocultivo de soja) con uno manejado con rotación intensificada de cultivos y cultivos de cobertura, realizado en el establecimiento Don Eduardo y coordinado por el Dr. Alberto Peper.

CONCLUSIONES PARCIALES - MICROAGREGADOS:

La proporción de macroagregados en la estructura física del suelo, resistente a la dispersión en agua, aparece como una medida integral de la actividad biológica del suelo que se modifica como consecuencia de la intensificación de las rotaciones de cultivo. Esta modificación física seguramente se estabiliza en un valor óptimo o límite, que tiene que ver con la dinámica propia y capacidad de agregación de estos suelos.

3. LAS ENZIMAS DEL SUELO COMO INDICADORES BIOLÓGICOS

Dinámica del efecto sitio y efecto tratamiento en los perfiles de las enzimas del suelo y su variación a partir del manejo diferencial del suelo por intensificación y diversificación de las rotaciones.

(2015-2016-2018-2019)

Las enzimas del suelo constituyen las maquinarias moleculares, de origen biológico, que catalizan la transformación de la materia en el suelo (Xu et al., 2017). Siendo las enzimas del suelo de carácter extracelular, podríamos decir que al medir sus actividades estamos midiendo el potencial de actividad metabólica del suelo como sistema, es decir los procesos de incorporación de C, N, P, y otros elementos al sistema suelo. Y esto ocurre más allá del metabolismo particular de cada uno de los micro o macro organismos que viven en el suelo, una imagen que no muchas veces se piensa. Teniendo en cuenta estos conceptos que definen la naturaleza y nos aproximan al significado de las enzimas del suelo, nos preguntamos si **las enzimas del suelo**, analizadas como perfil de un conjunto de actividades relacionadas con los diferentes ciclos biogeoquímicos (C, N, P, S) **funcionan como indicadores biológicos que caractericen la fisiología del suelo acorde a su manejo determinado por la intensificación en la rotación de los cultivos**. También nos preguntamos si **las enzimas y sus actividades relativas pueden servir como criterio salud del suelo**. De Respecto del valor de las enzimas como indicadores biológicos nos preguntamos si **alguna de las enzimas individuales**, en sus valores absolutos **correlacionan con el valor de la intensificación de las rotaciones** y por último nos preguntamos si **las actividades enzimáticas** en forma absoluta **dan cuenta de la biofertilidad del suelo** que luego se exprese **en la productividad del cultivo** en el lote.

Para responder a estas preguntas y teniendo en cuenta las observaciones anteriormente enunciadas de los efectos de sitio y dinámica de los procesos, comenzamos analizando como se comportan las muestras de suelo de acuerdo a su perfil enzimático cuando las analizamos todas juntas independientemente del sitio de muestreo. Vamos a comparar como varía la separación o agrupamiento de las muestras a lo largo de los cuatro muestreos realizados (2015, 2016, 2018, 2019), analizando la totalidad de las muestras todas juntas y reconociéndolas por sitio y por tratamiento.

Podemos recordar que las enzimas medidas son las siguientes, entre separadores se indica el sustrato de la enzima y su nombre más común y entre paréntesis se indica la sigla con la que se resume su nombre en los gráficos:

- β -Cellobiohidrolasa [ciclo del C, sustrato celulosa] (CEL)
- β -Glicosidasa [ciclo del C, sustrato celulosa] (β GLU)
- N-Acetilglucosaminidasa (Quitinasa) [ciclo del N (C), sustrato quitina] (NAG)
- Fosfomonoestearasa (Fosfatasa) [ciclo del P, sustrato fosfatos orgánicos] (PME)
- α -Glicosidasa [ciclo del C, sustrato almidón] (α GLU)
- Arilsulfotransferasa [ciclo del S, sustrato sulfatos orgánicos] (ARI)
- Leucina-amino-peptidasa [ciclo del N, sustrato proteínas y péptidos] (LEU)
- Glucuronidasa [ciclo del C, sustrato polisacáridos extracelulares] (GLUC)
- Xilanasas [ciclo del C, sustrato polisacáridos extracelulares] (XIL)
- Acetiltransferasa [ciclo del C, metabolismo intermediario general] (ACE)

Comencemos entonces planteando las siguientes preguntas:

¿existe un efecto sitio en los perfiles enzimáticos del suelo? ¿cómo es su dinámica?

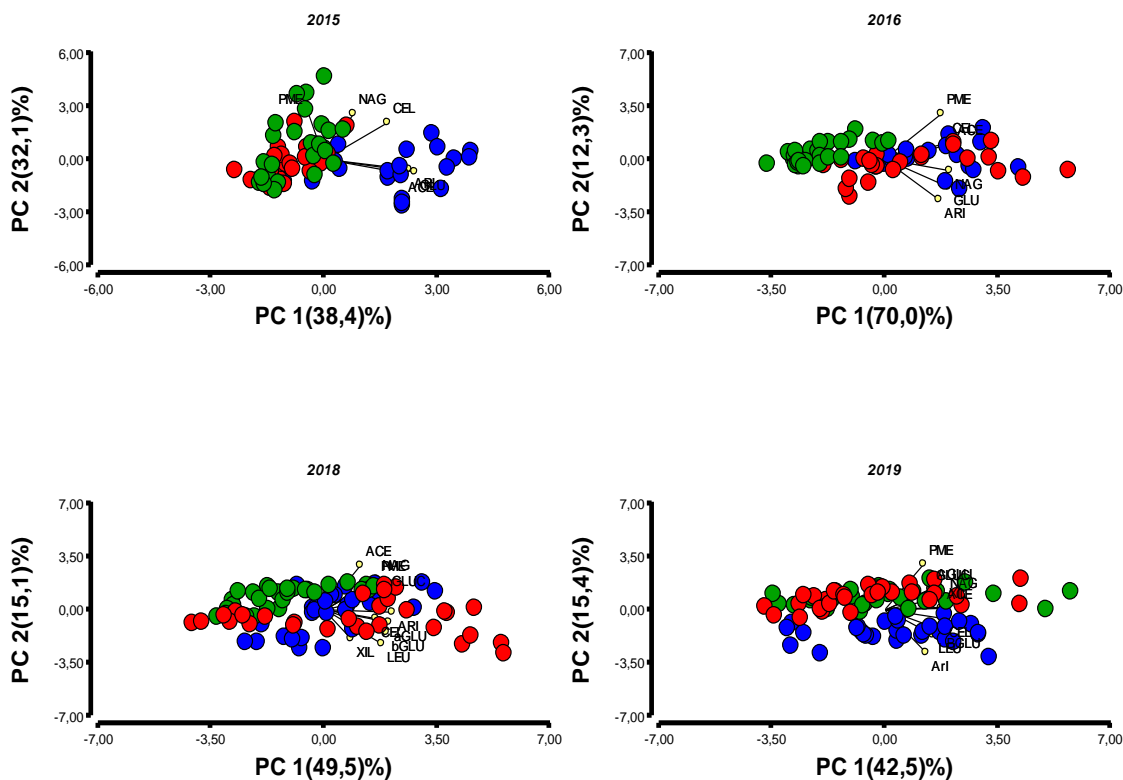


FIGURA 2.5.17. Análisis mutivarial de componentes principales para las muestras de 0-5 cm de los tres establecimientos analizados, según los valores de los perfiles de actividades enzimáticas de las mismas, analizadas en su conjunto y coloreadas de acuerdo al origen geográfico del sitio o establecimiento: azul para *La Matilde*, verde para *San Nicolás* y rojo para *Las Matreras*.

Los resultados obtenidos (Figura 2.5.17) indican un fuerte efecto sitio al momento del muestreo en mayo de 2015, efecto que se va diluyendo con el paso del tiempo y que prácticamente desaparece hacia el final del proyecto en el muestreo de mayo de 2019. Este resultado resulta interesante pues sugiere que con el paso del tiempo la razón de agrupamiento de las muestras ocurre en base a otra variable que no es el sitio o serie de suelo original de los establecimientos. Nos preguntamos si el efecto que va prevaleciendo con el paso del tiempo es el tratamiento de intensificación y diversificación de cultivos y para ello, sobre el mismo set de datos se colorean las muestras por su tratamiento de intensificación y diversificación de la rotación de cultivo y no por su origen (Figura 2.5.18). De esta manera observamos que en el muestreo del año 2015 los tratamientos se separan por el valor de intensificación dentro de cada nube de puntos correspondiente a cada establecimiento. A medida que avanza el tiempo, los colores de los tratamientos se ordenan principalmente según el eje del componente 1 (horizontal) en modo de intensificación creciente independizándose del sitio y sugiriendo una relación directa entre el valor de la actividad enzimática y el índice de intensificación IIR. Más adelante analizaremos esta hipótesis.

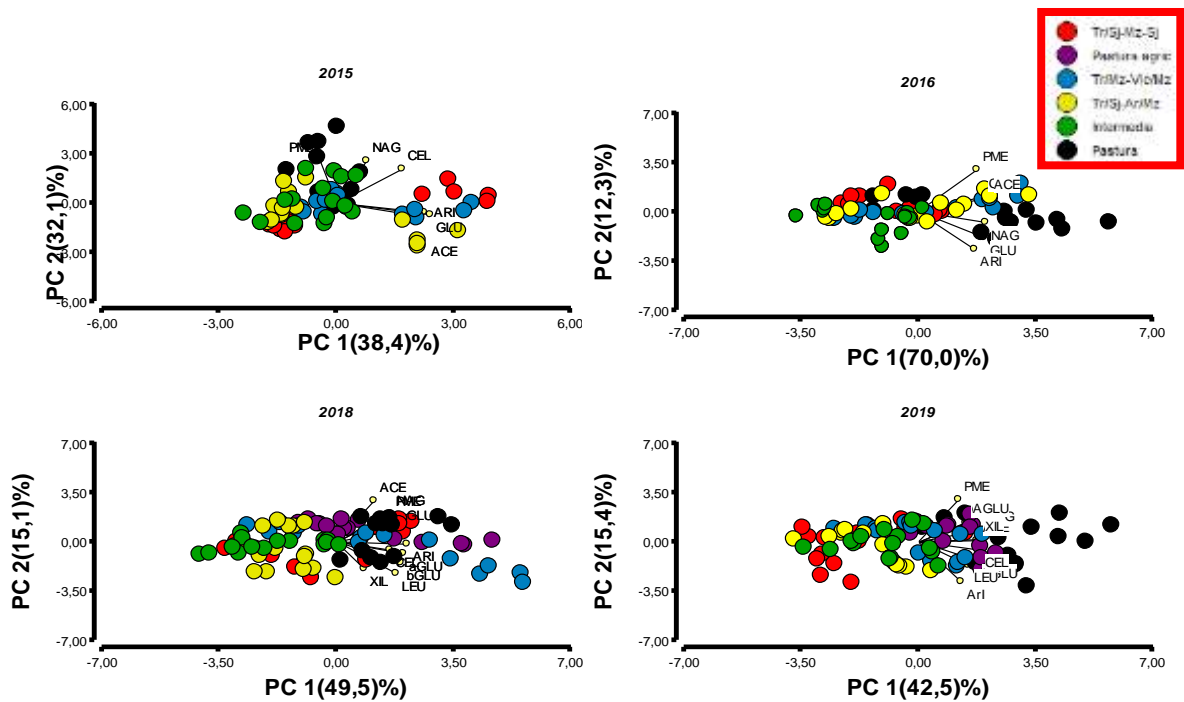


FIGURA 2.5.18. Análisis mutivarial de componentes principales para las muestras de 0-5 cm de los tres establecimientos estudiados, según los valores de los perfiles de actividades enzimáticas de las mismas, analizadas en su conjunto y coloreadas de acuerdo al tratamiento o rotación aplicada en cada sitio: rojo rotación típica, amarillo rotación intensiva alta con leguminosa denominada en algunos lugares “arveja”, verde rotación intensiva alta o intermedia con vicia, que varía entre los establecimientos, azul rotación intensiva alta con gramínea denominada originalmente “bomba de Carbono”, negro para la pastura y violeta para la pastura que pasó a agricultura (en 2016).

El ordenamiento de las muestras para el año 2019 muestra casi un ordenamiento completamente independiente del sitio y en complejidad creciente de intensificación y diversidad con contenido de carbono, quedando ordenadas en el sentido de aumento de las actividades enzimáticas (los vectores que aparecen en el gráfico), de izquierda a derecha, típica, intermedia, alta con leguminosas (arveja), alta con gramíneas, pastura agricultura y pastura. Es interesante analizar también, el comportamiento del cambio de manejo pastura-agricultura cuyos perfiles enzimáticos la ubican entre la pastura y los sitios de rotaciones históricas, independientemente del origen o establecimiento de las muestras.

Entendiendo que la dinámica de transformación de la materia en el suelo agrícola en siembra directa depende de la acumulación de rastrojo que se da en la superficie, nos preguntamos:

¿existe un efecto de variación de la bioquímica del suelo en profundidad?

Para responder a esta pregunta, en todos los muestreos analizamos los perfiles 0-5 cm y 5-10 cm. La Figura 2.5.19 muestra para los tres establecimientos estudiados, cómo los perfiles de actividades enzimáticas en la profundidad 5-10 no separan los tratamientos en el muestreo de 2015, pero si lo hacen en los muestreos siguientes.

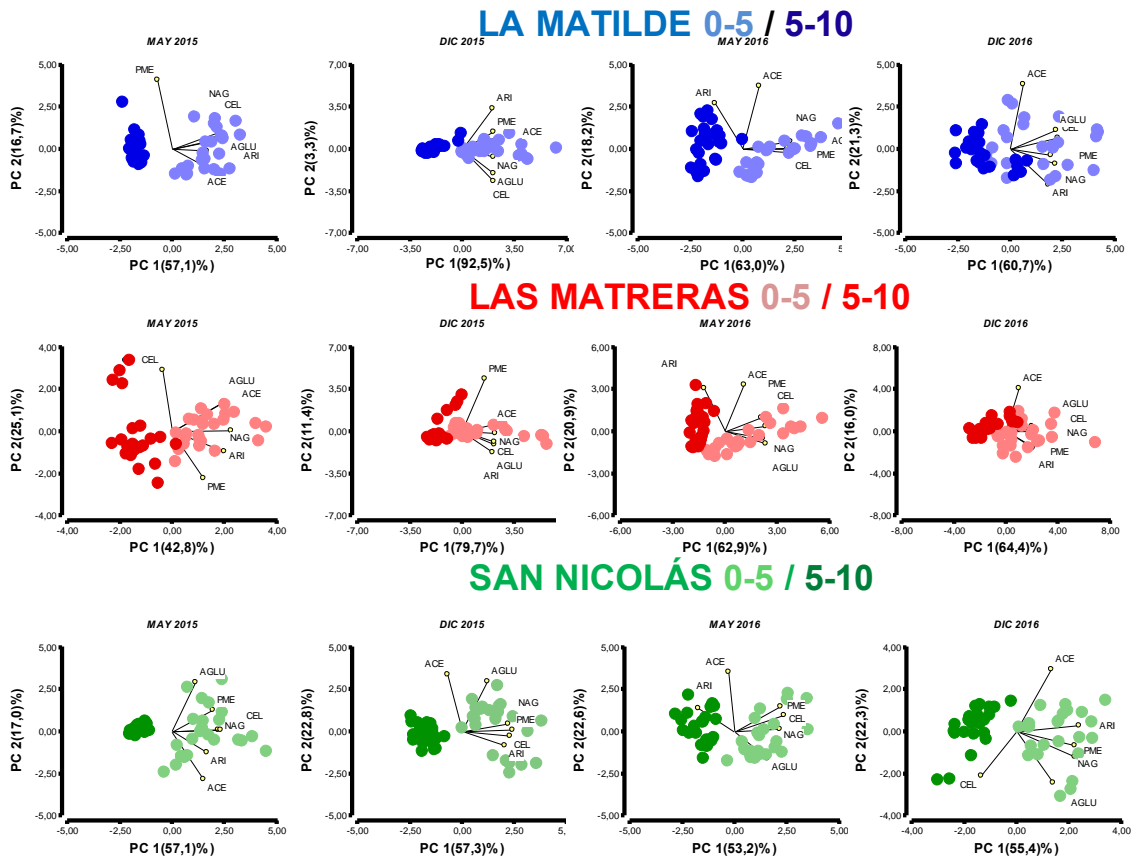
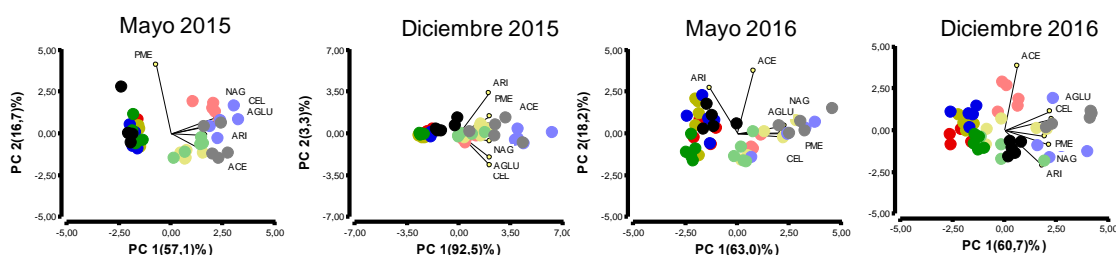


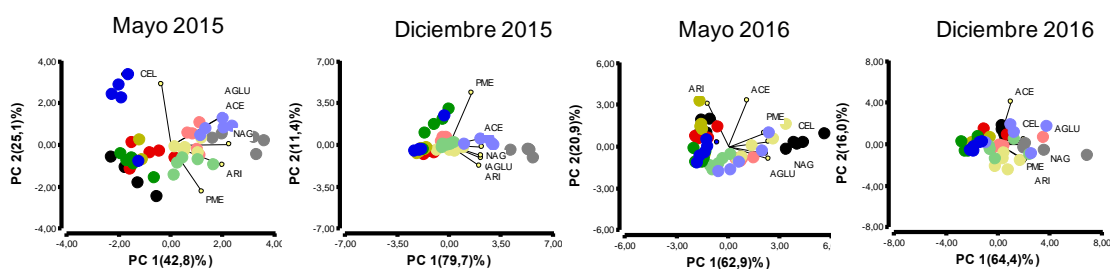
FIGURA 2.5.19. Análisis multivarial de componentes principales para las muestras de 0-5 cm y 5-10 cm en cada uno de los tres establecimientos estudiados y a lo largo de los cuatro muestreos sucesivos ordenados de izquierda a derecha (mayo 2015, diciembre 2015, mayo 2016, diciembre 2016) y coloreados según la profundidad de las muestras (claros para 0-5 cm y oscuros para 5-10 cm).

En la siguiente Figura 2.5.20, los mismos datos de la Figura 2.5.19 son coloreados de acuerdo al tratamiento y de esa manera se puede ver como en cada profundidad las muestras se agrupan o separan por tratamiento, en forma mas retrasada en el tiempo en el caso de la profundidad 5-10.

LA MATILDE 0-5 / 5-10



LAS MATRERAS 0-5 / 5-10



SAN NICOLÁS 0-5 / 5-10

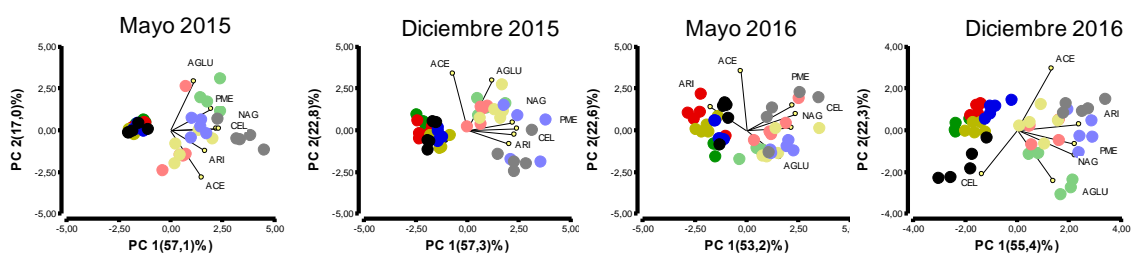
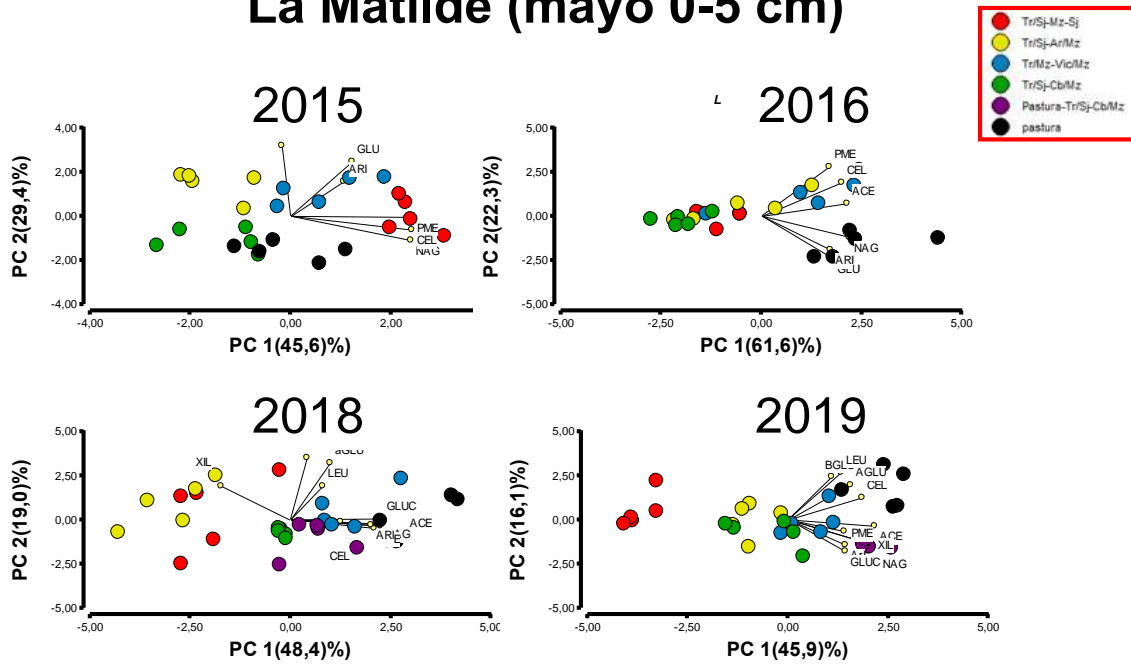


FIGURA 2.5.20. Análisis multivariante de componentes principales para las muestras de 0-5 cm (círculos claros) y 5-10 cm (círculos oscuros), en cada uno de los tres establecimientos estudiados y a lo largo de los cuatro muestreos sucesivos ordenados de izquierda a derecha (mayo 2015, diciembre 2015, mayo 2016, diciembre 2016) y coloreados según el tratamiento o rotación aplicada en cada sitio: rojo rotación típica, amarillo rotación intensiva alta con leguminosa denominada en algunos lugares “arveja”, verde rotación intensiva alta o intermedia con vicia, que varía entre los establecimientos, azul rotación intensiva alta con gramínea denominada originalmente “bomba de Carbono”, negro para la pastura.

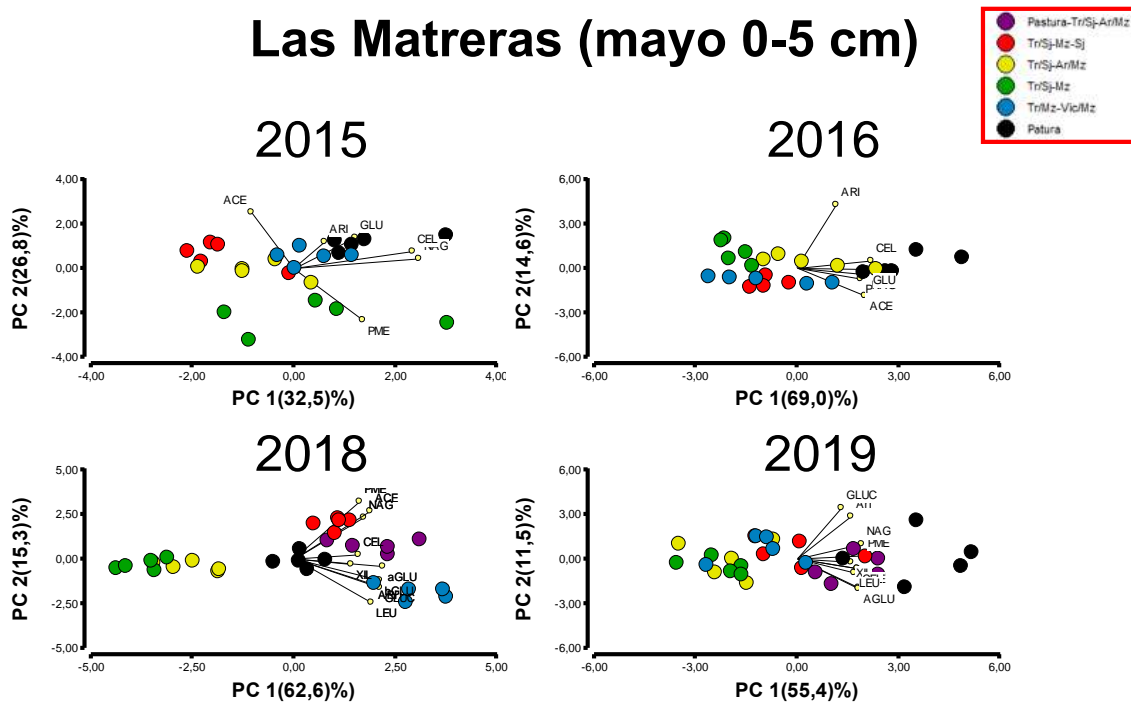
A los fines de visualizar que los perfiles enzimáticos separan claramente los tratamientos según la intensificación y diversificación de las rotaciones, analizaremos los casos sitio por sitio a lo largo del tiempo, para los cuatro años de muestreos para una misma profundidad y estación (otoño, mes de mayo). Los resultados se repiten en forma similar en los tres establecimientos analizados, lo cual permite dar una validez mas amplia a los resultados, constituyendo los tres sitios tres replicas imperfectas de los tratamientos. En el análisis sitio por sitio y caso por caso aparecen otros elementos a señalar en forma particular. Pasamos entonces a la pregunta:

¿los perfiles de enzimas funcionan como indicadores biológicos que separen las muestras de acuerdo al grado de intensificación de las rotaciones?

La Matilde (mayo 0-5 cm)



Las Matreras (mayo 0-5 cm)



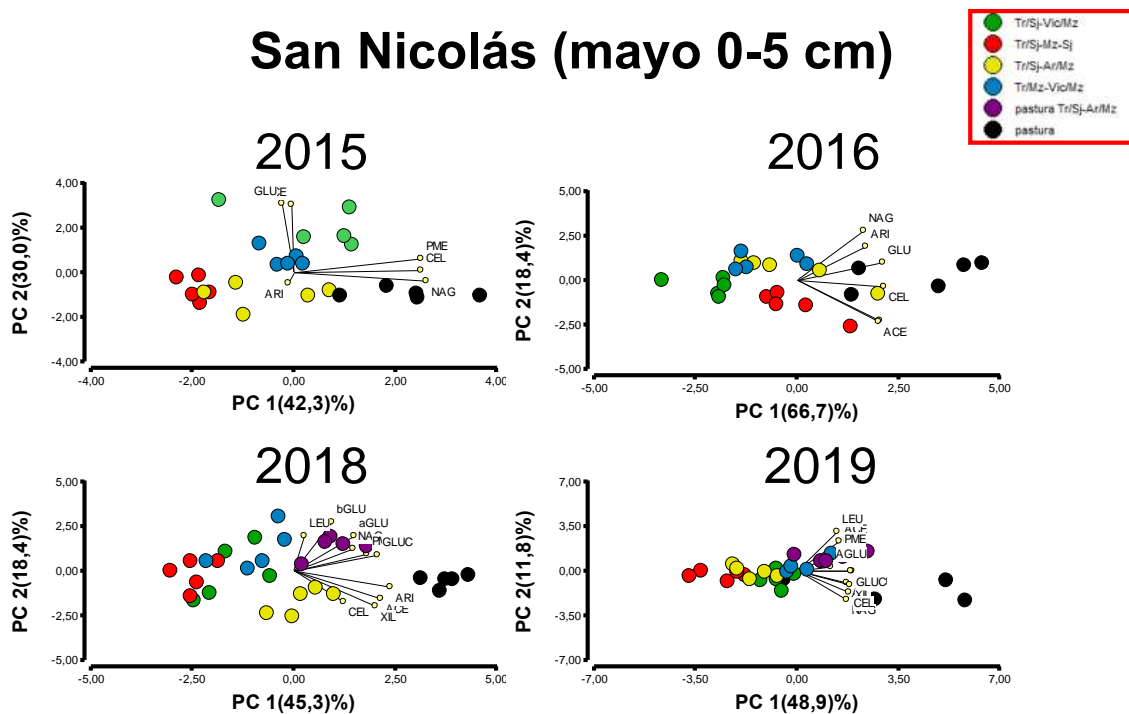


FIGURA 2.5.21. Análisis multivariante de componentes principales para las muestras de 0-5 cm cada uno de los tres establecimientos estudiados y a lo largo de los cuatro años de muestreo en el mes de mayo (2015, 2016, 2018, 2019). Las muestras se colorean según el tratamiento o rotación aplicada en cada sitio: rojo rotación típica, amarillo rotación intensiva alta con leguminosa denominada en algunos lugares “arveja”, verde rotación intensiva alta o intermedia con vicia, que varía entre los establecimientos, azul rotación intensiva alta con gramínea denominada originalmente “bomba de Carbono”, negro para la pastura y violeta para la pastura que pasó a agricultura (en 2016).

Los resultados de la Figura 2.5.21 corroboran lo descrito más arriba respecto la potencia de los perfiles enzimáticos para distinguir a los suelos con diferentes niveles de intensificación y diversificación de rotaciones, ya en 2015, luego de 4 años de iniciados los cambios de manejo, momento en el cual los mismos suelos no podían ser diferenciados por sus valores de indicadores físicos y químicos (informe Belén Agosti Campaña 2014-2015 de Chacra Pergamino). En líneas generales se ve una separación de los suelos de pastura de aquellos con rotación de cultivo donde, por lo general, la rotación de menos intensidad se aleja más de la pastura y las rotaciones intensificadas quedan en el medio. Queda fuera de este esquema lo que sucede con la rotación típica en Las Matreras, lo cual quedaría explicado por un tema topológico del paisaje que explicaría una mayor proporción de macroagregados en este lote que determinaría una mayor biofertilidad de este suelo o lote en particular.

El otro punto que podemos señalar en el análisis temporal de los perfiles enzimáticos y su capacidad de separar tratamientos de intensificación y diversificación, es si es posible alcanzar un óptimo de funcionamiento que funciona en forma equivalente entre tratamientos en términos de biofertilidad. Esta idea surge de la observación de la aparente pérdida de potencia de estos indicadores para distinguir los casos agrícolas entre sí hacia el final del proyecto en el año 2019, lo cual se podría explicar si todos los suelos con diferentes intensificaciones y diversificaciones alcanzaron un óptimo similar con el paso del tiempo. Una sugerencia de que eso podría suceder es el hecho de haber encontrado en 2018 proporciones similares de los microagregados del suelo (Figura 2.5.15) para el caso de La Matilde. Podríamos interpretar que la actividad biológica en este aspecto estructural alcanza un valor máximo u óptimo y que el mismo se refleja en actividades biológicas funcionales similares. Esta posibilidad queda sugerida también al comparar la imagen de 2015 y de 2019 para el

establecimiento San Nicolás (Figura 2.5.21), donde encontramos para 2019 una diferencia entre la pastura y el resto de los manejos agrícolas que se confunden aparentemente más que antes. Dado que entre 2015 y 2019 hubo un aumento de actividades enzimáticas medidas y se agregó en 2019 un caso más de tratamiento (la pastura que pasó a agricultura), repetimos el análisis de los datos incluyendo la misma cantidad de actividades enzimáticas y los mismos tratamientos, en los tres establecimientos y comparando los datos de 2015 y 2019 solamente. La figura 2.5.22 muestra que no aparece una gran diferencia en la separación de tratamientos entre 2015 y 2019.

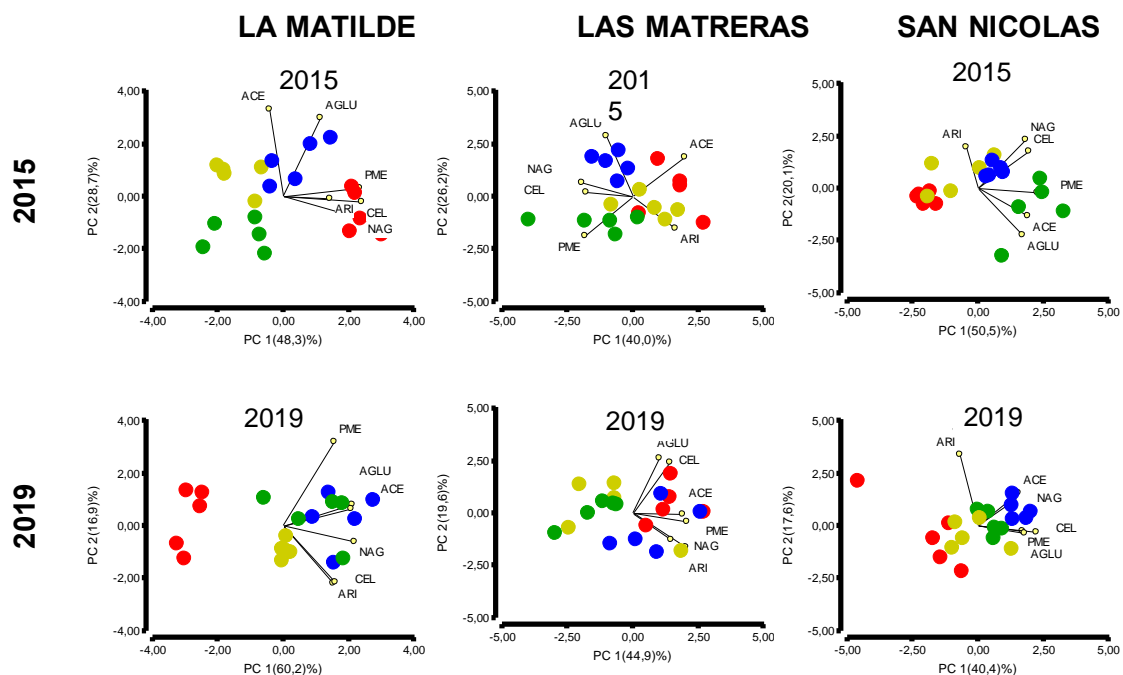


FIGURA 2.5.22. Perfiles de enzimas para 6 sustratos comparando la separación de las muestras por tratamiento de intensificación y diversificación de rotación de cultivos (excluyendo la pastura) entre el año 2015 y 2019.

Habiendo analizado el comportamiento de los perfiles enzimáticos como Indicadores biológicos y retomando lo observado en la Figura 2.5.18 donde los suelos se ordenan según su IIR independientemente del sitio de muestreo, podemos preguntarnos si:

¿los valores absolutos de las actividades enzimáticas funcionan como indicadores de calidad del suelo relativos a la intensificación de las rotaciones?

Para responder a estas preguntas analizamos la correlación que existe entre los valores de actividades enzimáticas y los valores del IIR como estimador de la Intensificación de la rotación de cultivos (IIR). Dado que hemos visto el carácter dinámico de los indicadores biológicos, vamos a hacer estos análisis para los datos de 2015 y de 2019 para ver de que manera evolucionaron estas propiedades.

La Figura 2.5.23 muestra que en 2015 solamente dos enzimas se comportan como indicadores de calidad del suelo que correlacionan con los valores de Intensificación de las rotaciones, la N-Actetilglucosidasa también llamada Quitinasa, enzima del ciclo del N degradadora de la quitina, uno de los mayores polímeros presentes en la naturaleza y la cellobiohidrolasa, del ciclo del C, degradadora de la celulosa. En el año 2019 la cantidad de actividades enzimáticas que correlacionan con el IIR sube a 7 enzimas ($p < 0.01$) o 9 ($P < 0.10$) (Figura 2.5.24).

2015

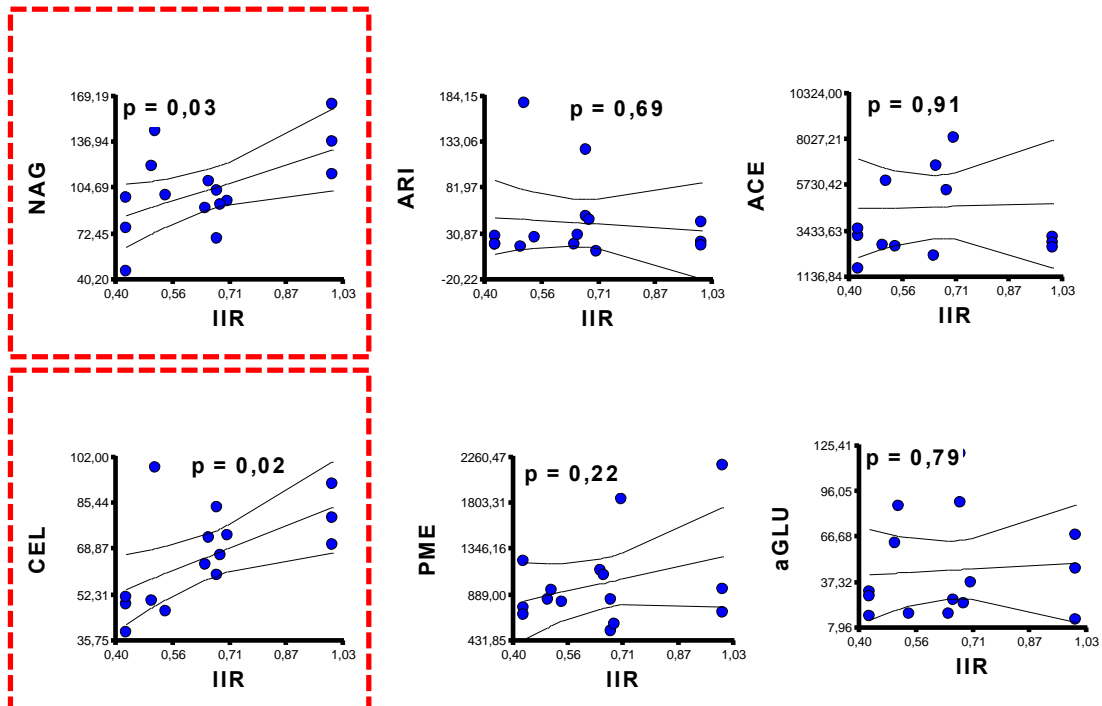


FIGURA 2.5.23. Correlación lineal entre las actividades enzimáticas del suelo y el valor de IIR tomando los casos analizados en los tres establecimientos en mayo de 2015. Se remarca en rojo los casos con correlaciones significativas. Las líneas curvas que flanquean la recta de regresión delimitan el 95% de confianza.

2019

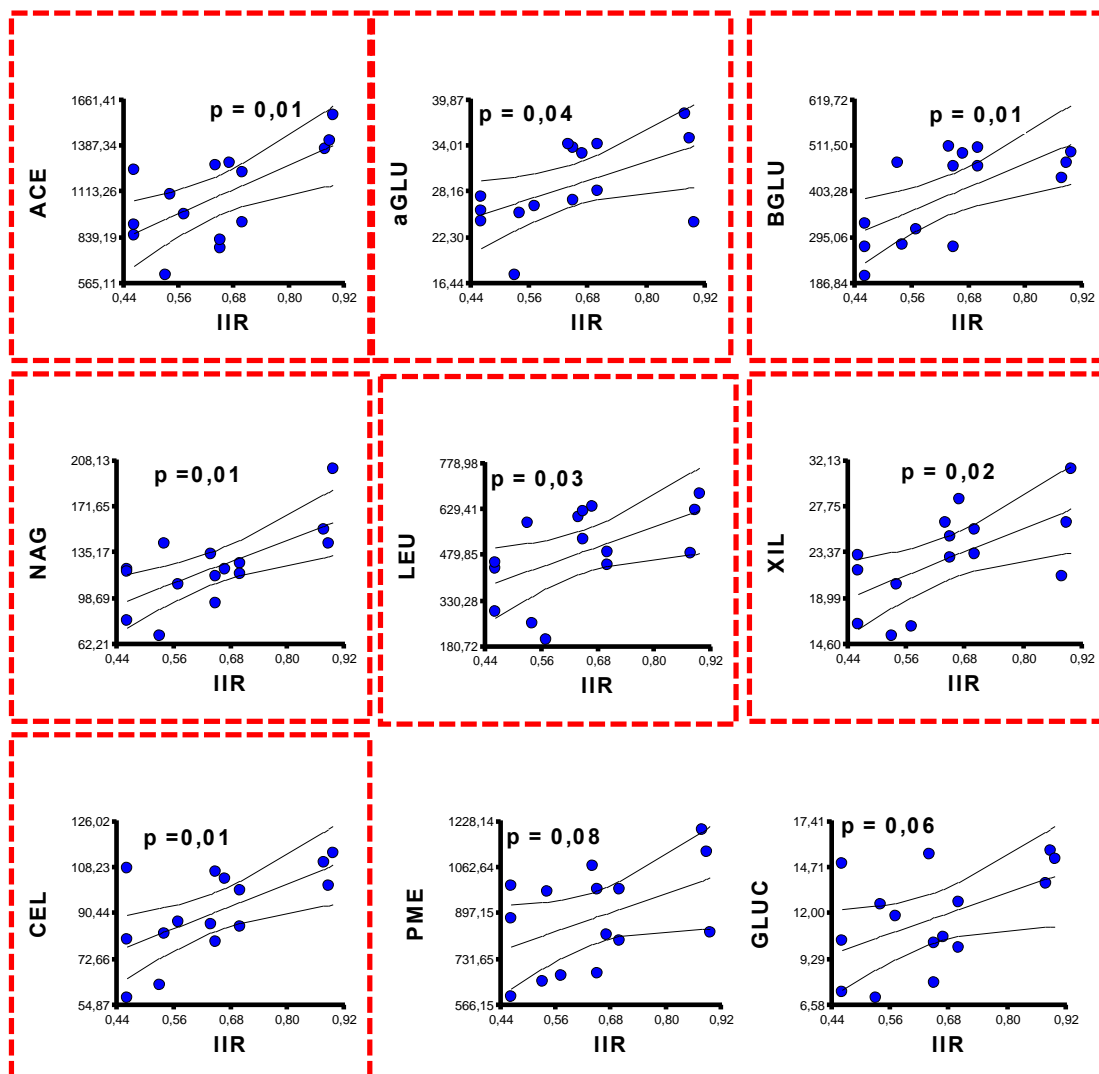


FIGURA 2.5.24. Correlación lineal entre las actividades enzimáticas del suelo y el valor de IIR tomando los casos analizados en los tres establecimientos en mayo de 2019. Se remarca en rojo los casos con correlaciones significativas. Las líneas curvas que flanquean la recta de regresión delimitan el 95% de confianza.

¿Las actividades enzimáticas pueden servir para diagnosticar el estado de salud del suelo agrícola?

Para responder esta nueva pregunta y cerrar el análisis de las actividades enzimáticas para el caso de estudio presente del efecto de las intensificaciones y diversificaciones de las rotaciones en Chacra Pergamino, vamos a hacer uso de la teoría estequiométrica que la ecología aplica al análisis de la fisiología o funcionamiento de los suelos (Sinsabaugh y col., 2008). Esta teoría y abordaje de estudio es relativamente nuevo y en los últimos años han surgido análisis de metadatos de estudios en suelos de todo el planeta que han permitido reconocer para los suelos prístinos una relación de valor constante entre los ciclos del C, P y N que sugiere que un suelo en estado de funcionamiento armónico con su medio, es decir en un estado de salud del suelo, funcionan de modo coordinado y regulado. Suelos de muy diferente origen y ambiente presentan la misma ecuación de relación de actividades enzimáticas que sirven como estimadores del valor cuantitativo de la actividad de los

ciclos de incorporación de los elementos C, N y P. La Figura 2.5.25 muestra el comportamiento de los suelos prístinos y lo que muestran los suelos de Chacra Pergamino, independientemente del sitio y tratamiento o rotación de cultivos (Figura 2.5.26), que se ajustan a una ecuación prácticamente idéntica.

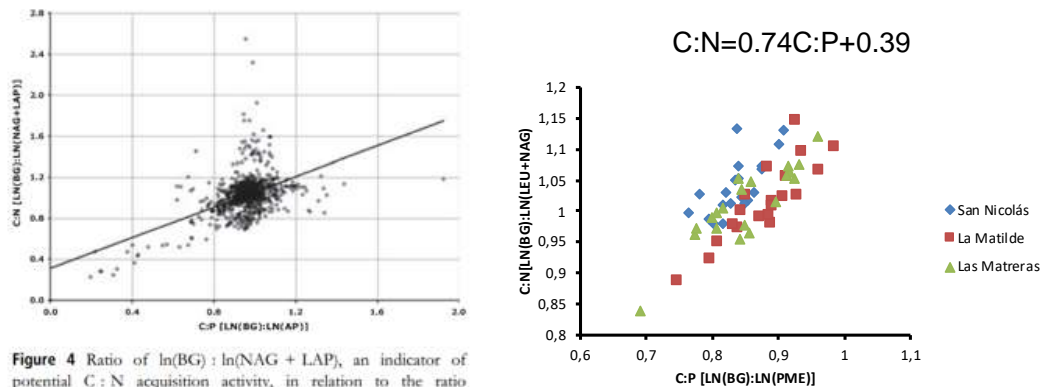


Figure 4 Ratio of $\ln(\text{BG}) : \ln(\text{NAG} + \text{LAP})$, an indicator of potential C : N acquisition activity, in relation to the ratio $\ln(\text{BG}) : \ln(\text{AP})$, an indicator of potential C : P acquisition activity. The centroid is 0.95 ± 0.15 (SD) for C : P and 1.02 ± 0.20 for C : N values > 1.2 for either ratio constrain values of the complementary ratio. The regression C : N = 0.75 (C : P) + 0.31 has an R^2 value of 0.28 , $n = 929$.

	LA Matilde		Las Matreras		San Nicolás	
	C:N	C:P	C:N	C:P	C:N	C:P
Pastura	0.97 A	0.82 A	1.01 AB	0.87 B	1.01 A	0.83 AB
75% gram	1.00 A	0.89 B	1.06 B	0.93 C	1.03 A	0.84 AB
Arveja	1.08 B	0.93 B	0.96 A	0.78 A	1.06 A	0.81 A
Típica	1.01 A	0.88 B	1.01 AB	0.82 A	1.06 A	0.86 B

FIGURA 2.5.25: relaciones de actividades enzimáticas C:N vs. C:P como relaciones de los logaritmos de sus actividades enzimáticas absolutas, según (referencia) que determina el comportamiento de los suelos prístinos. La ecuación de ajuste de los suelos de Chacra Pergamino para los valores de sus muestras 0-5 cm de 2018 prácticamente iguala a los valores de bibliografía.

Un análisis más detallado muestra que este comportamiento es independiente de la rotación de cultivos como lo muestra la siguiente figura:

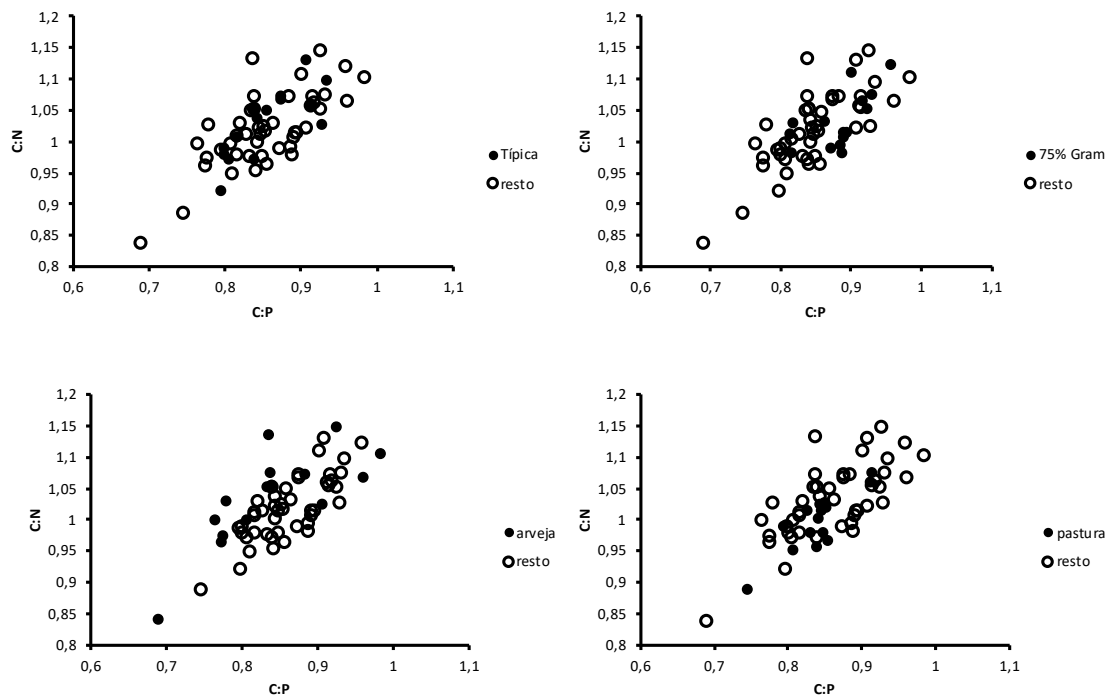


FIGURA 2.5.26. En la nube de puntos (muestreo 2018, 0.5 cm) de los suelos de Chacra Pergamino no se observa ningún ordenamiento particular de los casos por sitio o por rotación, siendo todos parte de la nube de comportamiento estequiométrico

Dado que observamos una dinámica de transformación de los suelos por la intensificación de la rotación de cultivos que se verifica con el paso del tiempo en sus perfiles enzimáticos y que también se ve afectada en una dinámica en profundidad, nos preguntamos qué sucedería al analizar el comportamiento de los valores de los diferentes muestreos y a diferentes profundidades. En el análisis que muestra la Figura 2.5.27, observamos que los puntos se acomodan cada vez en forma menos dispersa en la zona de fisiología estequiométrica a medida que los muestreos son más avanzados en el tiempo, es decir que el sistema acumula mayor historia de manejo similar. Además, se observa menor dispersión en las muestras de 0-5 cm que en las de 5-10 cm, en concordancia con el efecto de modificación de los perfiles enzimáticos en profundidad con el paso del tiempo (ver figura 9)

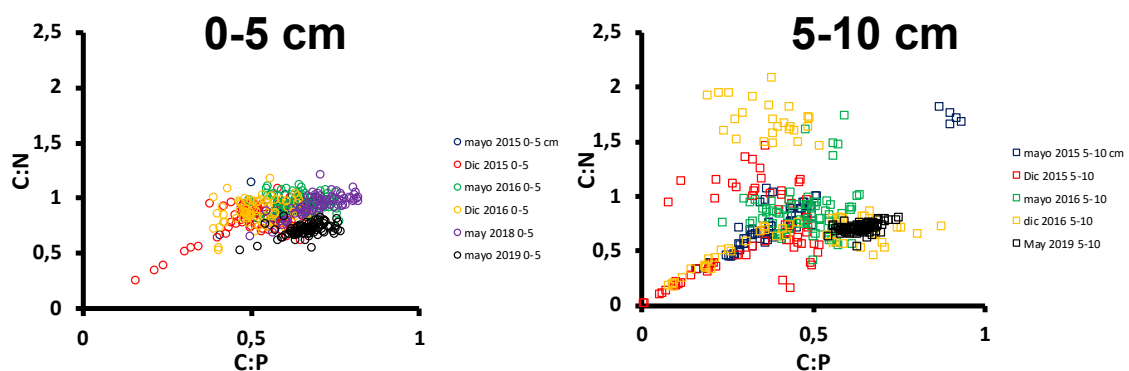


FIGURA 2.5.27. En la nube de puntos de los suelos de Chacra Pergamino no se observa ningún ordenamiento particular de los casos por sitio o por rotación, siendo todos parte de la nube de comportamiento estequiométrico

Los resultados que acabamos de discutir muestran claramente que los suelos bajo rotaciones intensivas en el Proyecto Chacra Pergamino funcionan en forma regulada y armónica como lo hacen los suelos prístinos, es decir, esta estimación de comportamiento estequiométrico del suelo en su metabolismo de C, P y N estaría marcando un criterio de salud para estos suelos.

Estudios previos muestran que la rotación de cultivos es per sé una buena práctica agrícola y que el caso de rotación típica de menor IIR en estos ensayos de Chacra Pergamino, es de todos modos una excelente rotación con muy buenas prestaciones y comportamiento biológico como lo mostraron los resultados del proyecto BIOSPAS.

Si este análisis de relaciones de actividades enzimáticas funciona como un análisis de salud de suelo debería marcar diferencias con suelos deteriorados como sojizados. **Para responder a esta cuestión analizamos con este mismo criterio los suelos sojizados con monocultivo de soja, con o sin cultivos de cobertura**, del ensayo del establecimiento Don Eduardo anteriormente mencionado. Los resultados que se muestran en la Figura 2.5.28 corroboran esta hipótesis y muestran como los suelos sojizados se escapan de esta zona de equilibrio metabólico o fisiológico, más aun cuando el monocultivo de soja no tiene en su manejo ningún cultivo de cobertura. A modo de control interno, un lote con historia de suelo de alta sojización que comenzó a trabajarse con rotación intensiva de cultivos e incorporación de cultivos de cobertura muestra valores que se acercan a la curva de los suelos prístinos o suelos de Chacra Pergamino.

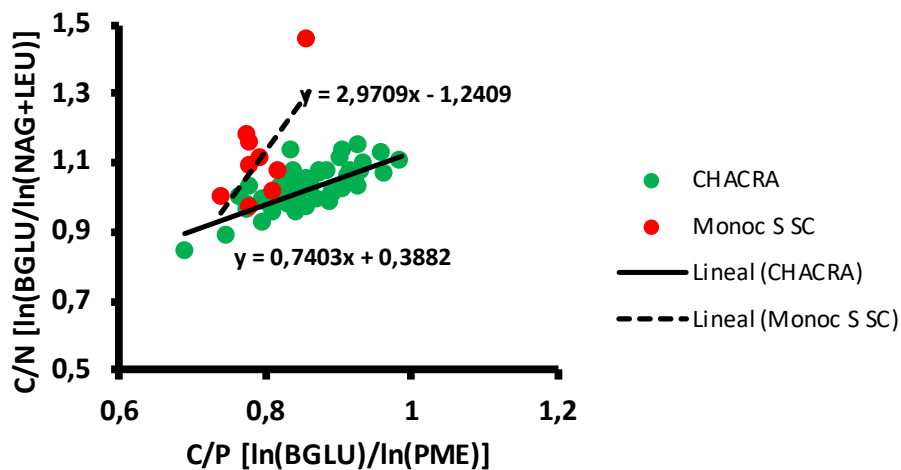
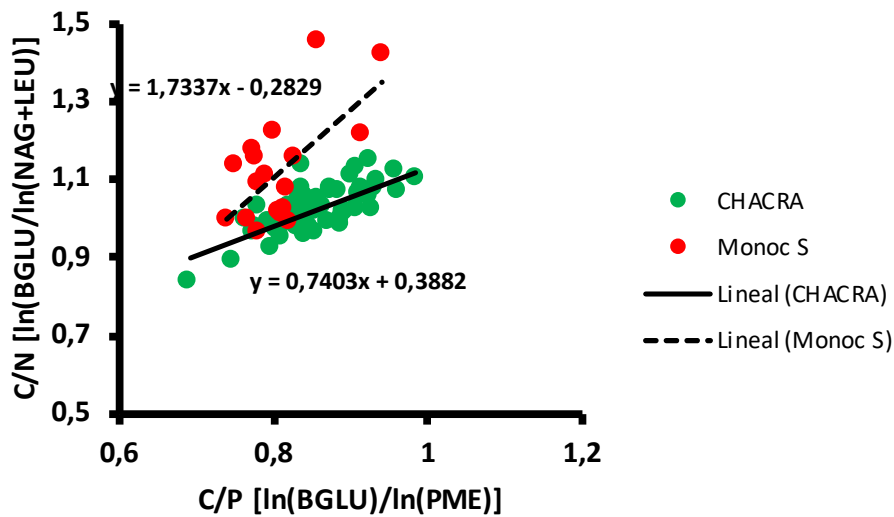
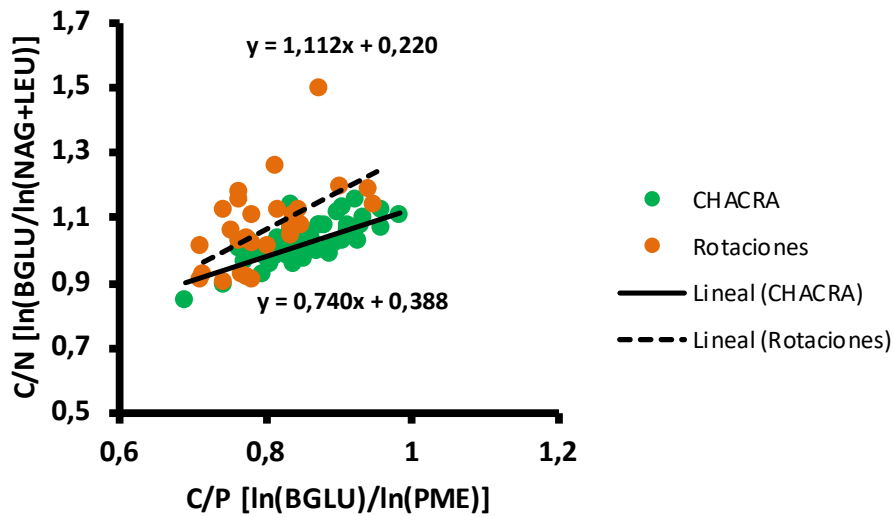


FIGURA 2.5.28. Análisis de relaciones estequiométrica de las actividades enzimáticas de los suelos de Chacra Pergamino (pintados en verde) y su comparación con los suelos sojizados pintados en rojo y los suelos de otras intensificaciones de rotaciones sobre una historia de sojización (puntos naranjas).

CONCLUSIONES ACERCA DE LAS ENZIMAS DEL SUELO COMO INDICADORES BIOLÓGICOS DE CALIDAD Y SALUD

Las enzimas son los catalizadores biológicos de los sistemas vivos, es decir, los componentes responsables de que todos los procesos de transformación de la materia ocurran a temperatura y presión ambiente en un tiempo compatible con el desarrollo de la vida, en todas sus formas. De esta manera la vida puede ser pensada como una hiperquímica. La energía que se libera de las reacciones químicas a partir de los procesos de degradación y combustión (oxidación final por el oxígeno del aire) de la materia, se acopla de modo molecular para proveer energía a los procesos de síntesis de nuevas sustancias necesarias para generar estructuras para construir nuevas células y nuevos organismos. Todos estos procesos químicos en su conjunto constituyen lo que se conoce como metabolismo. El metabolismo, como proceso, es un sistema autorregulado que presenta numerosos niveles de regulación que le permiten ajustar sus flujos de materia para optimizar el desarrollo de la vida en el planeta. Cuando pensamos un organismo en términos fisiológicos, es decir pensamos en su funcionamiento como un sistema, interpretamos los cambios metabólicos de adaptación al ambiente como los cambios en sus actividades enzimáticas dentro del sistema para dar respuesta a los cambios externos. El sistema, con sus órganos y tejidos presenta diferentes límites o superficies de intercambio con el ambiente, dados por las membranas y diferentes paredes celulares que limitan a los organismos vivos y separan su materia viva del ambiente. Las enzimas se generan en forma intracelular, es decir son internas a la célula y se vuelven extracelulares como parte esencial del organismo vivo en aquellos organismos vivos que presentan algún tipo de sistema digestivo. En algunos casos la detección de aumentos de actividades enzimáticas puede ser diagnóstico de falta de salud por que su aumento de actividad implica la rotura de tejido y/o células y el vuelco de enzimas hacia el exterior, por ejemplo, lo que ocurre con algunas enzimas que aumentan en sangre (el exterior "interno" a nuestros órganos y tejidos) en casos de hepatitis o problemas de corazón.

Las enzimas del suelo constituyen una enorme curiosidad aún no resuelta. La historia del estudio de las enzimas del suelo indica que las actividades enzimáticas que medimos corresponden a enzimas extracelulares, estabilizadas en la matriz y estructura del suelo. No son las enzimas intracelulares de los microorganismos u organismos que habitan el suelo, donde cada organismo sintetiza sus propias enzimas. El origen de las enzimas del suelo se supone múltiple, es decir que los diferentes microorganismos y organismos que habitan el suelo desde las bacterias a las plantas pasando por todos los animales de la micro-, meso- y macrofauna del suelo aportan de sus enzimas a las enzimas extracelulares del suelo como un todo. A pesar de este origen diverso, las actividades enzimáticas del suelo pueden ser caracterizadas cinéticamente y se comportan bioquímicamente como cualquier enzima conocida. Al ser las enzimas un punto de regulación importante del sistema, la variación en sus niveles de actividad es una característica intrínseca al sistema. Es decir, cuando estudiamos las enzimas del suelo estamos midiendo la actividad de un sistema complejo que en su mayoría nos es desconocido.

La posibilidad de medir las actividades enzimáticas con sustratos fluorescentes ha permitido automatizar mucho la técnica y este hecho permite coleccionar gran cantidad de datos reproducibles a partir de una muestra de suelo. La variabilidad está en el mismo sistema suelo. La posibilidad que tuvimos de hacer diferentes muestreos a lo largo del tiempo en una estructura de ensayos con una lógica de sencilla de análisis de los efectos de la intensificación y diversificación de las rotaciones sobre las propiedades del suelo, replicado en el menos tres sitios o ambientes diferentes, nos ha permitido visualizar la dinámica de las actividades enzimáticas del suelo y sus respuestas y variaciones a los cambios de manejo en las diferentes intensificaciones y diversificaciones de rotaciones de cultivo ensayadas.

De los resultados obtenidos surge que **las enzimas del suelo** medidas por sus actividades enzimáticas, tanto como perfil de enzimas como de actividades absolutas en el caso de varias de ellas

[cellobiohidrolasa, quitinasa, fosfatasa, β -glucosidas, acetiltransferasa, β -glucosidasa, xilanas, leucinaminopeptidasa] **permiten diagnosticar el estado de salud del suelo y permiten monitorear el proceso de mejora del suelo** por cambios de manejos en sus prácticas agrícolas, al menos referidas a la intensificación de las rotaciones de cultivo. Por último, **aparecen como indicadores de biofertilidad del suelo** que se traduce en la productividad en rinde del mismo. Estas conclusiones se sacan en términos relativos a los diferentes tratamientos analizados y comparados. La variabilidad antes mencionada y la coherencia interna en la variación de los resultados obtenidos, marcan la necesidad y la posibilidad de encontrar valores de referencia para estas actividades enzimáticas, en diferentes suelos, probablemente asociados a diferentes ambientes de producción.

Habiendo alcanzado estas conclusiones parciales sobre la relación causa-efecto entre la intensificación y diversificación de las rotaciones y las actividades las enzimas del suelo y comenzando a comprender parcialmente su dinámica, analizamos a continuación el comportamiento de las otras variables biológicas, medidas en las mismas muestras.

4. PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS DE LIPIDOS TOTALES DEL SUELO COMO INDICADORES BIOLÓGICOS

**Dinámica del efecto sitio y efecto tratamiento en los perfiles de los ácidos grasos de los lípidos totales del suelo y su variación a partir del manejo diferencial del suelo por intensificación y diversificación de las rotaciones.
(2016-2018-2019)**

Los lípidos son sustancias biológicas de funciones muy diversas y que tienen en común ser solubles en solventes orgánicos e insolubles o poco solubles en agua. Dentro de la diversidad de sustancias que se incluyen en los lípidos, hay muchas que tienen en sus moléculas, ácidos grasos como componentes fundamentales de la sustancia a la cual le otorgan la hidrofobicidad característica de los lípidos. Hay dos grandes grupos de sustancias que contienen ácidos grasos en su constitución: *los fosfolípidos*, constituyentes de membranas en la mayoría de los seres vivos y *los lípidos neutros (mono-, di- y triglicéridos, principalmente)* que son sustancias no polares cuya función principal es la de ser reserva energética de las células de los organismos. En nuestros estudios de lípidos de suelos comenzamos analizando los fosfolípidos y lípidos neutros del suelo (Ferrari et al 2015) pero luego aprendimos que el análisis de los ácidos grasos de los lípidos totales del suelo (Ferrari et al 2018) ofrecen información complementaria y aparecen una serie de sustancias como indicadores de manejo que son propias de la parte lipídica de la materia orgánica que no se detecta cuando se analizan las fracciones de fosfolípidos o lípidos neutros. Históricamente se ha trabajado sobre la fracción de fosfolípidos como una estrategia de análisis de los lípidos de membranas de los microorganismos. En ese enfoque, el reconocimiento de algunos ácidos grasos como marcadores de algunos grupos de bacterias, hongos y protistas hizo suponer que con esta estrategia se podía tener acceso a una descripción de las comunidades microbianas a partir del análisis de fosfolípidos en el suelo. El enfoque tuvo serias críticas posteriores por los mismos científicos que habían propuesto su uso, cuando años más tarde reconocieron las limitaciones de la técnica aplicada a sistemas tan complejos como el suelo donde la mayoría de los microorganismos son aún desconocidos y solamente detectables por las técnicas del ADN. Teniendo en cuenta estas limitaciones y nuestras observaciones de la mayor potencia del análisis de los ácidos grasos de los lípidos totales del suelo, hemos decidido utilizar esa técnica para caracterizar los suelos de estudio e ir construyendo conocimiento acerca de la información que brinda. En una muestra de suelo por la técnica cromatográfica que tenemos disponible podemos detectar e identificar unos 70-80 ácidos grasos diferentes y no solo detectarlos sino medir su abundancia relativa, la combinación de ambos datos genera un perfil lipídico, como si fuese una huella dactilar lipídica propia de la muestra. Por otra parte, sabemos que los ácidos grasos, que son moléculas hidrocarbonadas que incorporan hidrofobicidad a las sustancias, pueden a su vez presentar modificaciones químicas como insaturaciones, metilaciones, hidroxilaciones, sustituciones cíclicas. Todas ellas son modificaciones

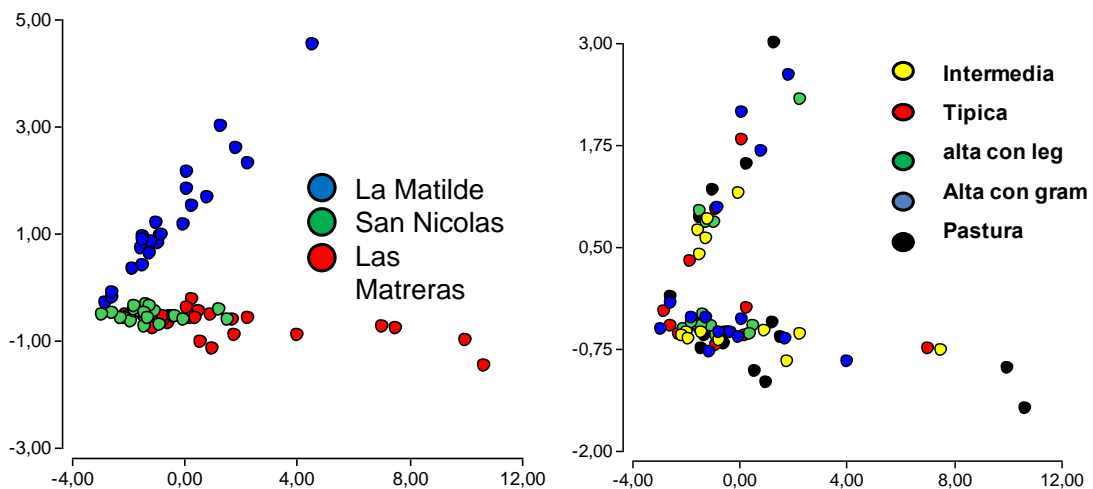
químicas que alteran la fluidez de aquellas estructuras lipídicas de las que forman parte, membranas, cubiertas hidrofóbicas, etc. modificando las proporciones de estos grupos de modifica la fluidez de estos sistemas. La fluidez es una propiedad intrínseca a los sistemas vivos y la misma se modifica por efectos de la temperatura. Por lo tanto, la regulación de las proporciones de estos diferentes tipos de ácidos grasos le permite a los seres vivos tener un mecanismo de adaptación a los cambios de temperatura para seguir un funcionamiento normal. No es el único mecanismo, pero es uno muy importante en la biología. En el análisis del perfil lipídico también podemos analizar los diferentes tipos de grupos químicos de ácidos grasos que aparecen en la muestra (definidos en basa a las modificaciones químicas antes mencionadas) y que también pueden funcionar como indicadores biológicos.

Con estos conceptos como fundamento nos propusimos analizar los perfiles de ácidos grasos de los lípidos totales del suelo (que llamaremos *perfiles lipídicos* para acortar el nombre) en las muestras de los suelos de chacra y analizar si funcionan como indicadores biológicos e intentar aprender algo más acerca de los mismos y su significado en la bioquímica del suelo. Nos planteamos preguntas similares a las que nos hicimos respecto de las enzimas

¿existe un efecto sitio para los perfiles lipídicos de los suelos? ¿cómo es su dinámica?

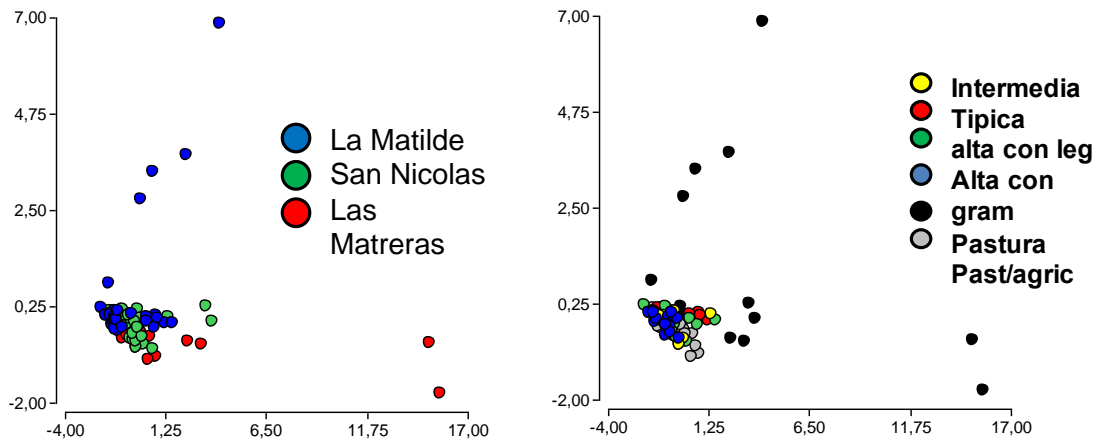
Para responder a esta pregunta, analizamos en forma multivariial el conjunto de perfiles lipídicos de todas las muestras incluyendo los tres establecimientos estudiados en el mismo gráfico.

2016



Perfiles lipídicos de acidos grasos individuales

2018



Perfiles lipídicos de ácidos grasos individuales

Figura 2.5.29. Análisis de similitud de perfiles de lípidos por componentes principales de todas las muestras de los tres establecimientos. Arriba para el año 2016 y abajo para el año 2018. A la izquierda los puntos se identifican por establecimiento y a la derecha por tratamiento de intensificación.

Los resultados muestran (Figura 2.5.29) un claro efecto sitio en el muestro de 2016 que se pierde por un peso diferencial importante de las pasturas en 2018. La separación de tratamientos por análisis de componentes principales no arroja un agrupamiento de las muestras claras por tratamiento aún dentro de cada sitio, cuando se manejan todos los datos juntos.

Cuando el análisis de componentes principales no separa tan bien los tratamientos, se puede utilizar otro análisis multivariial, el análisis de discriminantes. Con este análisis se define si los datos permiten o no la separación de los tratamientos y puede analizarse cuales son las variables de mayor peso. Siguiendo con una mirada general, aplicamos el análisis de discriminantes al conjunto de todos los datos (Figura 2.5.30).

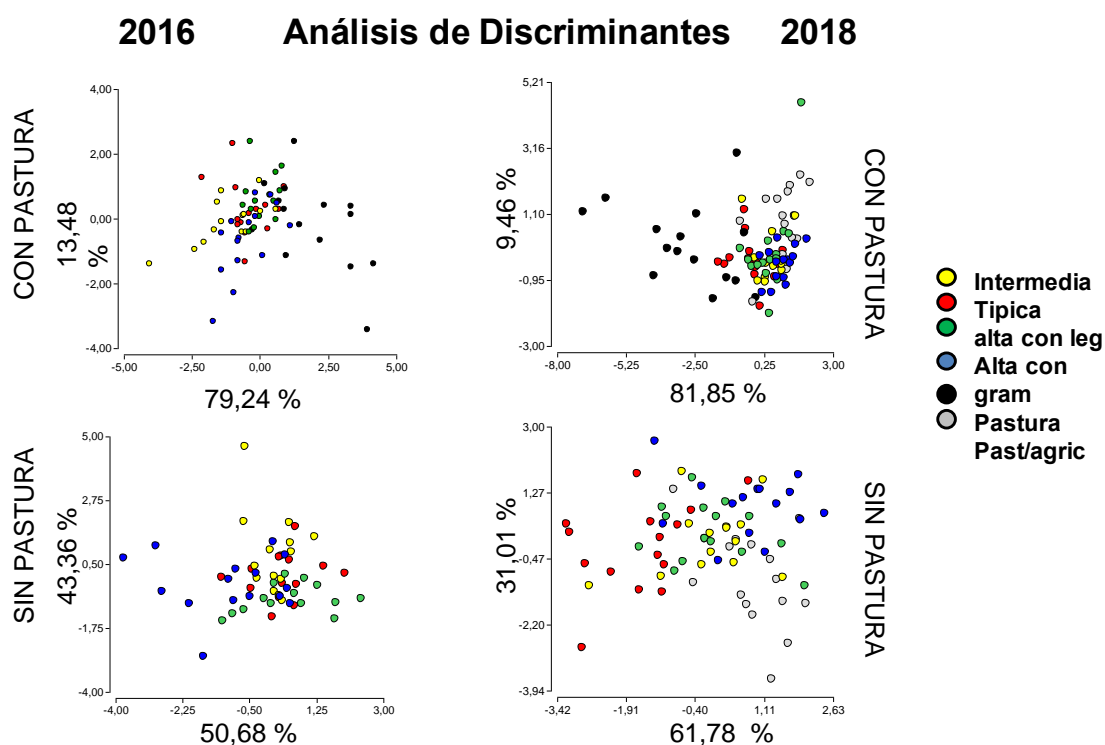


FIGURA 2.5.30. Análisis de discriminantes por tratamiento, para los suelos con diferente intensificación de rotación, para todas las muestras juntas de los tres establecimientos y utilizando los perfiles lipídicos del conjunto de ácidos grasos individuales. El análisis se repite excluyendo la pastura para potenciar la posible discriminación de los casos agrícolas.

Aparentemente el efecto de los tratamientos de intensificación se acumula en el tiempo pues la discriminación resulta mayor en 2018 que en 2016, cuando simultáneamente se había perdido el efecto sitio (confrontar con Figura 2.5.28). De esta forma, los resultados muestran una evolución del sistema con el paso del tiempo que permite lograr, en 2018, la discriminación de los tratamientos aún con el efecto sitio superpuesto. Es decir, el comportamiento de los perfiles de ácidos grasos de los lípidos totales del suelo muestra una sensibilidad suficiente para discriminar tratamientos y una dinámica similar a lo que sucede con los perfiles enzimáticos.

A continuación, analizamos los datos para ver si los perfiles de ácidos grasos agrupados según sus características químicas permiten separar los tratamientos aún analizando los tres sitios juntos (Figura 2.5.30). Los ácidos grasos se agrupan químicamente según las características de su cadena hidrocarbonada: lineales (LIN), monoinsaturados (MUFA), poliinsaturados (PUFA), cíclicos (CYC), hidroxilados (HID), metilados (MET), ramificados (RAM), e hidroxilados y ramificados (HB).

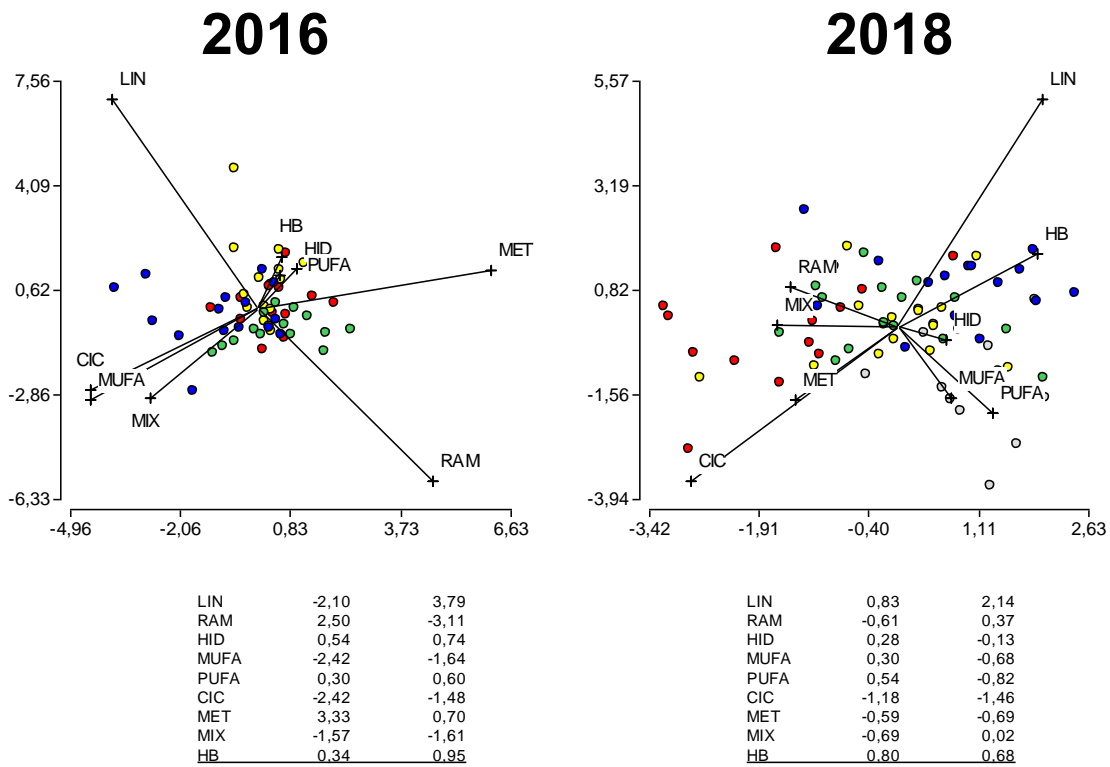


FIGURA 2.5.31. Análisis de discriminantes por tratamiento, para los suelos con diferente intensificación de rotación, para todas las muestras juntas de los tres establecimientos, utilizando los perfiles lipídicos de los ácidos grasos agrupados según su característica química. El análisis se realiza excluyendo la pastura para potenciar la posible discriminación de los casos agrícolas. Las tablas muestran el peso de los diferentes grupos químicos en las funciones de discriminantes para los ejes x e y respectivamente. El código de colores es igual a la Figura 20.

El análisis de discriminante sobre las muestras caracterizadas por su perfil ácidos grasos tomados según sus grupos químicos, muestra que los tratamientos logran separarse parcialmente, mejor en 2018 que en 2015, pero el peso de los diferentes tipos de ácidos grasos y su asociación con los tratamientos varía con el momento de muestreo (Figura 2.5.31). Este resultado habla de una gran dinámica y de una complejidad del sistema que intentaremos simplificar analizando los casos sitio por sitio

¿Cómo se ve la separación de tratamientos por los perfiles lipídicos analizados sitio por sitio y como es su dinámica?

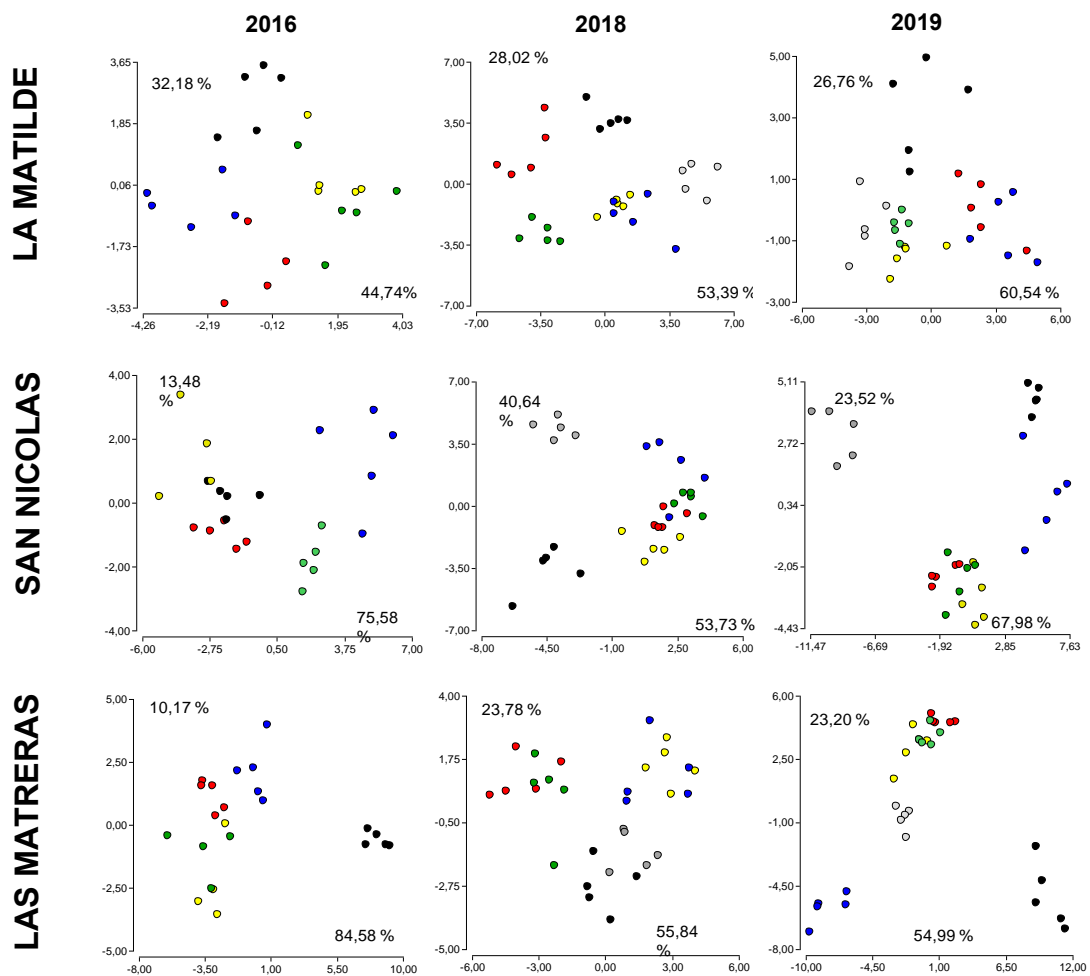


FIGURA 2.5.32. Análisis de discriminantes por tratamiento, para los suelos con diferente intensificación de rotación, para cada sitio y en los muestreos de fin de otoño para los tres años analizados, sobre la base de los perfiles de lípidos considerando todos los ácidos grasos que se detectan en forma individual. El código de colores identifica a las rotaciones y es igual al de la Figura 19 (rojo, típica; verde, alta con leguminosas (luego denominada arveja); amarilla, intermedia también alta con leguminosa, azul, alta con gramíneas; negro pastura y gris pastura que pasó a agricultura en 2016).

En general, la separación de los tratamientos por los perfiles lipídicos es clara, es similar en los tres establecimientos, muestra un agrupamiento coherente de las muestras con la naturaleza de las rotaciones que estamos analizando y vemos que se sostiene en el tiempo (Figura 2.5.32). En algunos casos, se observa que la pastura (puntos negros) se diferencia del resto de los tratamientos agrícolas y si en esos casos se repite el análisis de discriminación sin incluir los datos de la pastura, la discriminación es aún más clara entre los tratamientos.

La primera interpretación que podemos elaborar a partir de estos resultados es la siguiente: **se pueden discriminar los suelos con diferente intensificación y diversificación de las rotaciones por sus perfiles lipídicos, quiere decir que el perfil lipídico del suelo se modifica y responde a la intensificación y diversificación de la rotación.** El análisis de discriminante permite fácilmente identificar cuales son los ácidos grasos con mayor peso en la función discriminante. De es este modo podríamos encontrar indicadores biológicos de naturaleza lipídica asociados a los procesos de intensificación. Hasta ahí todo bien, el problema que apareció fue que los ácidos grasos relevantes en la discriminación de los tratamientos no se repetían entre establecimientos y tampoco entre los sucesivos años de muestreo.

Tampoco encontramos resultados claros de algunos marcadores taxonómicos (ácidos grasos que se toman como señal de la presencia de determinados grupos microbianos) que estuviesen asociados particularmente a alguna de las rotaciones ensayadas; salvo la presencia de 16:1w5c, marcador de micorrizas, con valores elevados en las pasturas.

Intentando un enfoque alternativo, analizamos sitio por sitio la discriminación de los tratamientos, *pero agrupando los ácidos grasos según su naturaleza química* (saturados, ramificados, hidroxilados, metilados, insaturados, etc.) y encontramos que la discriminación también es posible (Figura 2.5.33).

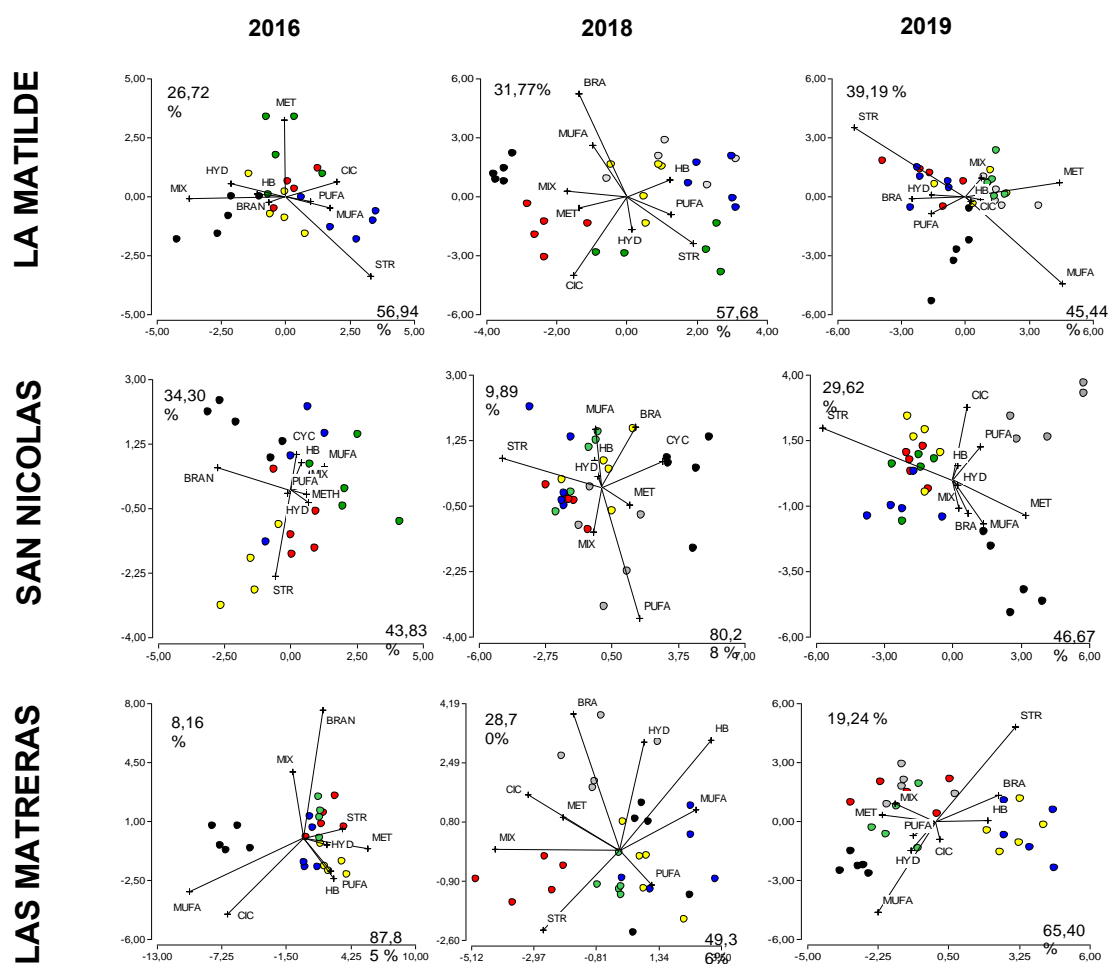


FIGURA 2.5.33. Análisis de discriminantes por tratamiento, para los suelos con diferente intensificación de rotación, para cada sitio y en los muestreos de fin de otoño para los tres años analizados, sobre la base de los perfiles de lípidos considerando los ácidos grasos agrupados según sus características químicas (saturados, ramificados (iso y anteiso), con ciclos, hidroxilados, monoinsaturados, polinsaturados, mixtos). El código de colores identifica a las rotaciones y es igual al de la Figura 20 (rojo, típica; verde, alta con leguminosas (luego denominada arveja); amarilla, intermedia también alta con leguminosa, azul, alta con gramíneas; negro pastura y gris pastura-agricultura (2016)).

De estos resultados (Figura 2.5.33) surge una segunda interpretación y es que **el efecto de la intensificación y diversificación de las rotaciones afecta los perfiles lipídicos modificando su composición química**. Sin embargo, al analizar el peso de los diferentes grupos químicos en la función de discriminación de los diferentes análisis por establecimiento y por año vimos que el orden de relevancia de los grupos químicos no se repetía claramente entre los diferentes establecimientos y los muestreos.

Si bien los perfiles lipídicos claramente responden a la intensificación y diversificación de la rotación algo se nos estaba escapando para establecer un índice de calidad de los suelos de base lipídica. Para resolver esta cuestión hicimos un análisis de la estructura de los datos teniendo en cuenta cada establecimiento y cada año. En un primer análisis simplemente fuimos listando los ácidos grasos que aparecían como relevantes para la discriminación de los tratamientos, en forma consecutiva año a año (2016, 2018 y 2019) comenzando por los datos de los muestreos en el establecimiento San Nicolás, luego los de La Matilde y finalmente los de Las Matreras (Figura 2.5.34).

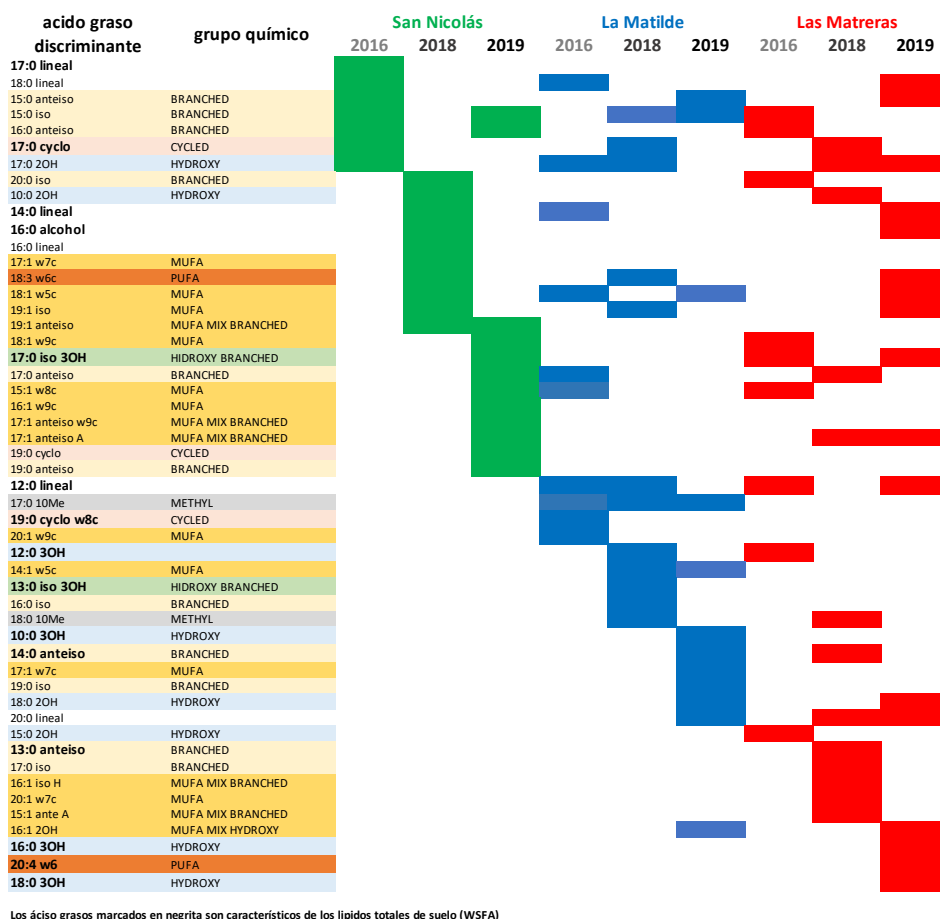


FIGURA 2.5.34. Listado de los ácidos grasos relevantes para la función de discriminación de cada uno de los grafico mostrados en la Figura 21. La carga de los datos se hizo comenzando por los datos del establecimiento San Nicolás y en orden creciente de los años de muestreo y siguiendo por los datos de la Matilde y Las Matreras. La presencia de los ácidos grasos en la función discriminante de cada caso se registra como celda coloreada. Ver texto para mayor explicación.

Lo primero que surge de esta tabla y con esta metodología de la carga de los datos (Figura 2.5.34), es que el perfil de lípidos evoluciona año a año y esto se repite en cada establecimiento. La mayoría de los ácidos grasos individuales no son coincidentes entre establecimientos y años de muestreo.

Para avanzar en el análisis de la estructura de los datos, clasificamos los ácidos grasos listados (columna 2) y los coloreamos según el grupo químico de pertenencia (colores de las celdas en las filas de las columnas 1 y 2). De este modo, en esta figura 2.5.34 parece observarse que a medida que pasa el tiempo, en cada establecimiento, el perfil de ácidos grasos que discriminan los tratamientos se hace cada vez mas complejo en el sentido de incluir mayor cantidad de ácidos grasos insaturados, con más sustituyentes y/o más largos.

Para verificar esta última idea, reordenamos las filas de la tabla de la figura 2.5.34 teniendo en cuenta exclusivamente un criterio de complejidad estructural creciente de los ácidos grasos, en términos de sustituciones e insaturaciones. Bioquímicamente hablando es un orden que tiene en cuenta las características de empaquetamiento que se pueden dar a nivel molecular entre los ácidos grasos, esto disminuye con el número y posición de las sustituciones e insaturaciones en la cadena hidrocarbonada de los ácidos grasos. También se interpreta, en términos bioquímicos y fisiológicos, que esta complejidad bioquímica de los ácidos grasos se relaciona con la fluidez de las estructuras en las cuales estos ácidos grasos forman parte. Una vez reordenada la tabla obtenemos una nueva tabla que se muestra en la Figura 2.5.35. En esta nueva tabla aparece más clara esa tendencia a complejizar el perfil de lípidos en el tiempo, en los tres establecimientos. Para darle un valor cuantitativo a esta observación cuantitativa, le asignamos un número de ubicación en la columna de los ácidos grasos ordenados por la complejidad ya explicada. Luego sumamos el valor que le queda asignado a cada ácido graso de cada perfil lipídico en cada establecimiento y surge un valor similar para un mismo año entre los establecimientos y se observa que ese valor aumenta para cada establecimiento en los sucesivos muestreos.

Si una de las conclusiones del proyecto Chacra es la mejora en la calidad biológica y de biofertilidad de los suelos que se traduce incluso en una mayor productividad e incorporación de C al suelo, este valor numérico asignado a los perfiles de lípidos relevantes del suelo estaría indicando esa mejora desde una mirada bioquímica y funcional del suelo.

Ácido graso relevante en la discriminación de la intensificación *	Tipo químico de ácido graso	PROYECTO CHACRA PERGAMINO									DON EDUARDO	
		2016			2018			2019			2018	
		SN	LME	LMA	SN	LME	LMA	SN	LME	LMA	ROT-CC	SOJA M
9:0 lineal	SATURADO										1	1
10:0 lineal	SATURADO										2	
11:0 lineal	SATURADO										3	3
12:0 lineal	SATURADO		4			4				4		
14:0 lineal	SATURADO		5			5				5		
16:0 alcohol	SATURADO		6			6				6		
16:0 lineal	SATURADO		7			7				7		
17:0 lineal	SATURADO		8			8				8		
18:0 lineal	SATURADO		9			9				9		
20:0 lineal	SATURADO									10		
11:0 iso	RAMIFICADO									11		
11:0 anteiso	RAMIFICADO									12		11
12:0 iso	RAMIFICADO									13		
13:0 anteiso	RAMIFICADO									14		
14:0 iso	RAMIFICADO									15		
14:0 anteiso	RAMIFICADO									16		
15:0 iso	RAMIFICADO		17			17			17	17		
15:0 anteiso	RAMIFICADO		18			18			18	18		
16:0 iso	RAMIFICADO									19		19
16:0 anteiso	RAMIFICADO		20			20			20			
17:0 iso	RAMIFICADO									21		
17:0 anteiso	RAMIFICADO		22			22			22			22
19:0 iso	RAMIFICADO									23		
19:0 anteiso	RAMIFICADO									24		
20:0 iso	RAMIFICADO				25					25		
17:0 cyclo	CON CICLOPROPANO		26			26				26		
19:0 cyclo	CON CICLOPROPANO									27		
19:0 cyclo w8c	CON CICLOPROPANO									28		
10:0 2OH	HIDROXILADO									29		
10:0 3OH	HIDROXILADO									30		
12:0 3OH	HIDROXILADO									31		31
13:0 iso 3OH	HIDROXILADO RAMIFICADO									32		
15:0 2OH	HIDROXILADO									33		33
15:0 iso 3OH	HIDROXILADO RAMIFICADO									34		34
16:0 3OH	HIDROXILADO									35		
16:0 iso 3OH	HIDROXILADO RAMIFICADO									36		
17:0 2OH	HIDROXILADO		37			37				37		
17:0 3OH	HIDROXILADO		38			38				38		38
17:0 iso 3OH	HIDROXILADO RAMIFICADO									39		
18:0 2OH	HIDROXILADO									40		
18:0 3OH	HIDROXILADO									41		
17:0 10Me	METILADO		42			42				42		
18:0 10Me	METILADO									43		
14:1 w5c	MONOINSATURADO									44		
15:1 w8c	MONOINSATURADO		45			45				45		
16:1 w9c	MONOINSATURADO									46		
17:1 w7c	MONOINSATURADO									47		
18:1 w9c	MONOINSATURADO									48		
18:1 w5c	MONOINSATURADO		49			49				49		
20:1 w9c	MONOINSATURADO		50			50				50		
20:1 w7c	MONOINSATURADO									51		
14:1 iso E	MONOINSATURADO RAMIFICADO									52		
15:1 anteiso A	MONOINSATURADO RAMIFICADO									53		
16:1 iso H	MONOINSATURADO RAMIFICADO									54		
16:1 2OH	MONOINSATURADO HIDROXILADO									55		
17:1 anteiso w9c	MONOINSATURADO RAMIFICADO									56		
17:1 anteiso A	MONOINSATURADO RAMIFICADO									57		
19:1 iso	MONOINSATURADO RAMIFICADO									58		
19:1 anteiso	MONOINSATURADO RAMIFICADO									59		
18:3 w6c	POLINSATURADO									60		
20:4 w6	POLINSATURADO									61		
Indice de complejidad bioquímica** del perfil de lípidos del suelo, relevante para discriminar la intensificación de las rotaciones		173	301	262	345	549	471	460	391	622	727	192
Indice de complejidad relevante (promedio) ácidos grasos diferentes relevantes			245			455			491		28	9

FIGURA 2.5.35. Reordenamiento de las filas de la Tabla de la Figura 2.5.34 según una complejidad bioquímica creciente de los ácidos grasos listados en la primera columna. Ver texto para la explicación e interpretación de estos datos.

A modo de corroboración independiente, analizamos el caso del ensayo realizado en el establecimiento Don Eduardo (dirigido por el Dr. Alberto Peper; últimas dos columnas de la derecha de la tabla de la figura 2.5.35) en el que se estudia el efecto de la intensificación y diversificación de la rotación de cultivos sobre un suelo de historia de sojización. Aplicando el mismo análisis a este ensayo que compara monocultivo de soja con rotación y la presencia o no de un cultivo de cobertura de una mezcla compleja de especies, vemos que el índice lipídico del suelo tratado con monocultivo de soja con mínimos insumos, es sumamente más bajo que el del ensayo en que se integra y se ve que el perfil lipídico del suelo sojizado presenta mayor carga de ácidos grasos saturados y ausencia de ácidos grasos insaturados.

Con el mismo criterio podemos estimar el valor del *índice de complejidad bioquímica lipídica del suelo* (ICBLS) para los suelos de diferentes tratamientos en los casos de Chacra analizando los ácidos grasos con mayor peso en la función discriminante asociados a cada tratamiento en los gráficos de la figura 2.5.32. A modo de ejemplo podemos ver las diferencias de los valores de ICBLS para los tratamientos de rotación típica, alta con leguminosa (arveja) y de pastura, en los tres establecimientos para el año 2016 (Figura 2.5.36). Los mismos presentan una lógica coherente con lo anteriormente discutido de mayor valor para la pastura, valor intermedio para la rotación de arveja y menor valor para la rotación típica.

Ácido graso relevante en la discriminación de la intensificación *	Tipo químico de ácido graso	SAN NICOLAS 2016			LA MATILDE 2016			LAS MATRERAS 2016		
		TÍPICA	ARVEJA	PASTURA	TÍPICA	ARVEJA	PASTURA	TÍPICA	ARVEJA	PASTURA
9:0 lineal	SATURADO									
10:0 lineal	SATURADO									
11:0 lineal	SATURADO									
12:0 lineal	SATURADO	4			4			4		
14:0 lineal	SATURADO			5	5			5		
16:0 alcohol	SATURADO	6	6							
16:0 lineal	SATURADO									
17:0 lineal	SATURADO								7	
18:0 lineal	SATURADO	9							8	
20:0 lineal	SATURADO									9
11:0 iso	RAMIFICADO									
11:0 anteiso	RAMIFICADO									
12:0 iso	RAMIFICADO									
13:0 anteiso	RAMIFICADO	14			14					
14:0 iso	RAMIFICADO			15						
14:0 anteiso	RAMIFICADO									
15:0 iso	RAMIFICADO			17					17	
15:0 anteiso	RAMIFICADO	18	17	17						
16:0 iso	RAMIFICADO					19		19		
16:0 anteiso	RAMIFICADO									
17:0 iso	RAMIFICADO		20							
17:0 anteiso	RAMIFICADO									
19:0 iso	RAMIFICADO					22		22		
19:0 anteiso	RAMIFICADO									
20:0 iso	RAMIFICADO									25
17:0 cyclo	CON CICLOPROPANO		26							
19:0 cyclo	CON CICLOPROPANO									
19:0 cyclo w8c	CON CICLOPROPANO							28		
10:0 2OH	HIDROXILADO									
10:0 3OH	HIDROXILADO									
12:0 3OH	HIDROXILADO									
13:0 iso 3OH	HIDROXILADO RAMIFICADO									
15:0 2OH	HIDROXILADO									
15:0 iso 3OH	HIDROXILADO RAMIFICADO									
16:0 3OH	HIDROXILADO							35		
16:0 iso 3OH	HIDROXILADO RAMIFICADO									
17:0 2OH	HIDROXILADO	37			37					
17:0 3OH	HIDROXILADO									
17:0 iso 3OH	HIDROXILADO RAMIFICADO									
18:0 2OH	HIDROXILADO									40
18:0 3OH	HIDROXILADO									
17:0 10Me	METILADO								42	
18:0 10Me	METILADO									44
16:1 w5c	MONOINSATURADO									44
15:1 w8c	MONOINSATURADO									45
16:1 w9c	MONOINSATURADO		46	46					45	46
17:1 w7c	MONOINSATURADO				47					
18:1 w9c	MONOINSATURADO				48					48
18:1 w5c	MONOINSATURADO		49	49						49
20:1 w9c	MONOINSATURADO									
20:1 w7c	MONOINSATURADO									
14:1 iso E	MONOINSATURADO RAMIFICADO								51	
15:1 anteiso A	MONOINSATURADO RAMIFICADO								52	52
16:1 iso H	MONOINSATURADO RAMIFICADO									53
16:1 2OH	MONOINSATURADO HIDROXILADO									
17:1 anteiso w9c	MONOINSATURADO RAMIFICADO									
17:1 anteiso A	MONOINSATURADO RAMIFICADO									
19:1 iso	MONOINSATURADO RAMIFICADO									
19:1 anteiso	MONOINSATURADO RAMIFICADO									
18:3 w6c	POLINSATURADO			60						60
20:4 w6	POLINSATURADO									61
ICBLS (Índice de complejidad bioquímica del perfil de lípidos del suelo, relevante para discriminar la intensificación de las rotaciones)		88	164	192	155	236	269	170	134	217

Figura 2.5.36. Cálculo del ICBLS para los suelos de las intensificaciones rotación típica, alta con leguminosa (arveja) y pastura, correspondientes al año 2016 y para los tres establecimientos.

CONCLUSIONES ACERCA DE LAS PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS DE LÍPIDOS TOTALES DEL SUELO (WSFA) COMO INDICADORES BIOLÓGICOS DE CALIDAD DEL SUELO.

Creemos haber encontrado un nuevo indicador de calidad del suelo de base lipídica. Proponemos el nombre de Índice de Complejidad Bioquímica de Lípidos del Suelo (ICBLS). El mismo debe ser reanalizado y ajustado en su cálculo y corroborado al aplicarlo a otros casos de estudios, pero en estos casos estudiados en Chacra Pergamino parece tener coherencia.

La presencia en el listado de ácidos grasos relevantes para la discriminación de diferentes tratamientos de intensificación y diversificación de rotaciones que son exclusivos o característicos de los lípidos totales del suelo y que no aparecen en las fracciones de fosfolípidos y lípidos neutros que se han utilizado para caracterizar las comunidades microbianas del suelo, nos hace pensar que nuestro análisis refleja, más bien, una mirada de la calidad de la materia orgánica de origen biológico no necesariamente parte de los organismos vivos del suelo. Nuestra hipótesis es que estamos detectando cambios en la calidad de la materia orgánica, en particular la fracción denominada EPS (sustancias extracelulares poliméricas) responsable de la agregación de partículas en el suelo. Con estas ideas en mente, pensamos que el aumento en el tiempo de las fracciones de macroagregados en el suelo se deberían poder explicar con el cambio en la calidad química lipídica del mismo. Por supuesto este nuevo índice merece mayor profundidad de estudio y corroboración en otros casos, pero la cantidad de datos que lo sostiene en el presente trabajo, amerita presentarlo aquí como un hallazgo de este proyecto Chacra Pergamino y una propuesta de nuevo indicador biológico de calidad de suelo. Si bien nuestros resultados muestran como este indicador permite monitorear el cambio de calidad del suelo en el tiempo, el análisis de diferentes casos en el futuro, en diferentes ambientes, podrá permitir encontrar valores de referencia.

5. ESTRUCTURA DE COMUNIDADES DE BACTERIAS (MICROBIOMA). Análisis del efecto sitio y efecto tratamiento en los microbiomas de bacterias del suelo y su variación a partir del manejo diferencial del suelo por intensificación y diversificación de las rotaciones (2016-2018)

Para responder a la pregunta **¿los microbiomas del suelo se modifican con la intensificación y diversificación de las rotaciones?** hicimos extracciones de ADN directamente de las muestras de suelo y obtuvimos, por técnicas de secuenciación masiva (servicio realizado en el INDEAR) las secuencias del gen 16S ribosomal de las bacterias presentes en la muestra de suelo. En cada muestra se obtienen del orden de las 100 a 150 mil secuencias individuales que luego, por técnicas de análisis informático se ordenan por similitud de secuencias de bases del ADN para obtener una estructura de la comunidad bacteriana. Esta estructura de la comunidad bacteriana puede ser analizada a diferentes niveles de ordenamiento taxonómico: Filos, Clases, Familias, Géneros y Especies que, en el caso de análisis metagenómico -cuando no se aísla y estudia cada individuo para definir su especie, sino que la información se obtiene a partir del ADN de la comunidad- la categoría de *especie* se denomina, con mayor rigurosidad OTU, por la sigla en inglés del concepto *Unidad Taxonómica Operacional*.

El primer análisis de ADN lo hicimos con el muestreo del año 2016. En este análisis obtuvimos información del microbioma de Bacterias pues en ese momento el servicio de secuenciación del INDEAR trabajaba sobre una región del gen 16 del ADN denominada V3-V4 que detecta secuencias correspondientes al dominio Bacteria.

Para dar respuesta a la pregunta **¿los microbiomas del suelo se modifican con la intensificación y diversificación de las rotaciones?** hicimos análisis multivariado sobre la base de las especies de bacterias u OTUs detectadas y encontramos que los microbiomas de las muestras se agrupan por un efecto sitio y también por un efecto tratamiento (Figura 2.5.37)

Análisis multivariante de escalado no-métrico multidimensional (NMDS)

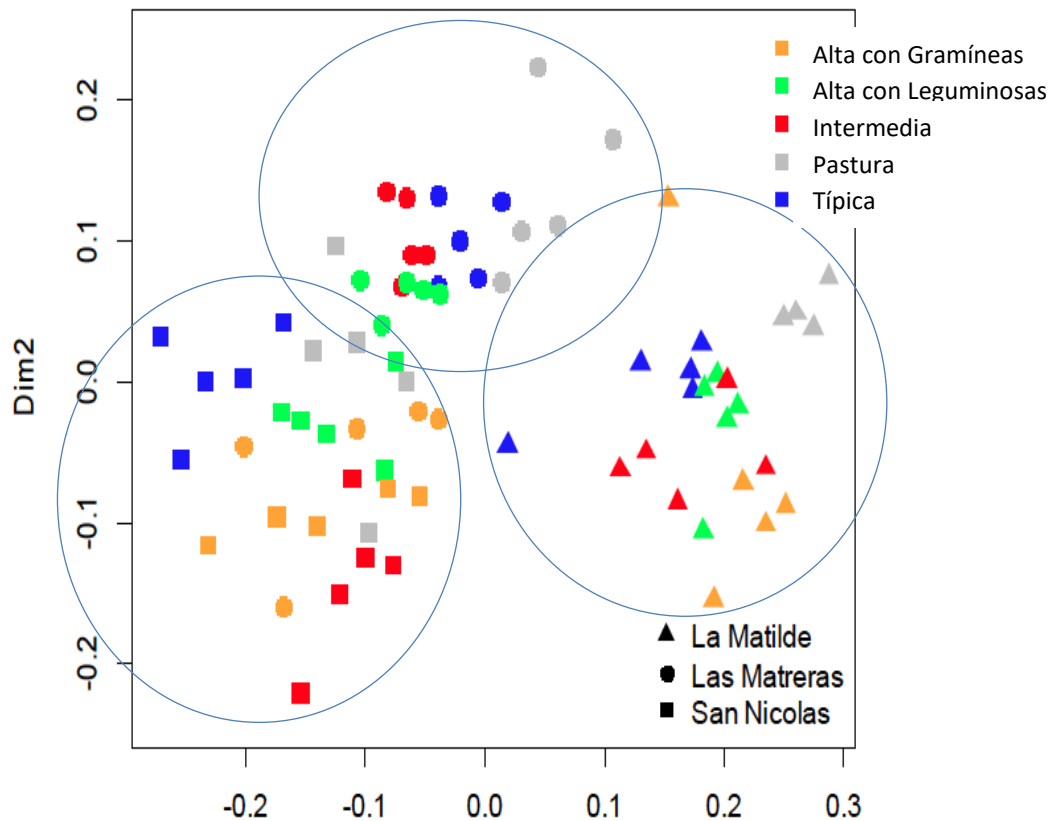


FIGURA 2.5.37. Análisis multivariante de los perfiles de secuencias de ADN (OTUs) encontradas en las muestras de suelo, representadas en la figura por la forma geométrica para cada sitio y el color para cada tratamiento de intensificación y diversificación de las rotaciones ensayadas.

Los resultados muestran que los microbiomas bacterianos se modifican por el manejo y eso ocurre en todos los sitios estudiados. A continuación, nos preguntamos si las diferencias entre los microbiomas de los diferentes tratamientos podrían explicarse por la presencia de bacterias particulares que aumentan su densidad en una rotación en particular, y si estas bacterias que responden al tratamiento son comunes en los diferentes sitios, es decir si son propias del cambio biológico más allá del sitio donde ocurre. Utilizando un método estadístico denominado LEfSe (Segata et al, 2011) que permite encontrar biomarcadores entre dos o más grupos, teniendo en cuenta las abundancias relativas de los mismos analizamos nuestra base de datos y pudimos encontrar biomarcadores para las diferentes rotaciones ensayadas (Figura 2.5.38).

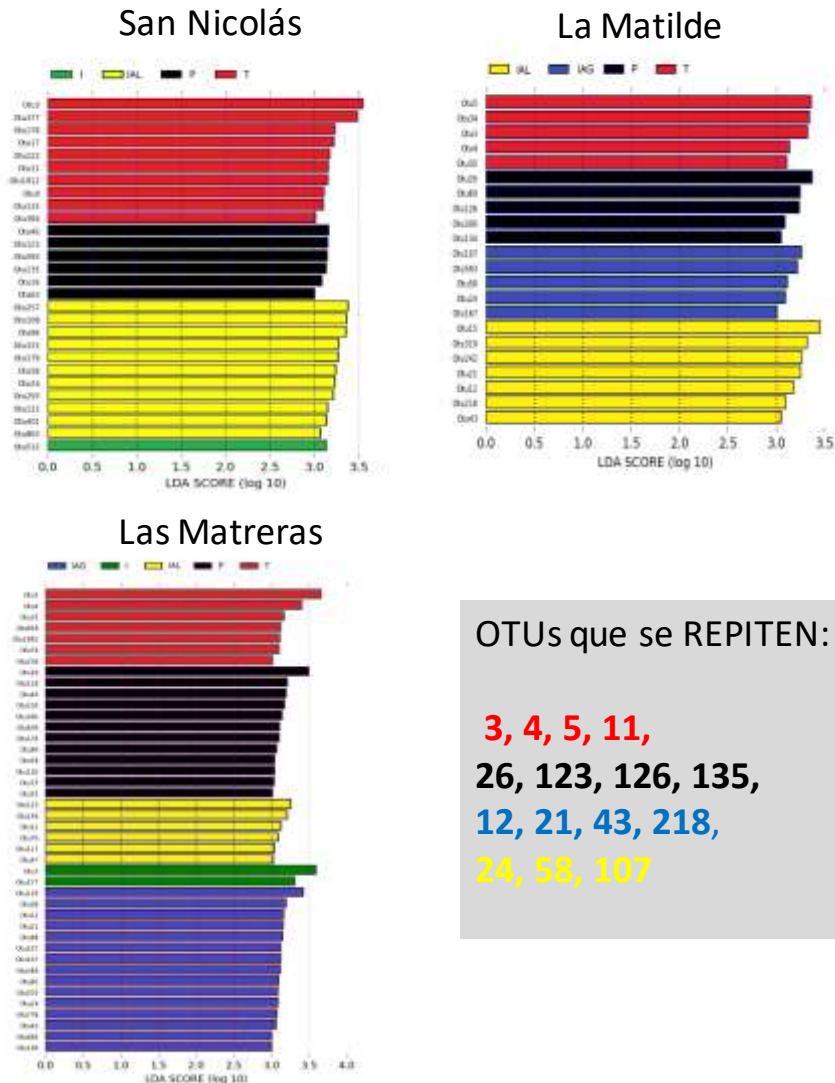


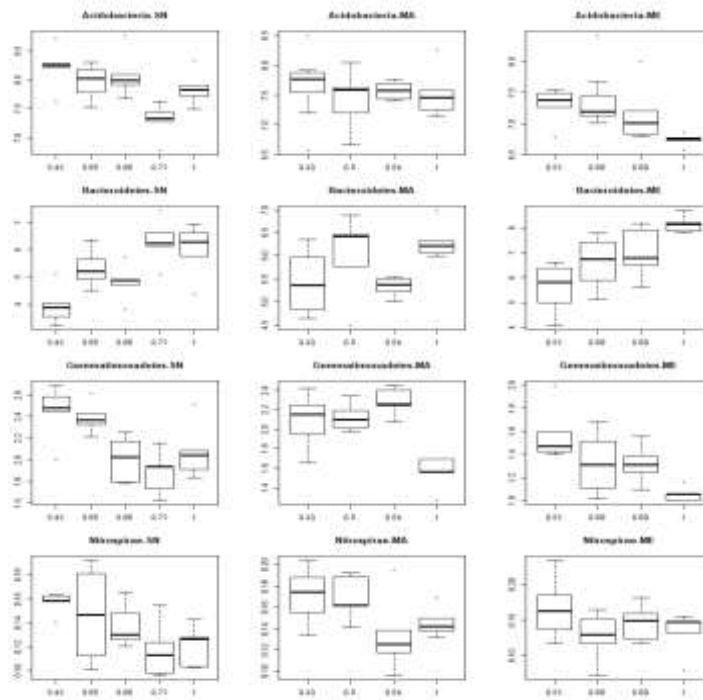
FIGURA 2.5.38. Resultado de un análisis LEfSe en la base de datos de OTUs de 2016 que muestra la existencia de biomarcadores para algunas de las rotaciones ensayadas en cada uno de los establecimientos.

Si bien los biomarcadores existen y algunos se repiten, la mayoría son propios de cada lugar y no servirían, en principio, como base para desarrollar un indicador biológico de alcance más general. Lo que si queda claramente mostrado es que los microbiomas bacterianos se modifican por la intensificación y diversificación de las rotaciones.

¿Es posible encontrar un patrón de modificación de la estructura del microbioma que se relacione con la intensificación y diversificación de las rotaciones que sea común a todos los sitios estudiados?

Para responder a esta pregunta decidimos cambiar el nivel de análisis y en lugar de trabajar a nivel de OTUs, en el cual quizás estamos hilando demasiado fino, decidimos trabajar a nivel de Filos bacterianos, es decir, a nivel de un grupo taxonómico de mayor grado. Nos preguntamos si las densidades relativas de los diferentes filos varían en forma regular con la intensificación y diversificación de las rotaciones (cuantificado por el índice IIR de Belén Agosti). Para ello graficamos las densidades de cada Filo en función de los IIR en cada establecimiento (Figura 2.5.39) y encontramos en varios de los filos un comportamiento de variación con el IIR similar en los diferentes establecimientos.

SAN NICOLAS LAS MATRERAS LA MATILDE



INTENSIFICACION DE LA ROTACION

FIGURA 2.5.39. Abundancias relativas de algunos Filos bacterianos en función de la intensificación y diversificación de cultivos en la rotación (IIR) para los datos de secuencias microbianas sobre la base del gen 16S (región V3-V4) para el muestreo del año 2016.

El resultado de variación en función del IIR de algunos grupos bacterianos a nivel de Filo, como componentes del microbioma, sugiere que el manejo y la práctica agrícola son herramientas que permiten modificar vectorialmente, es decir en algún sentido en particular, un sistema tan complejo como el microbioma del suelo.

La pregunta que surge inmediatamente es si esta observación se mantiene en el tiempo o como es su variación. Para ello hicimos un nuevo análisis de secuenciación masiva del ADN del suelo con las muestras de 2018 y volvimos a obtener una imagen del microbioma de los mismos suelos dos años después de los primeros datos. La composición microbiana de los suelos en ambos muestreos es en líneas generales similar y se observa en la Figura 2.5.40 donde se representan las abundancias de los Phyla bacterianos en todas las muestras analizadas por año (2016 y 2018), para los tres sitios y los diferentes tratamientos en cada sitio.

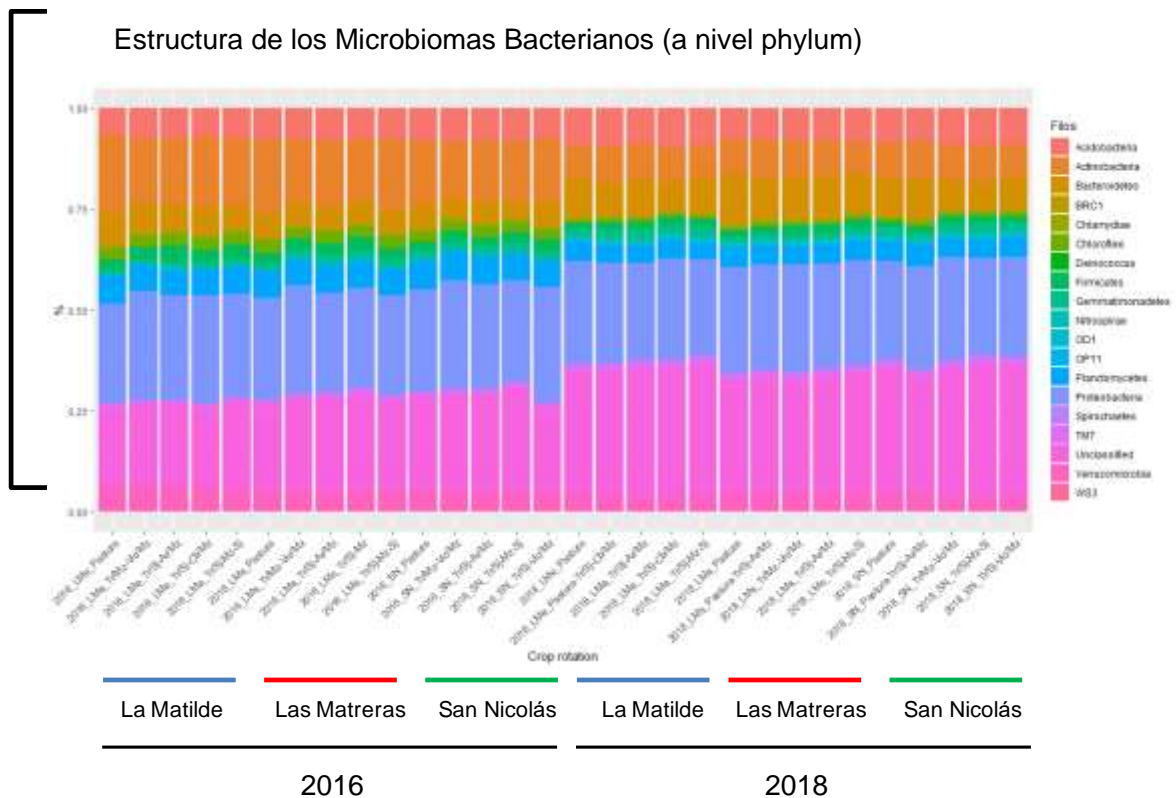


FIGURA 2.5.40. Estructura de los microbiomas bacterianos sobre la base de las secuencias del gen 16S agrupadas según asignación de Phylo. Para el año 2016 se realizaron sobre la región V3-V4 y para 2018 sobre la región V4 del gen rRNA16s

El análisis multivariado PERMANOVA basado en la comunidad microbiana mostró diferencias significativas entre los años de muestreos ($F = 794.68$, $P = 0.001$) y las rotaciones de cultivo ($F = 6.73$; $P = 0.001$). Pero a su vez se presentaron interacciones significativas entre los tres parámetros año, tratamiento y sitio ($F = 3.24$; $P = 0.010$). Cuando se analizó por el mismo método cada sitio y año por separado, no se encontraron diferencias significativas entre las rotaciones de cultivo.

La regresión lineal entre la alfa diversidad, medida por el Simpson Index, fue es sólo significativa en San Nicolás para ambos muestreos ($P = 0.00162$ and $P = 0.03981$). *Proteobacteria* (23-30%), *Actinobacteria* (7-20), *Bacteroidetes* (3-14%) y *Acidobacteria* (7-10%) fueron los filios mas abundantes.

Los filios que presentaron diferencias significativas en los tres sitios agrícolas en 2016 fueron: *Proteobacteria*, *Bacteroidetes*, *Gemmatimonadetes* y *OD1*; y para 2018 fueron *Bacteroidetes*, *TM7*, *Chlamydiae* y *Firmicutes*. Siendo *Bacteroidetes* el único filo capaz de separar las muestras en los dos muestreos.

La diferencia entre años puede tener dos explicaciones que no podemos resolver por el momento: una evolución del microbioma con el tiempo o un sesgo de los datos debido al cambio de la región del gen analizada.

Si bien al análisis estadístico multivariado de la base de datos de secuencias del ADN dice que no habría diferencias significativas entre tratamientos al analizarlos sitio por sitio y por año, la naturaleza de los datos de grupos bacterianos no es paramétrica por lo tanto probamos otro tipo de análisis multivariado para ver si observábamos algún tipo de separación entre los microbiomas expresados como comunidades bacterianas descritas a nivel Phylum. La Figura 2.5.41 muestra que existe un

claro efecto sitio que se mantiene en 2016 y 2018 aunque la relación de semejanza de microbiomas entre los sitios parece variar, el efecto sitio se mantiene y no muestra la desaparición o mitigación del efecto sitio que fuimos observando en el paso del tiempo para los perfiles enzimáticos y perfiles lipídicos.

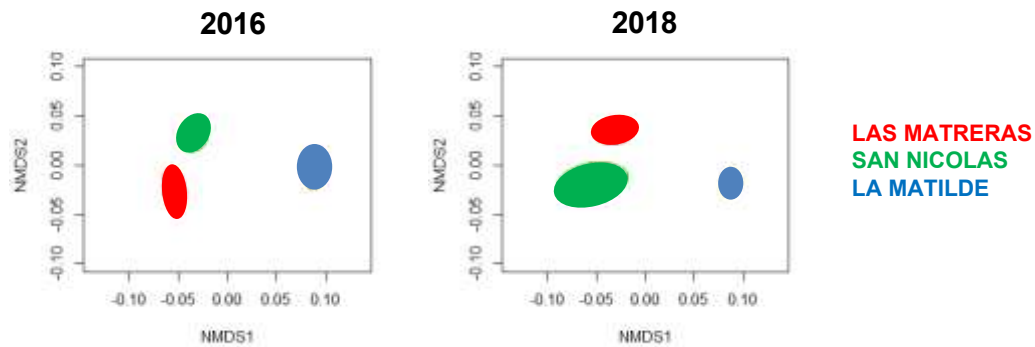


FIGURA 2.5.41. Efecto sitio en los microbiomas analizados para los años 2016 y 2018.

Analizamos de la misma forma la separación de las muestras por tratamiento en gráficos multivariante NMDS por sitio de los microbiomas descritos en términos de abundancias de filos bacterianos (Figura 2.5.42). Se observa una cierta separación de los tratamientos, pero el patrón de separación no fue muy claro.

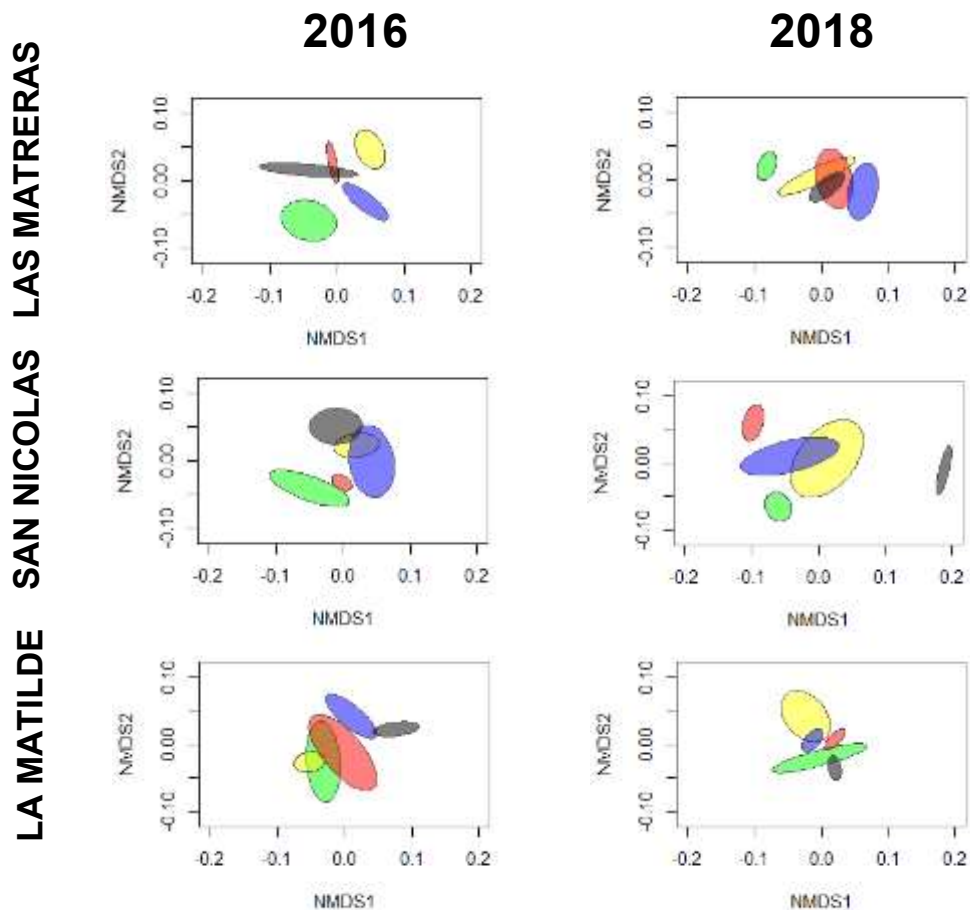


FIGURA 2.5.42. Análisis de los microbiomas descritos en términos de Phylum bacterianos, sitio por sitio y para cada año de muestreo. Los colores corresponden a los tratamientos de intensificación y diversificación de las rotaciones: rojo, rotación típica, amarillo, rotación intensiva alta con leguminosa denominada en algunos lugares "arveja", verde rotación intensiva alta o intermedia con vicia, que

varía entre los establecimientos, azul rotación intensiva alta con gramínea denominada originalmente “bomba de Carbono”, negro para la pastura.

No pudiendo encontrar una variación significativa en el total de los microbiomas, avanzamos en el análisis de las variaciones de los componentes del microbioma con el IIR, de las abundancias relativas de los phyla para ver si se mantiene a lo largo del tiempo y entre sitios. Con la intención de buscar apoyo numérico a la variación de los microbiomas con el IIR, analizamos las regresiones entre las densidades relativas de cada grupo bacteriano y el IIR, para cada sitio y cada año por separado, es decir obtenemos 6 regresiones para cada grupo bacteriano. En general el comportamiento del grupo con el IIR se repite entre establecimientos y en los dos años (Figura 2.5.43).

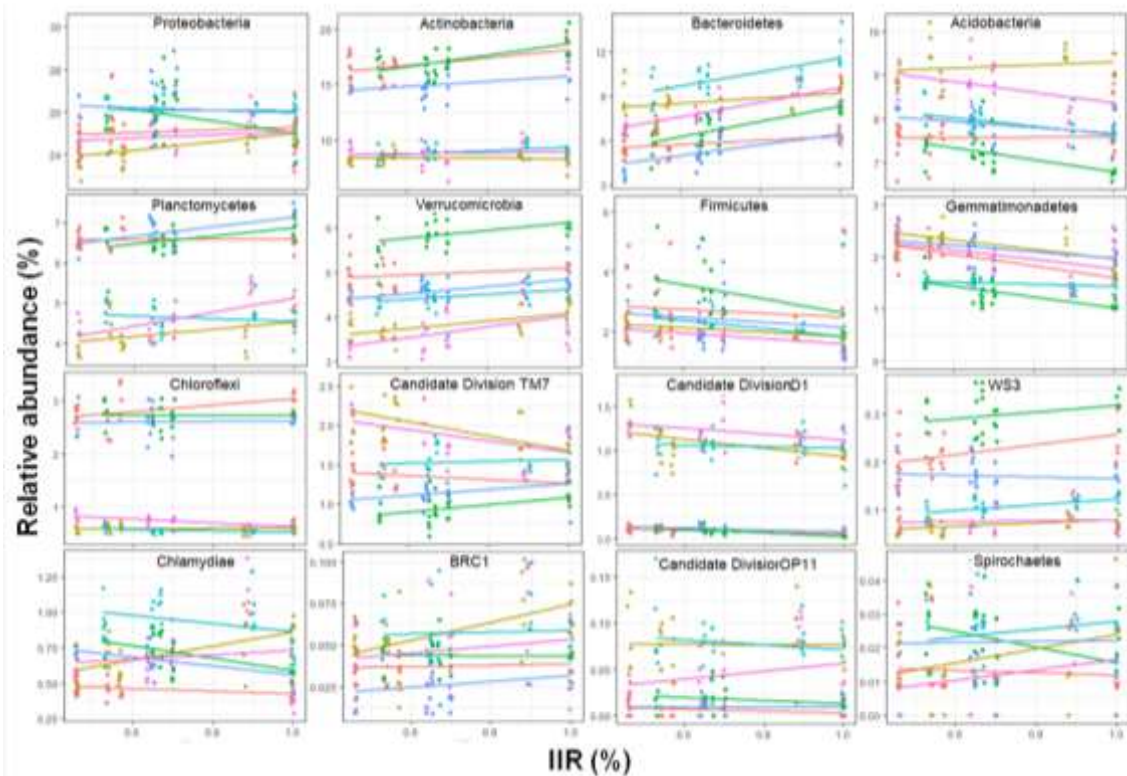


FIGURA 2.5.43. Regresiones lineales entre densidades relativas de los grupos bacterianos mayoritarios del microbioma de los suelos en función del IIR de los suelos de donde se obtuvieron las muestras.

Con el objetivo de encontrar un patrón de comportamiento calculamos el promedio de las pendientes de las 6 regresiones de cada gráfico de la figura 2.5.43 y aquellas mayores a 0.01 se consideraron positivas (la densidad del grupo aumenta con la intensificación de las rotaciones), las menores a -0.01 se consideraron negativas (la densidad del grupo disminuye con la intensificación de las rotaciones) y aquellas con valores entre -0.01 y 0.01 se consideraron constantes, sin variación (Figura 2.5.44).

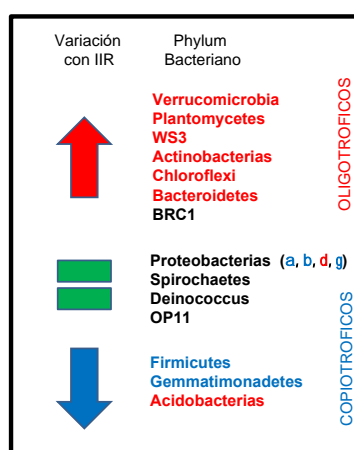


FIGURA 2.5.44. Manejo del Microbioma con la Intensificación de las Rotaciones.

El resultado de este análisis muestra que los grupos bacterianos se agruparon en su respuesta a la intensificación coincidiendo en su mayoría con un criterio de clasificación de los microorganismos en copiotróficos u oligotróficos. Los copiotróficos disminuyen con la intensificación y diversificación de las rotaciones y mientras que los oligotróficos, a excepción de las acidobacterias, aumentan con la intensificación y diversificación de las rotaciones. La interpretación de este hallazgo no resulta inmediata ya que se entiende por copiotrófico a los microorganismos con alta tasa de crecimiento frente a la disponibilidad de alimento, mientras que los oligotróficos poseen una alta tasa de crecimiento, pero en concentraciones muy bajas de nutrientes. En principio podríamos pensar (en términos clásicos) que la disponibilidad de nutrientes y alimento para las bacterias sería mayor en los casos de rotaciones intensificadas. Estos resultados nos obligan a repensar nuestros modelos y no hay que olvidar que la clasificación [oligotrófico / copiotrófico] surge del crecimiento de microorganismos en el laboratorio, situación que quizás poco tenga que ver finalmente con lo que sucede en el suelo. Existen trabajos muy recientes (Ho et al., 2017) que discuten estas inconsistencias entre los modelos de laboratorio y los resultados que surgen de los ecosistemas naturales, como es este caso de Chacra Pergamino, coincidiendo su visión con nuestros resultados experimentales.

¿Estas variaciones de los microbiomas tendrán alguna relación con las variaciones bioquímicas del suelo, por ejemplo, con los perfiles de ácidos grasos de los lípidos totales del suelo?

Para responder esta pregunta calculamos correlaciones de Spearman entre las abundancias de los diferentes grupos microbianos y las abundancias de los diferentes grupos químicos de ácidos grasos para las mismas muestras, en su clasificación según las sustituciones o insaturaciones en su cadena carbonada, como discutimos en la sección de lípidos de suelo. La Figura 2.5.45 muestra las correlaciones significativas para el conjunto de datos del muestreo de 2016, el de 2018 y considerando todos los datos.

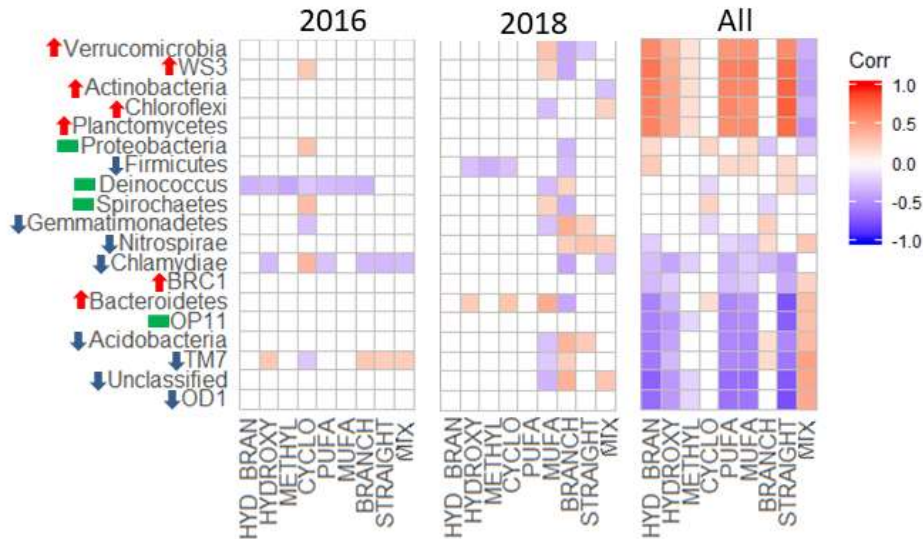


FIGURA 2.5.45. Correlaciones de Spearman entre las abundancias de los grupos bacterianos del microbioma del suelo (Phylum) y las densidades de los ácidos grasos de los lípidos totales del suelo agrupados por naturaleza química de su cadena carbonada. Los cuadraditos blancos representan valores no significativos de la correlación y la intensidad del color (rojo o azul) varía de acuerdo al valor de correlación. Mientras mayor es la correlación, más intenso es el color.

Los resultados (Figura 2.5.45) muestran mayor cantidad de correlaciones significativas en el año 2018 que en 2016 y claramente la sumatoria de la base de datos para los mismos casos mejora la estadística y las correlaciones se hacen muy significativas y con un patrón de relación entre el tipo de grupo bacteriano y como varía en el microbioma con la intensificación de las rotaciones y ciertos grupos químicos de ácidos grasos. Estas mediciones son metodológicamente, totalmente independientes y muestran una relación funcional que va en el mismo sentido que lo que sugiere el índice de complejidad bioquímica del perfil de lípidos que caracteriza a las rotaciones según su intensificación donde el aumento del IIR se relaciona con mayor presencia de algunos grupos de ácidos grasos como los monoinsaturados (MUFA), poliinsaturados (PUFA), hidroxilados (HYDROXY) e hidroxilados ramificados (HYD BRAN).

6. ANALISIS DE LA FAUNA DEL SUELO

Como se describe en la sección de metodología, el estudio de los diferentes grupos de fauna fue realizado con diferentes grados de profundidad en la descripción de la diversidad del grupo y en su evolución temporal, en los diferentes casos de intensificación y diversificación de las rotaciones, en los establecimientos analizados.

También tomamos en cuenta la respuesta significativamente diferente de algunos grupos a los tratamientos para seguirlos en el tiempo mientras profundizábamos el análisis de la diversidad de los otros grupos a partir de los primeros muestreos.

En función de esta lógica operacional, los resultados se presentan con la siguiente organización:

A. LOMBRICES (2015-2016-2018-2019)

- A.1. Abundancia
- A.2. Biomasa
- A.3. Diversidad de especies. Estructura de la comunidad.

B. COLEOPTEROS (2015-2016)

- B.1. Abundancia.
- B.2. Diversidad de especies. Estructura de la comunidad.

C. HORMIGAS (2015)

- C.1. Abundancia.
- C.2. Diversidad de especies. Estructura de la comunidad.

D. OTROS GRUPOS DE MACROFAUNA (2015)

- D.1. Diversidad de especies. Estructura de la comunidad.

E. MESOFAUNA (2015-2016)

- E.1. Abundancia de ácaros oribátidos.
- E.2. Diversidad de especies. Estructura de la comunidad de ácaros oribátidos.
- E.3. Abundancia de otros grupos de mesofauna.

A. LOMBRICES (2015-2016-2018-2019)

A.1. Abundancia

En primera instancia se muestra en la Figura 2.5.46 una comparación del efecto de la intensificación en las rotaciones en la primera etapa del estudio (2015) y en la final (2019) considerando los tres establecimientos juntos en el análisis. Se observa que, en ambas etapas, la abundancia de lombrices tuvo una respuesta significativa a la intensificación, con un claro efecto positivo de la rotación alta con leguminosas. En general, el efecto fue más marcado en la etapa final, donde las diferencias con la rotación testigo se incrementaron.

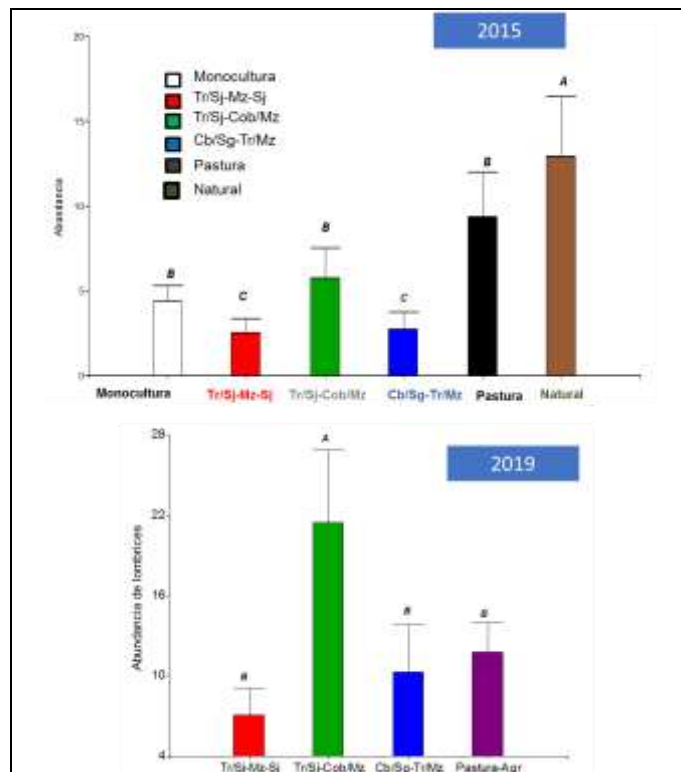


FIGURA 2.5.46. Abundancia de lombrices en la etapa inicial (2015) y final (2019) del proyecto. Promedio de todos los establecimientos

Siguiendo con la mirada considerando los tres establecimientos juntos, en la Figura 2.5.47 se presenta la dinámica temporal de la abundancia de lombrices en los tratamientos intensificados, en los 4 años estudiados. Se destaca el crecimiento de la abundancia en la rotación alta con leguminosas, y el incremento en las diferencias con la típica, con la excepción del año 2018, donde la rotación testigo en Las Matreras presentó una abundancia muy elevada, lo cuál será discutido más adelante. Otro patrón que emerge es el efecto de la agricultura sobre la pastura, que luego del cambio de manejo, afecta reduciendo la abundancia de lombrices.

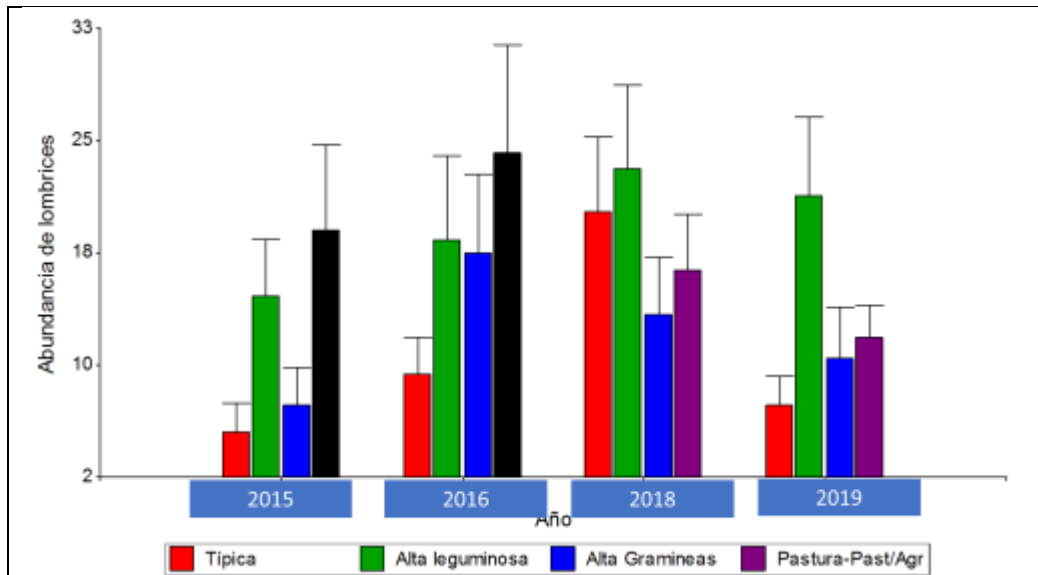


FIGURA 2.5.47. Dinámica temporal de la abundancia de lombrices desde 2015 a 2019. Promedio de todos los establecimientos.

A.2. Biomasa

La biomasa de lombrices es una variable que complementa la información que brinda la abundancia. Mediante la biomasa se puede tener una idea más precisa de la influencia de las lombrices en el funcionamiento del suelo, dado que la abundancia no discrimina entre especies chicas y grandes. En la biomasa, se observó también un claro efecto positivo de la intensificación, también en la rotación alta con leguminosas, tanto para la etapa inicial como para la final del trabajo (Figura 2.5.48).

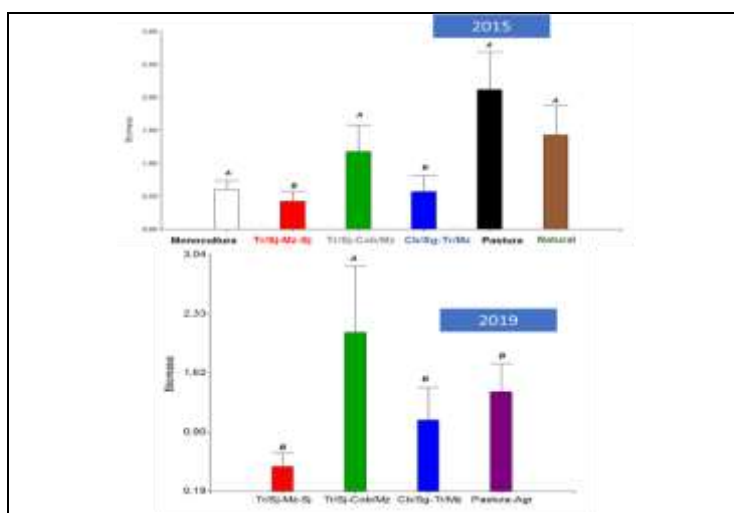


FIGURA 2.5.48. Biomasa de lombrices en la etapa inicial (2015) y final (2019) del proyecto. Promedio de todos los establecimientos.

Abundancia y Biomasa de lombrices separando por campo

Posteriormente se realizó un análisis detallado por cada establecimiento y por año. En general, la abundancia y la biomasa de lombrices evidenciaron, en primer lugar, un efecto importante de la localidad, observándose en LME mayores valores que en el resto, para todos los años muestreados (Figuras 2.5.49 a 2.5.52).

Con respecto al efecto de la intensificación, en general se observa que el patrón descrito para los tres campos promediados, se mantiene cuando se analizan los campos por separado, si bien existen algunas variaciones en la magnitud y significancia estadística de las diferencias. La excepción más marcada es el Las Matreras en 2018, donde la rotación típica tiene una abundancia mayor a las demás, aunque las diferencias no son significativas. Este resultado es considerado muy interesante pues evidencia una coherencia interna muy grande de las variables biológicas en cuanto a su respuesta a los manejos, dado que muchas de ellas señalan una situación particular de esa rotación en ese campo, que luego fue corroborada con la información de manejo y de la respuesta de las variables físicas y químicas.

En 2015 y 2016, en la rotación alta con leguminosas se observó una mayor abundancia que en la típica y también que en la rotación alta con gramíneas (Figuras 2.5.49 y 2.5.50) con excepción de Las Matreras donde en 2016 se invirtió el patrón entre las dos intensificaciones altas. Los valores absolutos dependieron de cada establecimiento por lo que debe prestarse atención al cambio de escala en los gráficos, adaptado para ver las diferencias relativas en cada caso.

En otro estudio realizado previamente, en los suelos del proyecto BIOSPAS (proyecto 2009-2012 en el que comparamos rotación típica / monocultivo de soja / ambiente natural) también encontramos diferencias entre los suelos de ambientes naturales y los tratamientos agrícolas, pero la diferencia entre tratamientos con y sin rotación de cultivo no fue tan clara. Estos resultados sugieren que, **con las rotaciones más intensas, el efecto positivo en las lombrices se incrementa**. Es importante notar que las especies de lombrices de la región Pampeana son generalmente endogeas (ingieren mayormente suelo con materia orgánica y no tanto el rastrojo “fresco”), por lo que responden más a la MO del suelo. Por ello, la respuesta a los cambios en el rastrojo producto de la intensificación se espera que tenga un retardo en el tiempo. Esto es lo que se destaca en los muestreos de 2019, donde, para todos los campos, el efecto de la intensificación fue muy claro en la abundancia, distinguiendo a la rotación alta con leguminosas del resto.

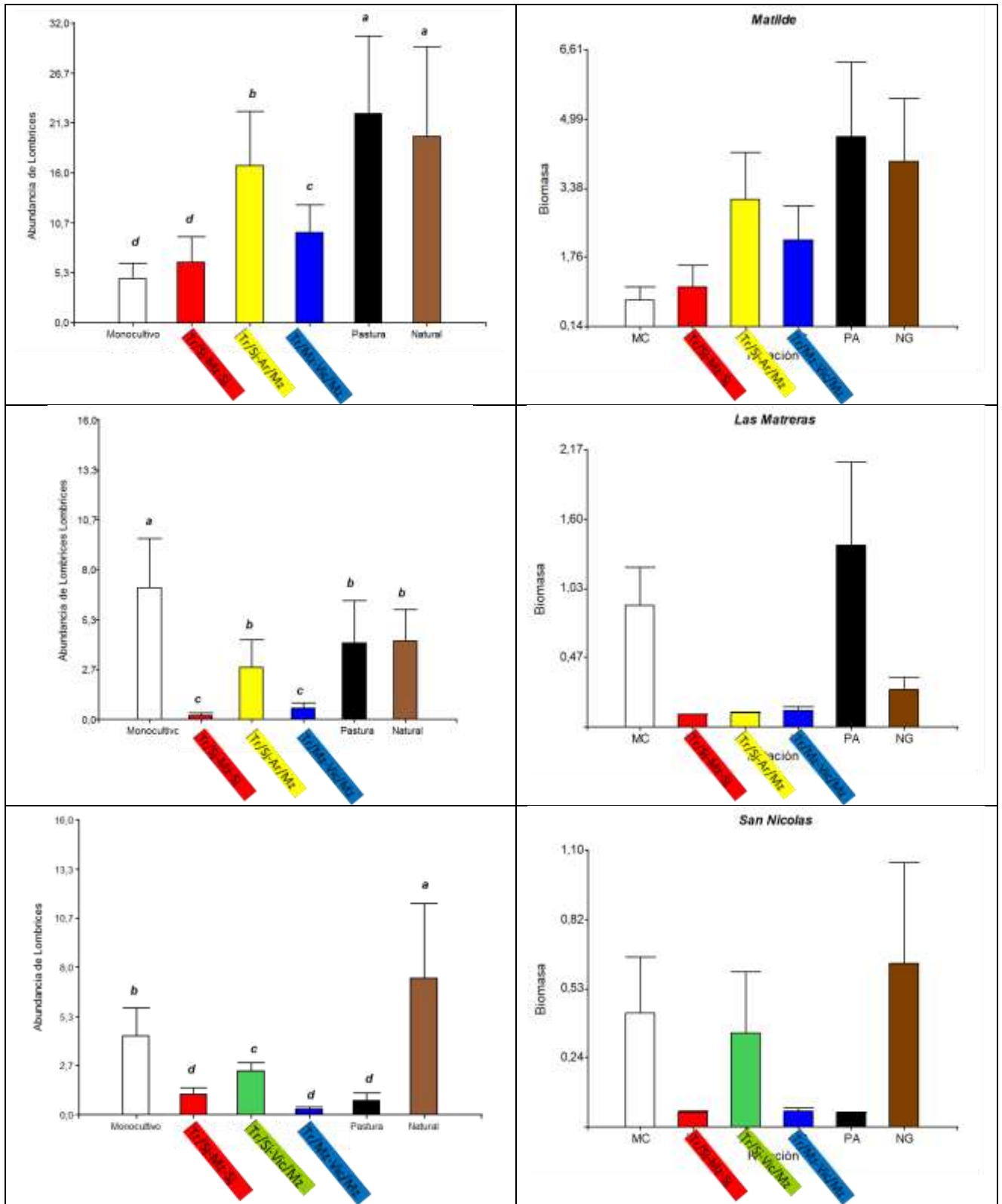


FIGURA 2.5.49. Abundancia (izquierda) y Biomasa (derecha) de lombrices en cada tratamiento en el muestreo del año 2015.

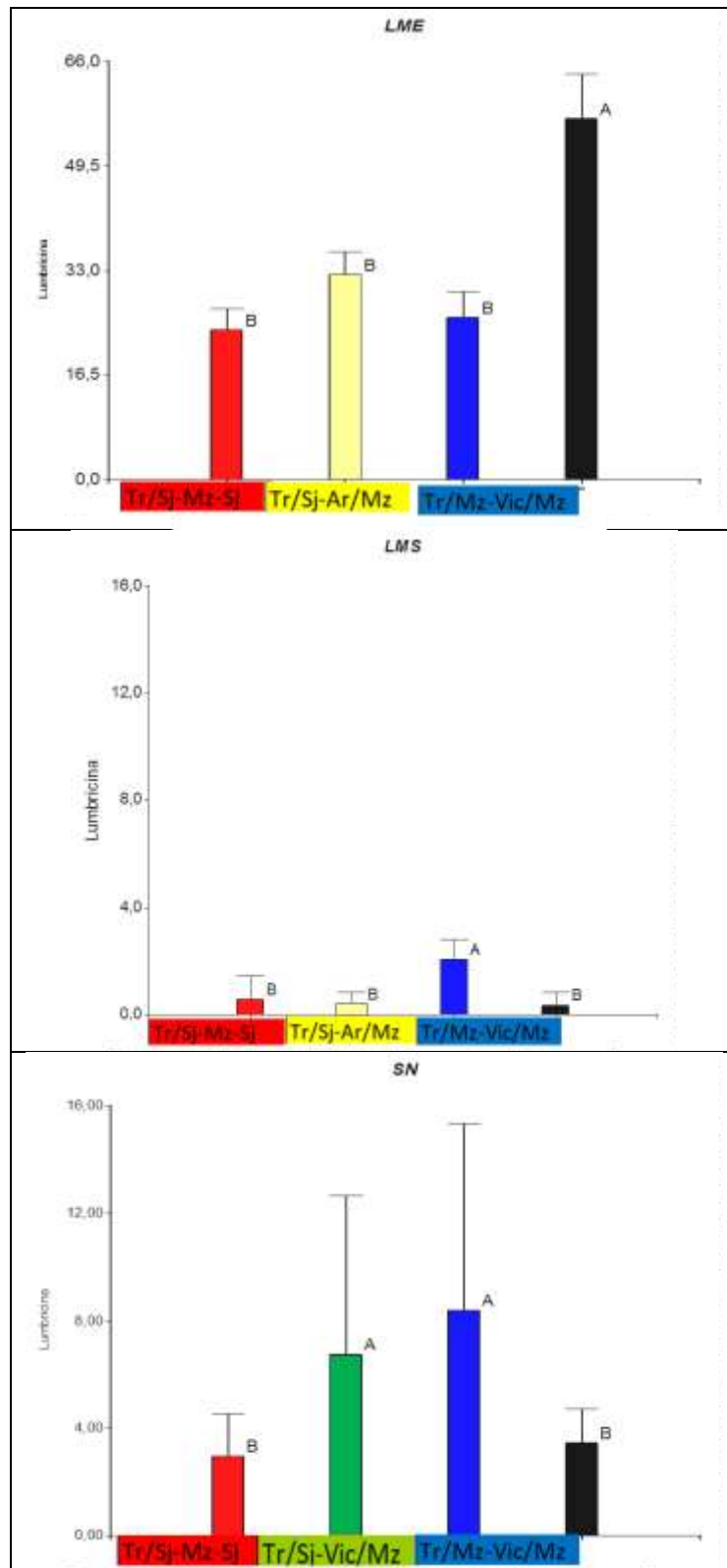


FIGURA 2.5.50. Abundancia de lombrices en cada tratamiento en el muestreo del año 2016. En este año no se pudo calcular la biomasa dado que se criaron los juveniles para su identificación taxonómica.

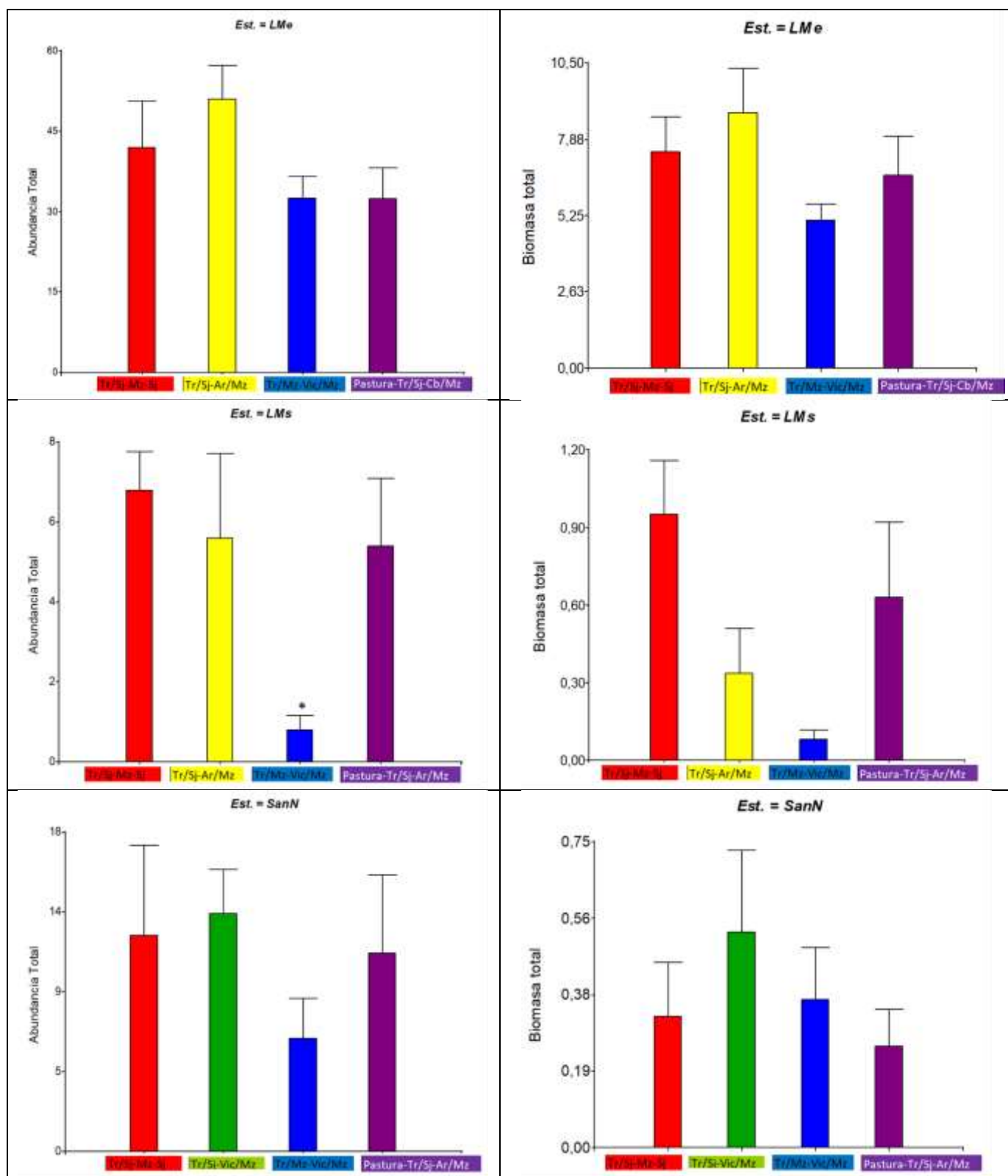


FIGURA 2.5.51. Abundancia (izquierda) y Biomasa (derecha) de lombrices en cada tratamiento en el muestreo del año 2018.

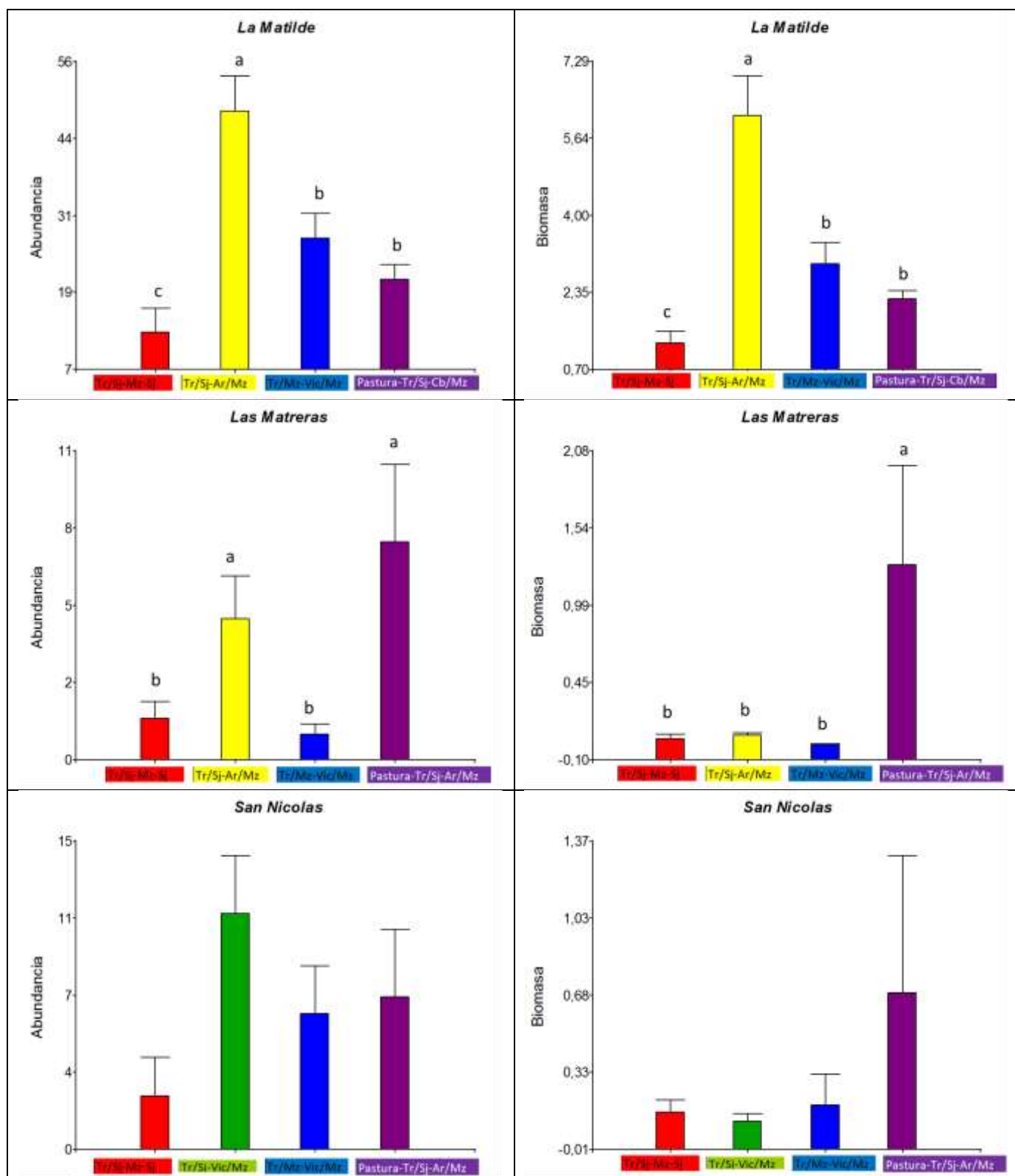


FIGURA 2.5.52. Abundancia (izquierda) y Biomasa (derecha) de lombrices en cada tratamiento en el muestreo del año 2019.

A.3. Diversidad de especies. Estructura de la comunidad

En cuanto a la ordenación de las rotaciones en base a la diversidad de especies de lombrices, es evidente en el análisis comparativo entre la etapa inicial y final del estudio, cómo estos atributos estructurales de la comunidad presentan un tiempo de respuesta mayor que la abundancia y biomasa. En el 2015 se separaron claramente el monocultivo, el suelo natural y la pastura, pero no se diferenciaron las rotaciones altas entre sí ni de la típica (Figura 2.5.53). Sin embargo, cuando transcurrieron tres años más, se produjo una clara separación entre de las dos rotaciones altas entre sí, y de la típica y pastura. Es decir, a los 6 años se expresan diferencias en la composición de la comunidad entre niveles de intensificación.

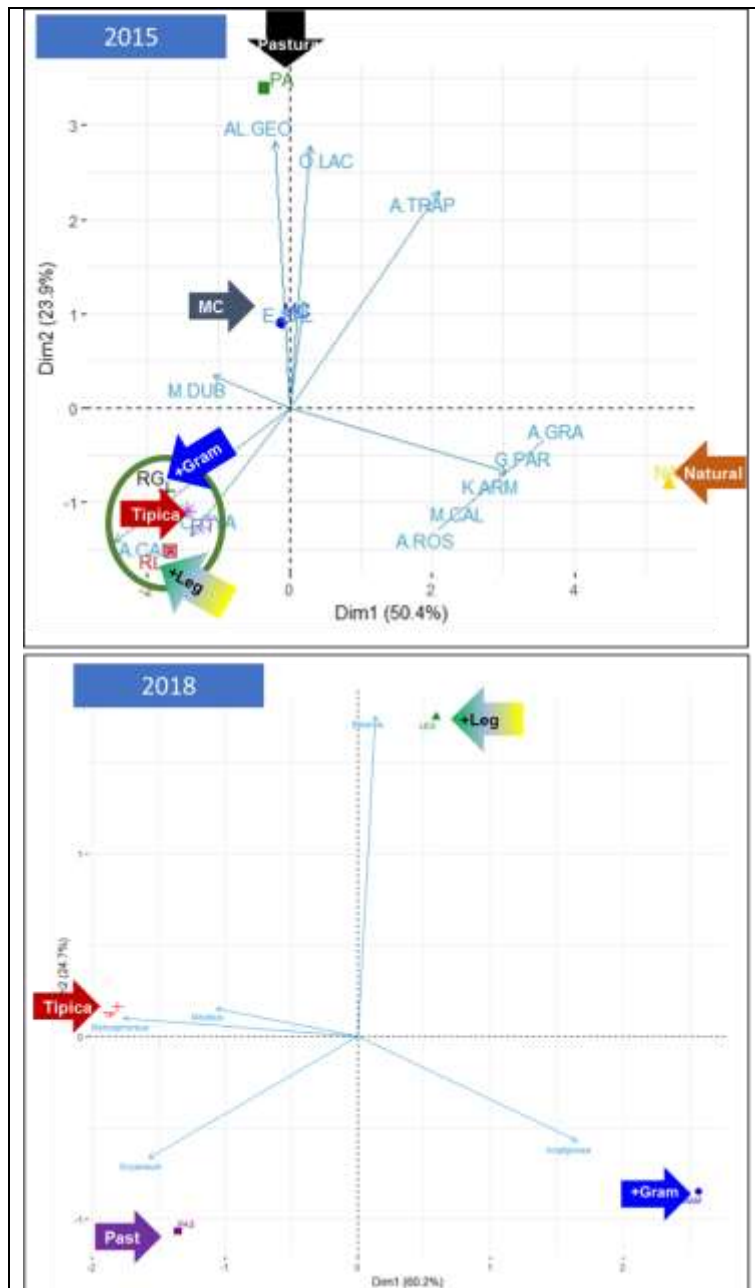


FIGURA 2.5.53. Efecto de los tratamientos de intensificación de las rotaciones en la comunidad de lombrices entre 2015 y 2018. Promedio de todos los establecimientos.

¿Las lombrices funcionan como indicadores biológicos del grado de intensificación de las rotaciones?

Claramente sí. A los 3 años de iniciado el ensayo se expresan diferencias en la abundancia y biomasa de lombrices. Es decir, de las especies que existen en el lote donde se inicia el cambio de manejo positivo (intensificación y diversificación de las rotaciones), la mayor llegada de recursos tróficos y de mejor calidad fomenta la reproducción (más abundancia) y el crecimiento de las lombrices (biomas), pero no cambian las especies, no cambia la estructura de la comunidad. Para ese cambio, hace falta más tiempo, debido en gran medida a que las lombrices tienen una capacidad de migración limitada, se mueven lento de un lote a otro. Además, depende de aspectos relacionados al paisaje, como por ejemplo la cercanía de ese lote a suelos donde la riqueza de especies sea mayor. Este cambio en la estructura producto de la intensificación y diversificación de las rotaciones, se observa claramente a los 6 años, en 2018.

B. COLEOPTEROS (2015-2016)

B.1. Abundancia.

En la abundancia de coleópteros se observó una respuesta positiva a la intensificación, si se comparan las dos rotaciones con intensificación alta versus la típica, considerando los campos juntos (Figura 2.5.54).

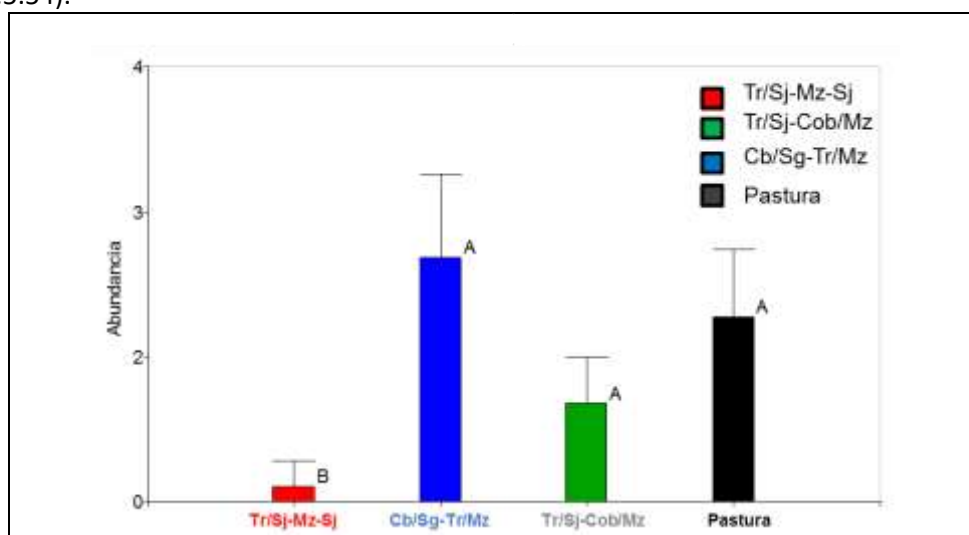


FIGURA 2.5.54. Abundancia total de Coleoptera en los muestreos 2015 y 2016, considerando el promedio de los campos.

B.2. Diversidad de especies. Estructura de la comunidad.

Se destaca un efecto importante de la rotación alta con leguminosas respecto de la típica en la composición taxonómica de coleópteros (Figura 2.5.55). Es decir, el incremento en la cantidad de cultivos diferentes que se incorporan en la rotación, genera condiciones tróficas y de hábitat más adecuadas para un mayor número de coleópteros de diferentes especies. Que implica esto en términos de procesos, especialmente del proceso de descomposición de rastrojos y dinámica de la MO? No lo sabemos, pero es parte de lo que pretendemos seguir estudiando. Si queda claro que este grupo, que depende más directamente del rastrojo que las lombrices, responde más rápido a la intensificación: en la primera etapa del ensayo ya presenta cambios en la estructura.

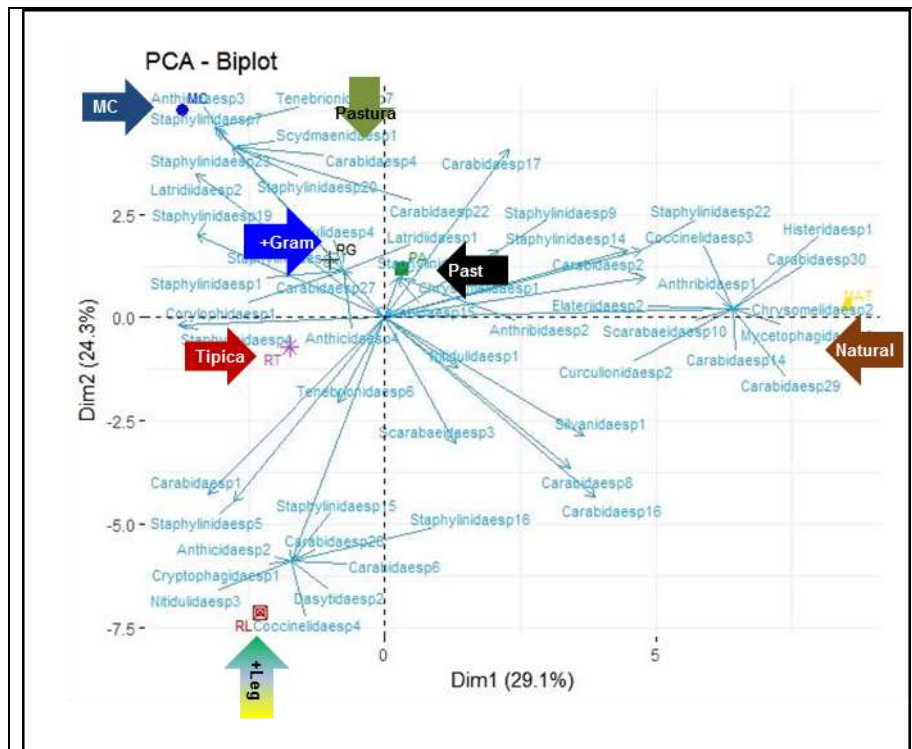


FIGURA 2.5.55. Efecto de los tratamientos de intensificación de las rotaciones en la comunidad de Coleoptera en 2015. Promedio de todos los establecimientos.

C. HORMIGAS (2015)

C.1. Abundancia.

Las especies de hormigas que se colectaron son todas consideradas “benéficas” para los cultivos, ya que no se trata de organismos que utilicen al cultivo como alimento. La abundancia más elevada fue registrada en el sitio natural (NAT), mientras que las rotaciones no mostraron diferencias significativas si ni con MC (Figura 2.5.56).

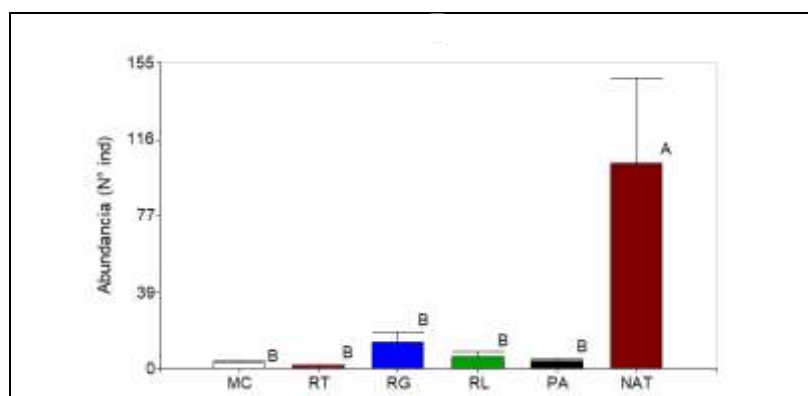


FIGURA 2.5.56. Abundancia total de Hormiga en los muestreos 2015 y 2016, considerando el promedio de los tres campos.

C.2. Diversidad de especies. Estructura de la comunidad.

La comunidad de hormigas fue diferente en el suelo natural y las pasturas respecto de los suelos bajo agricultura, pero no presentó diferencias entre los distintos esquemas de intensificación de las rotaciones (Figura 2.5.57). Por lo tanto, no es un indicador sensible a estas variaciones. Este resultado es muy interesante porque le otorga mayor robustez a los obtenidos en lombrices y coleópteros. Es decir, no todos los grupos faunísticos son sensibles a las modificaciones que implica la intensificación de las rotaciones. Es probable que el tiempo de respuesta de la estructura de la comunidad sea más prolongado.

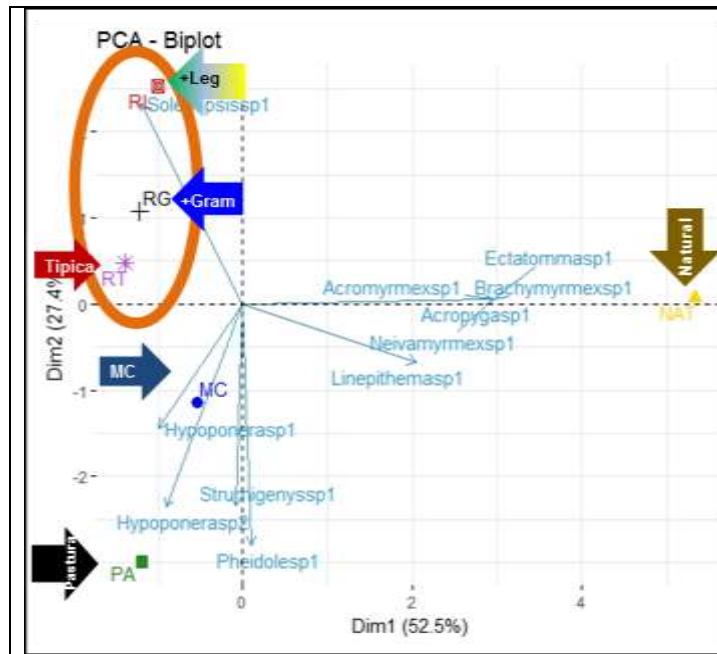
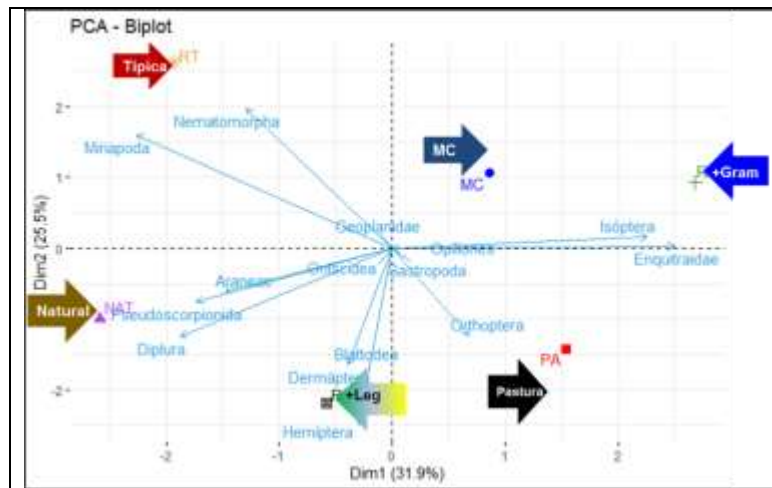


FIGURA 2.5.57. Efecto de los tratamientos de intensificación de las rotaciones en la comunidad de hormigas en 2015. Promedio de todos los establecimientos.

D. OTROS GRUPOS DE MACROFAUNA (2015)

D.1. Diversidad de especies. Estructura de la comunidad.

Para estos análisis se consideraron todos los grupos de macroinvertebrados excepto lombrices, hormigas y coleópteros, que fueron anteriormente analizados en profundidad. La comunidad de la macrofauna, en general, responde a la intensificación, mostrando una clara separación de las dos intensificaciones altas, con leguminosas y con gramíneas, de la rotación típica (Figura 2.5.58).



F

IGURA 2.5.58. Efecto de los tratamientos de intensificación de las rotaciones en la comunidad de macrofauna excluyendo lombrices, hormigas y coleópteros, en 2015. Promedio de todos los establecimientos.

E. MESOFAUNA (2015-2016)

E.1. Abundancia de ácaros oribátidos.

La abundancia de oribátidos mostró una respuesta muy clara a la diversificación e intensificación de las rotaciones de cultivos, considerando los campos juntos en un mismo análisis (Figura 2.5.59). Esto fue más evidente, tal lo esperado, en las muestras más superficiales, donde este grupo de ácaros descomponedores presentaron mayor abundancia en los dos tratamientos más intensificados (alta con leguminosas y con gramíneas), significativamente superior a la del monocultivo, la rotación típica y la pastura. En las muestras de suelo mineral (Figura 2.5.60), este efecto no es evidente, mostrando que los beneficios generados por la DIRC en términos tróficos, aún no se han traducido al suelo mineral a los 3 años de iniciado el ensayo, muy posiblemente por el corto plazo del experimento.

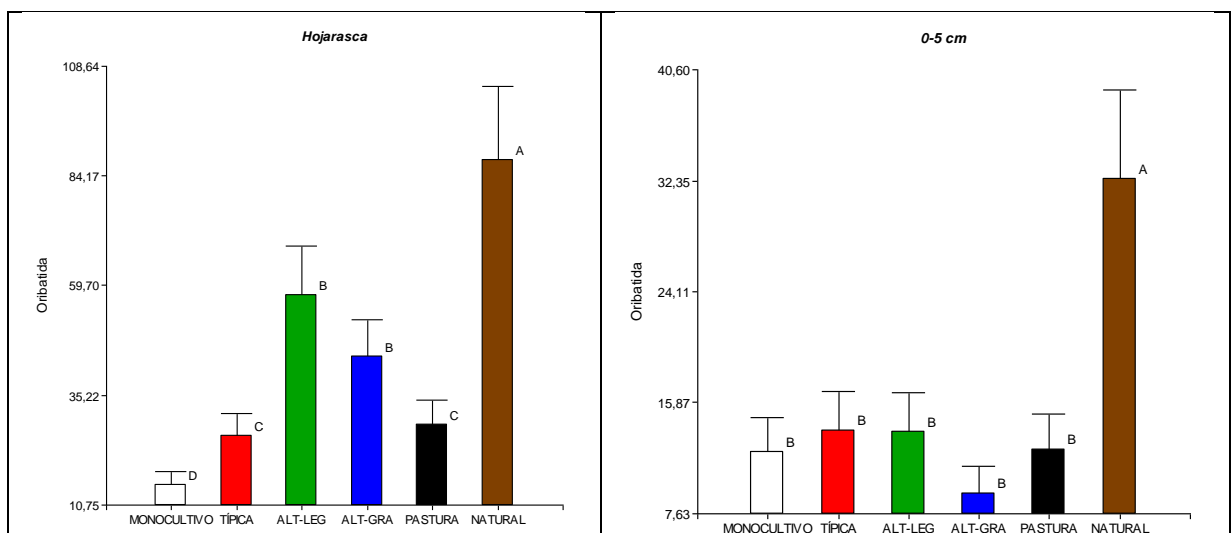


FIGURA 2.5.59. Abundancia de Oribatida en el muestreo 2015 considerando los campos juntos.

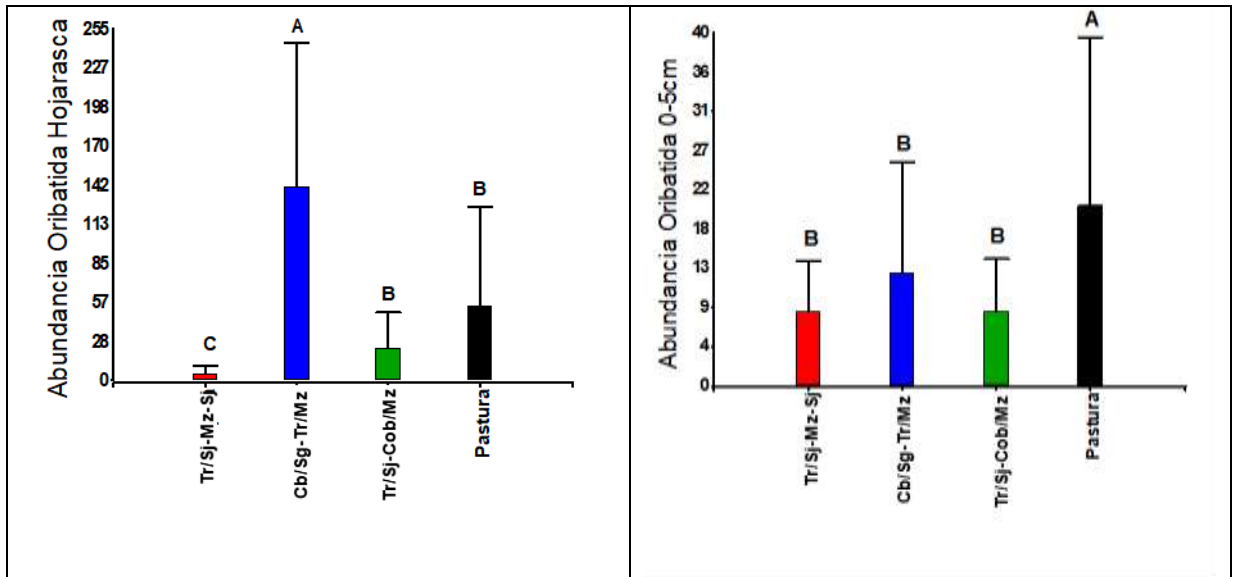


FIGURA 2.5.60. Abundancia de Oribatida en el muestreo 2016 considerando los campos juntos.

En un análisis detallado separando campo por campo, se observa que en los tres campos la abundancia de oribátidos respondió de manera positiva a la intensificación y diversificación (Figuras 2.5.61 a 2.5.63). En los tres casos, en la hojarasca, la rotación que más benefició a estos organismos fue la alta con leguminosas. En La Matilde y Las Matreras este patrón se manifestó también en el suelo mineral (Figuras 2.5.61 y 2.5.62), pero en San Nicolás no ocurrió lo mismo (Figura 2.5.63).

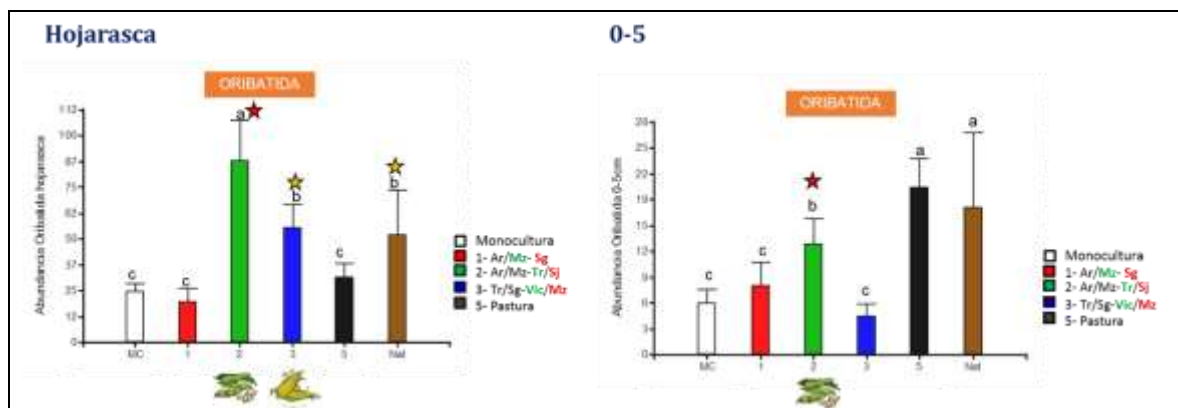


FIGURA 2.5.61. Abundancia de Oribatida en La Matilde en el muestreo 2015.

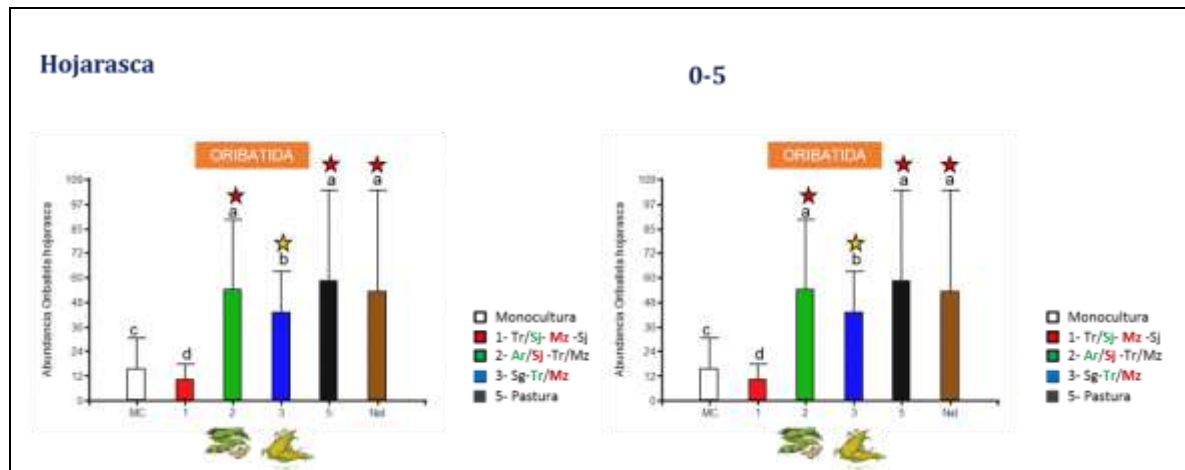


FIGURA 2.5.62. Abundancia de Oribatida en Las Matreras en el muestreo 2015.

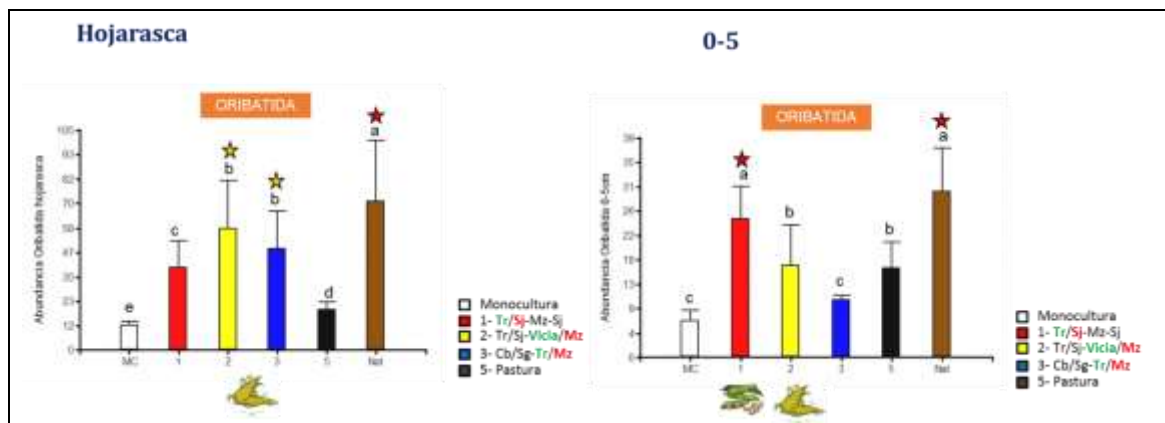


FIGURA 2.5.63. Abundancia de Oribatida en San Nicolás en el muestreo 2015.

E.2. Diversidad de especies. Estructura de la comunidad de ácaros oribátidos.

En primer lugar, se destaca que el suelo natural presenta una composición diferente al resto, y dentro de las rotaciones, la intensificación alta con gramíneas se diferencia en composición de los demás manejos, en las muestras superficiales (Figura 2.5.64). Es claro el cambio de la comunidad de estos ácaros detritívoros como respuesta al tratamiento con gramíneas. Esto puede deberse a que estas especies vegetales ofrecen una arquitectura de nichos más heterogénea, lo que posibilita que un mayor número de especies de ácaros diferentes puedan coexistir.

En la comunidad del suelo mineral, (Figura 2.5.64) se observa la misma tendencia que en la hojarasca, donde el NA presenta una composición de la comunidad diferente a las rotaciones, y a su vez la intensificación alta con gramíneas, posee una composición particular que la diferencia de las demás.

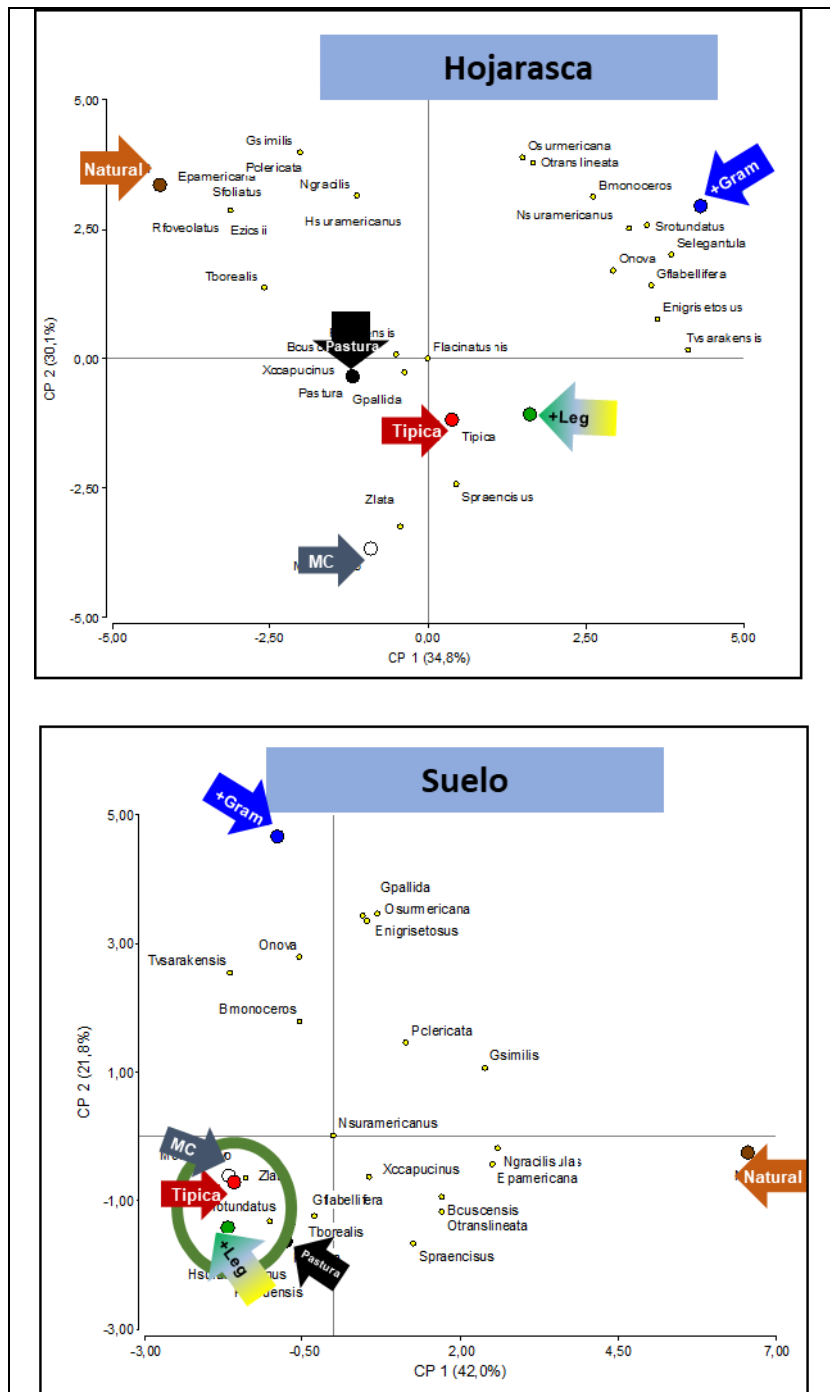


FIGURA 2.5.64. Efecto de los tratamientos de intensificación de las rotaciones en la comunidad de Oribatida en 2015. Promedio de todos los establecimientos.

E.3. Abundancia de otros grupos de mesofauna.

La abundancia de los otros grupos de ácaros, y la de colémbolos, no presentaron una respuesta tan clara a la intensificación (Figura 2.5.65) como los oribátidos. En el año 2016 los mesostigmatas (predadores) fueron más abundantes en la rotación alta con gramíneas, probablemente asociados a un mayor número de presas, las cuales generalmente son nemátodos o colémbolos. Los prostigmatas y colémbolos fueron, en 2016, más abundantes en las intensificaciones altas y la pastura que en la rotación típica. Se podría inferir que, dado que son grupos que responden más lentamente, las diferencias serían mayores hacia fines del ensayo. Las muestras de 2018 y 2019 no fueron analizadas

puesto que el tiempo necesario para la determinación taxonómica de estos organismos es mucho, por lo que se planteó desde el principio del proyecto que se analizarían los dos primeros años de muestreo. Otra causa de las menores diferencias observadas entre tratamientos, es que son grupos más heterogéneos internamente en cuanto a su sensibilidad a las diferentes prácticas de manejo. Es decir, puede haber especies que se beneficien en una rotación e incrementen su abundancia, pero otras que respondan de manera opuestas, y por tanto ocurra un efecto compensatorio de las abundancias.

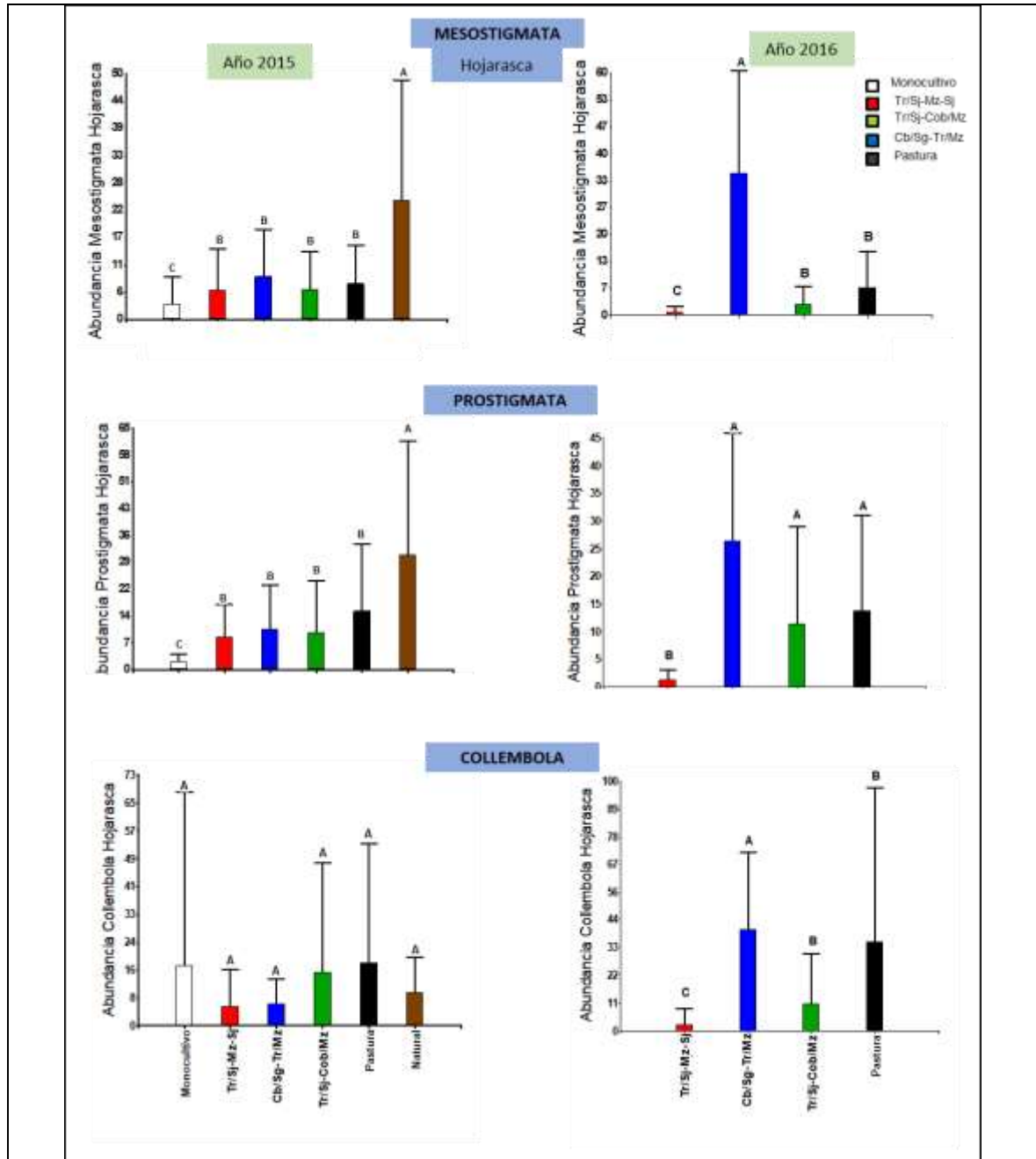


FIGURA 2.5.65. Abundancia de ácaros Mesostigmata, Prostigmata y de Colémbolos en la hojarasca de los diferentes tratamientos en los muestreos 2015 y 2016.

CONCLUSIONES ACERCA DE LA FAUNA DEL SUELO COMO INDICADORES BIOLÓGICOS DE CALIDAD Y SALUD.

Las lombrices, organismos claves por su importante participación en procesos fundamentales para el funcionamiento del suelo, respondieron positivamente a la diversificación e intensificación de las rotaciones. Tanto la abundancia como la biomasa de lombrices mostraron un claro efecto positivo de la intensificación, fundamentalmente en la rotación alta con leguminosas. Las dos variables son complementarias: la biomasa aporta una idea más precisa de la influencia de las lombrices en el funcionamiento del suelo, dado que la abundancia no discrimina entre especies chicas y grandes. Por tanto, la abundancia y biomasa de lombrices son buenos indicadores biológicos, que responden a corto plazo. La estructura de la comunidad de lombrices es un buen indicador, que responde a mediano plazo. Pero... además de ser buenos indicadores, el hecho de que, con un cambio de manejo, en este caso la diversificación e intensificación de las rotaciones se logre incrementar la abundancia y biomasa de lombrices, tiene consecuencias funcionales en el suelo que son muy deseables. Una forma simple de tener una idea de la importancia funcional de las lombrices en los suelos estudiados, es calculando la biomasa de lombrices en kilos por hectárea, en cada tratamiento. Por ejemplo, para La Matilde (el campo con mayor biomasa), la intensificación alta con gramíneas tiene cerca de 1000 kg/ha de lombrices, versus 200 kg/ha de la rotación típica (Figura 2.5.66). Es decir, mediante la intensificación se quintuplicó la biomasa de lombrices desde la rotación típica. Si consideramos que una lombriz puede consumir una cantidad de suelo equivalente hasta 30 veces su propio peso por día, entonces, en la intensificación alta con leguminosas las lombrices estarían consumiendo (es decir mejorando química y físicamente) hasta 30 toneladas de suelo por hectárea por día. *Creemos que es en estos términos que hay que pensar la influencia de las lombrices en el funcionamiento del suelo.*

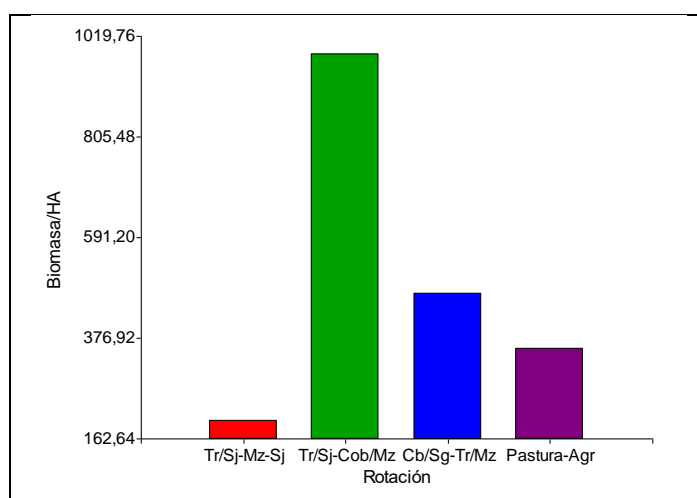


Figura 2.5.66. Biomasa de lombrices expresada en kilogramos por hectárea, en los diferentes tratamientos en el muestreo final del ensayo.

En los coleópteros se observó una respuesta positiva a la intensificación en todos los campos, si se comparan las dos rotaciones altas con la típica, y además, un efecto importante de las dos rotaciones altas respecto de la típica en la diversidad de especies. Buena parte de estos organismos participan en el proceso de descomposición de rastrojos y liberación de nutrientes, por lo que es muy interesante seguir evaluando el impacto funcional que pueden tener estos cambios.

En el resto de los invertebrados, analizados en conjunto, también fue evidente un cambio composicional, a nivel de grandes grupos taxonómicos, producto de la intensificación. Sin embargo,

es muy difícil interpretar estos cambios en relación al funcionamiento del suelo, dado que son grupos muy diversos y con grandes diferencias funcionales dentro de cada uno de ellos.

Por otro lado, la respuesta clara y contundente de los ácaros oribátidos a la diversificación e intensificación de las rotaciones es un resultado muy interesante, pues se ha probado su rol en las primeras instancias del proceso de descomposición de los rastrojos, con la consecuente importancia en la evolución de la MO, tanto para la liberación de nutrientes mediante mineralización como para la formación de compuestos orgánicos estables, que aporten a la estructura del suelo. Al igual que lo descrito para las lombrices, para tener una mejor idea del efecto de la cantidad de ácaros oribátidos que observamos en los lotes muestreados, en el funcionamiento del suelo, en este caso en el proceso de descomposición, hicimos un ensayo y unos cálculos simple. En nuestro laboratorio simulamos la densidad de oribátidos de los suelos agrícolas del proyecto, y los pusimos a consumir rastrojo de maíz traído del campo. Al cabo de 5 meses, observamos una disminución del 57% del peso inicial de rastrojos de maíz, producto del consumo de los ácaros. Si llevamos esos resultados a la abundancia promedio en la hojarasca en los tres campos, en la rotación alta con leguminosas, obtenemos que los ácaros oribátidos consumen (procesan físicamente, y probablemente modifican químicamente) 310 kilos de rastrojo por hectárea por día. En estos términos creemos que hay que pensar la influencia de los ácaros oribátidos en el funcionamiento del suelo.

En general se concluye que luego de implementar un cambio de manejo positivo (diversificación e intensificación de las rotaciones) en un lote con idéntica historia de uso, tipo y calidad del suelo, se producen cambios importantes en la fauna del suelo. En cuanto a la magnitud de los cambios que ocurren, es considerada muy significativa, en relación al corto a mediano plazo del ensayo, pero fundamentalmente a que el cambio de manejo es relativamente menor en comparación con los cambios que por ejemplo se estudiaron en el proyecto BIOSPAS (natural, monocultivo y rotación típica). La respuesta de la fauna a este cambio refleja la sensibilidad de los organismos y su importancia como indicadores. Además, los grupos que mejor responden, son los grupos claves en el funcionamiento del suelo.

CONSIDERACIONES FINALES – INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

El trabajo realizado durante estos 5 años (iniciamos el trabajo en marzo de 2015), nos ha permitido juntar mucha información y de buena calidad, de diferentes niveles en lo que se refiere a las escalas tróficas de la naturaleza que habita el suelo y constituyen el suelo y a escalas estructurales y funcionales en términos bioquímicos.

El período cubierto por nuestros muestreos en los ensayos de la Chacra Pergamino (años 2015, 2016, 2018 y 2019) en un desarrollo total del ensayo de 9 años iniciado en 2011, nos ha permitido analizar la dinámica de los cambios en los indicadores biológicos y de ese modo, podemos en este informe elaborar una interpretación de lo observado, como un modelo de funcionamiento del suelo bajo manejo agrícola con intensificación de insumos, en particular analizando los efectos de la diversificación e intensificación de las rotaciones.

El cuidadoso desarrollo de los ensayos y la disponibilidad de la información cuantitativa productiva, de manejo y de datos físicos y químicos de los mismos sitios de muestreo en los lotes de los cuales analizamos las muestras tuvo un valor crucial al momento de este análisis final que nos permite integrar los resultados obtenidos.

En términos de respuesta temprana del suelo podemos decir que luego de 4 años de implementar un cambio de manejo positivo con la intensificación y diversificación de la rotación de cultivos en 5 intensidades y composiciones diferentes, en un mismo gran lote con idéntica historia de uso, tipo y calidad del suelo; pudimos detectar cambios importantes en todos los niveles biológicos analizados y en muchos casos ya se observaron diferencias significativas entre tratamientos.

Los indicadores biológicos funcionales como los perfiles de actividades enzimáticas, responsables de la transformación de la materia en el suelo, permitieron separar los tratamientos en las muestras de 0-5 cm.

Los perfiles de ácidos grasos de los lípidos totales del suelo también permitieron discriminar los tratamientos entre las muestras de cada sitio.

Resultó muy llamativo los cambios encontrados en la fauna del suelo, en cuanto a la magnitud del cambio que ocurre, que fue considerada muy significativa, en relación al corto plazo del ensayo al momento del muestreo en 2015. En este punto debemos señalar que el cambio de manejo analizado en el Proyecto Chacra Pergamino resultó relativamente menor en comparación con los cambios que, por ejemplo, se estudiaron en el proyecto BIOSPAS (suelo de ambiente natural, suelo de monocultivo de soja y suelo de rotación trigo/soja-maíz-soja, considerado en ese momento (2010-2011) buenas prácticas). La respuesta de la fauna a este cambio de intensificación por encima de la rotación típica que era ya considerada buena práctica refleja la sensibilidad de los organismos y su importancia como indicadores. Además, los grupos que mejor respondieron fueron los grupos claves en el funcionamiento del suelo: lombrices, colémbolos y ácaros oribátidos.

Otra conclusión relevante en términos de cambio biológicos fue encontrar que la intensificación balanceada entre gramíneas y leguminosas resultó sensiblemente mejor que las que fueron 100% gramíneas para valores de ocupación del suelo en el tiempo o índice de intensificación equivalente. También es importante remarcar que el mejor balance C/N que probablemente determina el mejor comportamiento de la rotación alta con leguminosas, no se observó (en términos de variables productivas o FQ) en la franja con fertilización de lujo en N, según los comentarios de la mesa técnica del Proyecto. Este resultado pone en evidencia que el N aportado al sistema de forma biológica presenta alguna ventaja adicional por sobre el N inorgánico.

Esta imagen obtenida con los datos del muestreo de 2015 fue corroborada en el muestreo de 2016 y ampliada al poder obtener la estructura del microbioma bacteriano.

El análisis del microbioma bacteriano en el año 2016 nos permitió encontrar una respuesta novedosa en relación a un sutil cambio en el microbioma asociado a la intensificación y diversificación de las rotaciones, con algunos grupos que aumentan su densidad relativa en la estructura completa del microbioma a nivel de phylum bacteriano, como los Bacteroidetes y otros que disminuyen con la intensificación como las Acidobacterias y los Gematimonadetes. Es remarcable haber encontrado que el manejo agrícola a nivel de la intensidad de las rotaciones de cultivo genera cambios en el microbioma en forma coherente, es decir que se reproduce en diferentes establecimientos y aún con diferentes rotaciones de cultivos, pero de intensidades similares.

Hasta ahí podríamos decir que encontramos que los indicadores biológicos resultaron variables más sensibles que las físicas y químicas medidas en 2015 para diferenciar los suelos con diferente manejo. Obtuvimos una foto. A partir de una foto es bastante complejo, o muy especulativo, elaborar la película o el modelo de funcionamiento.

Con los muestreos de 2018 y 2019 no solo se volvieron a corroborar las observaciones anteriores, sino que el conjunto de los datos permitió introducir el factor tiempo como variable adicional al conjunto de los datos, necesaria para comprender cualquier proceso biológico, pues la vida se desarrolla en el tiempo.

Al analizar los datos en el tiempo encontramos que la respuesta fisiológica de adaptación de las actividades enzimáticas del suelo a los diferentes manejos se hace cada vez más relevante como característica del sistema al punto de superar en 9 años de manejo al efecto sitio observado inicialmente. También pudimos encontrar un acomodamiento de las actividades enzimáticas en el perfil del suelo que se va manifestando de arriba hacia abajo, es decir con probable origen en la descomposición de los rastrojos acumulados en el lote y muy probablemente movilizado por la actividad de la meso y macrofauna del suelo, cuyas variaciones en aumento de densidad van en sentido similar a lo encontrado para las actividades enzimáticas.

También resultó un hallazgo relevante encontrar que en los primeros 5 cm del suelo con el paso del tiempo se verifica una estabilización de la fisiología del suelo que se ajusta al modelo estequiométrico elemental con el cual se han caracterizado recientemente los suelos prístinos de los sistemas naturales (Sinsabaugh y col., 2018). Es decir, todos los suelos de los diferentes ensayos del Chacra Pergamino, con rotaciones intensivas por encima de la denominada "típica" para la zona resultaron ser suelos equivalentes a los prístinos (reportados en bibliografía) en términos de balance estequiométrico por sus enzimas responsables de la adquisición de C, N y P. Éste hallazgo nos brinda un criterio de salud funcional. Esto fue también corroborado por el comportamiento alejado de la normalidad funcional estequiométrica de un suelo sojizado con un manejo sin cuidados para la sostenibilidad del recurso.

El paso del tiempo aumenta el número de variables biológicas (en particular varias actividades enzimáticas) que muestran correlaciones con el índice de intensificación y diversificación de los cultivos, sugiriendo una estabilización del sistema a la nueva condición, en el tiempo.

Para completar a esta descripción de la variación en la fisiología del suelo en términos enzimáticos o metabólicos, es necesario recordar que las actividades enzimáticas del suelo corresponden a enzimas extracelulares, es decir, el suelo agrícola bien manejado funciona en forma regulada como un suelo prístino y su funcionamiento no sería el de sus microorganismos sino el del suelo mismo como sistema integrado.

En términos estructurales también pudimos hacer una observación relevante y fue encontrar una variación positiva en las abundancias de macroagregados (2000-250 mm) y microagregados de mayor tamaño (250-63 mm), resistentes a la dispersión acuosa, con la intensificación de las rotaciones. Este cambio físico a escala microbiana, ha sido reconocido recientemente (Lehmann y col., 2017) como una actividad biológica que ocurre en el suelo y que relaciona la estructura física del suelo con las comunidades de bacterias y hongos. Estos macro- y microagregados se estabilizan por lo que actualmente se denomina sustancias extracelulares poliméricas del suelo (Costa y col., 2018), que no son otra cosa que sustancias cementantes de las partículas minerales que determinan la porosidad del suelo y con el tiempo el aumento de su conectividad (Hemkemeyer y col., 2018). La hidrofobicidad de estos microagregados debería tener, bioquímicamente hablando, relación necesaria con las sustancias lipídicas del suelo.

Siguiendo esta línea de pensamiento hicimos un hallazgo a partir de analizar la dinámica de los perfiles de ácidos grasos que determinan la discriminación de los tratamientos de intensificación de las rotaciones a lo largo del tiempo. Los ácidos grasos particulares que resultan relevantes para la discriminación del efecto intensificación de las rotaciones, cambian con el tiempo. No se trata de un único ácido graso sino de un perfil de los mismos. El cambio de este perfil con el paso del tiempo muestra un aumento en la presencia de ácidos grasos más complejos bioquímicamente hablando, con ramificaciones, hidroxilaciones, metilaciones e insaturaciones en su cadena carbonada. Estas modificaciones estarían relacionadas, desde un punto de interpretación bioquímico y biofísico, con la fluidez de la materia orgánica debido a la incorporación de estas modificaciones en los ácidos grasos de los lípidos del suelo. Es decir, hemos detectado cambios en la calidad bioquímica de la materia orgánica que probablemente estén relacionados con la mejora en la estructura física y biofertilidad debido a la intensificación de las rotaciones practicadas en el suelo. Proponemos para monitorear este cambio, un nuevo índice de composición bioquímica de los lípidos del suelo que funcionaría para la caracterización bioquímica de la calidad de los mismos.

La estructura del microbioma del suelo en términos dinámicos no refleja los cambios que aparecen en los perfiles de enzimas perfiles de lípidos, en los cuales el efecto sitio desaparece con el tiempo. Bioquímica y biológicamente hablando esto es lógico pues las regulaciones de los sistemas ocurren siempre primero a nivel funcional y luego evolucionan modificando su estructura genética.

De todos modos encontramos variaciones en varios grupos bacterianos a nivel de phylum con el grado de intensificación y, corroborando el modelo de interpretación descrito más arriba respecto de la dinámica de la calidad de la materia orgánica en términos de composición de ácidos grasos relevantes, encontramos una fuerte correlación (Spearman) entre los grupos bacterianos asociados a los mejoramientos productivos por intensificación con los grupos químicos de ácidos grasos monoinsaturados, poliinsaturados, hidroxilados y ramificados, a los que pertenecen los ácidos grasos relevantes que constituyen el índice de calidad bioquímica propuesto y mencionado más arriba. Es decir, el sistema se interrelaciona en todos sus niveles.

Se abren muchas preguntas y queda mucho por estudiar, pero pareciera que el suelo se abre a su comprensión, en cuanto a la relevancia y significado de la biología del suelo en los sistemas agrícolas de producción extensiva en siembra directa.

Claramente surge las preguntas de ¿cómo afecta el agregado de nutrientes inorgánicos y agroquímicos diversos a toda esta biología del suelo que forma parte esencial de la salud y productividad del mismo. En este sentido, es sugerente el resultado de correlación que encontramos en nuestros análisis de integración de todos los datos del proyecto chacra, que muestra una fuerte correlación negativa entre el número de aplicaciones de agroquímicos y el valor de las variables biológicas (ver capítulo de integración de el informe final, Agosti-Bedano-Wall)

En discusiones anteriores hemos planteado si la biología debería incluirse o no en el proceso agrícola. Este estudio muestra que la biología es parte relevante del sistema de producción agrícola. Tenerla o no en consideración es una cuestión de que modelo de trabajo y paradigma del suelo se adopta.

BIBLIOGRAFÍA

- Bardgett, R. D., & Van Der Putten, W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515(7528), 505-511.
- Bender, S. F., Wagg, C., & van der Heijden, M. G. (2016). An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in ecology & evolution*, 31(6), 440-452.
- Costa, O. Y., Raaijmakers, J. M., & Kuramae, E. E. (2018). Microbial extracellular polymeric substances: ecological function and impact on soil aggregation. *Frontiers in microbiology*, 9, 1636.
- Hemkemeyer, M., Dohrmann, A. B., Christensen, B. T., & Tebbe, C. C. (2018). Bacterial preferences for specific soil particle size fractions revealed by community analyses. *Frontiers in microbiology*, 9, 149.
- Lehmann, A., Zheng, W., & Rillig, M. C. (2017). Soil biota contributions to soil aggregation. *Nature Ecology & Evolution*, 1(12), 1828-1835.
- Segata et al. (2011) *Genome Biol.* 12(6):R60. doi: 10.1186/gb-2011-12-6-r60
- Jangid, A., & Prakash, T. (2019). Microbial Genome Diversity and Microbial Genome Sequencing. In *Microbial Genomics in Sustainable Agroecosystems* (pp. 175-201). Springer, Singapore.
- Sinsabaugh, R. L., Lauber, C. L., Weintraub, M. N., Ahmed, B., Allison, S. D., Crenshaw, C., ... & Gartner, T. B. (2008). Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. *Ecology letters*, 11(11), 1252-1264.
- Totsche, K. U., Amelung, W., Gerzabek, M. H., Guggenberger, G., Klumpp, E., Knief, C., ... & Ray, N. (2018). Microaggregates in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181(1), 104-136.
- Xu, Z., Yu, G., Zhang, X., He, N., Wang, Q., Wang, S., ... & Wang, C. (2017). Soil enzyme activity and stoichiometry in forest ecosystems along the North-South Transect in eastern China (NSTEC). *Soil Biology and Biochemistry*, 104, 152-163.

CAPÍTULO 2.6

SISTEMAS INTENSIFICADOS: EFECTO SOBRE MALEZAS Y EL AMBIENTE

M.B. Agosti, E. de la Fuente, M. Marzetti y S. Barberis

INTRODUCCIÓN

¿Qué se sabe del impacto de la intensificación en la comunidad de malezas?

La intensificación sustentable se refiere al proceso por el cual se intensifica o aumenta el uso de los recursos manteniendo o incrementando la productividad y utilizando los inputs químicos de una manera racional (Caviglia *et al.*, 2010). Este proceso está asociado a la mayor complejidad del sistema y manejo eficiente de recursos. En este contexto, resulta valioso evaluar el impacto del aumento de la complejidad relacionada con distintas secuencias de cultivos sobre la estructuración de las comunidades de malezas.

La estructura (composición de especies y abundancia) de las comunidades es un proceso que sigue un grupo de “reglas de ensamblaje” que actúan sobre el conjunto de especies a modo de filtros organizados de forma jerárquica. En este proceso los factores ambientales involucrados restringen las especies del conjunto regional que conforma las comunidades locales. Las restricciones o “filtros” bióticos y abióticos actúan en múltiples escalas eliminando especies que carecen de rasgos específicos (Keddy, 1992; Belyea y Lancaster, 1999).

Los componentes tecnológicos asociados al manejo de los cultivos también pueden actuar como filtros regulando los patrones de cambio de las malezas. Por ejemplo, la intensificación y su relación con variaciones en las secuencias de cultivos, el manejo del periodo de barbecho, el tipo de labranza, la estructura del cultivo, el manejo de herbicidas y fertilizantes, el sistema de siembra y cosecha, son algunos de los filtros que pueden afectar la estructura de la comunidad a través de su efecto sobre los procesos de enmalezamiento (establecimiento, competencia, dispersión, resistencia).

La rotación de cultivos, a diferencia de los monocultivos, genera un conjunto diverso de factores que actúan sobre las poblaciones de malezas y, en consecuencia, incrementan las oportunidades para su manejo. Rotaciones diversas reducen el enmalezamiento porque generan condiciones inhóspitas y fatales a lo largo del ciclo de vida de las malezas. Las monoculturas por el contrario promueven el establecimiento de especies de malezas adaptadas a las condiciones que favorecen la producción de los cultivos. Por ello, la flora resultante es muy competitiva y de difícil control. Las secuencias deben incluir cultivos que crezcan en distintas estaciones del año, que maximicen la captura de recursos a lo largo del año, que difieran en las fechas de siembra y de cosecha, en sus hábitos de crecimiento y características de sus residuos y en sus propiedades alelopáticas (Liebman y Dyck 1993; Liebman y Ohno, 1998).

Por su parte, los cultivos de cobertura juegan un papel importante en sistemas de cultivo sustentables por la disminución de la erosión del suelo, la reducción de la lixiviación de nitratos, el aumento de la materia orgánica del suelo y la supresión de malezas sin el uso de herbicidas sintéticos. Los cultivos de cobertura contribuyen al manejo no químico de las malezas al reducir la cantidad de recursos disponibles para las malezas e interferir alelopáticamente. La mezcla de diferentes especies utilizada como cultivo de cobertura puede proporcionar mayor eficacia de manejo de malezas debido a una combinación de diferentes mecanismos inhibitorios sobre el establecimiento (variaciones de temperatura, luz, humedad del suelo) y crecimiento (competencia y alelopatía) de las mismas (Smith *et al.*, 2015).

¿Qué se sabe sobre el uso de herbicidas en sistemas intensificados?

Actualmente la agricultura tiene dos grandes desafíos, por un lado aumentar la producción de cultivos para satisfacer la creciente necesidad de alimentos y, por otro lado reducir el impacto ambiental para mantener la sustentabilidad del sistema. En este contexto, es necesario incrementar la producción de granos, aumentando los rendimientos por unidad de superficie en las actuales áreas agrícolas y utilizando más eficientemente los recursos e insumos de manera de minimizar el riesgo ambiental y económico.

Ante la complejidad del problema de enmalezamiento, el reto es resolverlo mediante enfoques alternativos que reduzcan el nivel de infestación y al mismo tiempo el uso de productos químicos, evitando así sus efectos colaterales sobre el funcionamiento (Vasileiadis *et al.*, 2015), la contaminación (Peruzzo *et al.*, 2008, Viglizzo *et al.*, 2011), la biodiversidad (Stoate *et al.*, 2009) y la regulación natural de las plagas (Geiger *et al.*, 2010, Cardinale *et al.*, 2012) en los agroecosistemas.

Los mayores esfuerzos para incrementar la producción deberían enfocarse en la intensificación del uso de la tierra (Andrade, 2017) y en la llamada intensificación sustentable o ecológica que propone aumentar la productividad y los servicios ecosistémicos (Garibaldi, 2019). En sistemas simples, de baja intensificación, donde aparecen en juego largos períodos de barbecho, la proliferación de malezas aumenta, lo que obliga a realizar aplicaciones periódicas de herbicidas para su control. Al intensificar, se aumenta la eficiencia en el uso de los recursos disponibles del sistema productivo, lo que posibilita disminuir el crecimiento de malezas y en consecuencia, disminuir también el número de aplicaciones de herbicidas. Las herramientas disponibles para lograrlo, involucran la implantación de un doble cultivo de cosecha (estival+invernal), la incorporación de cultivos de servicios entre cultivos de cosecha, la diversificación en la rotación y la incorporación de pasturas (AAPRESID, 2019).

En relación a estos temas, los objetivos de la Chacra Pergamino son **evaluar el impacto de distintas rotaciones de cultivos sobre la estructura y riqueza de la comunidad de malezas y cuantificar la toxicidad generada en el ambiente por el uso de herbicidas** entre situaciones con niveles de intensificación contrastantes.

METODOLOGÍA

Experimentos: Determinaciones y análisis de datos

A. Efecto de la intensificación sobre la población de malezas (abundancia y frecuencia)

En los años 2017 y 2018 se realizaron dos mediciones de malezas al año (una en otoño y otra en primavera) en todas las rotaciones en los tres establecimientos (SN, LMe y LMs). En cada tratamiento (rotación) se establecieron 10 estaciones muestrales de 10 m² cada una, tomando un círculo de aproximadamente 1,7m de radio, teniendo como centro al observador.

En cada momento de muestreo se relevó las especies de malezas presentes y su abundancia, esto último a través del Indicador Poblacional de Abundancia (IPA) (Tabla 2.6.1 y 2.6.2). La frecuencia de aparición (F) de cada especie de maleza se determinó como el cociente entre el número de estaciones en la que se registró la maleza y el total de estaciones (10). El IPA utilizado varió entre las mediciones de 2017 y 2018, buscando mayor detalle en el segundo caso. Luego se hizo una transformación para unificar los datos para el análisis.

Tabla 2.6.1. IPA 2017 (Indicador Poblacional de Abundancia). Estimación visual.

Malezas por Ciclo de Vida	Nº de plántulas en 10 m ²			
	Nivel de IPA			
	1	2	3	4
Monocotiledóneas anuales	Abundancias muy bajas, esporádicas y difíciles de estimar (1)	< 1 (1)	1.0-10 (2)	> 10 (3,5)
Dicotiledóneas anuales		< 0.5 (1)	0.5-3 (1)	> 3 (3)
Monocotiledóneas perennes		< 0.5 (1)	0.5-3 (1)	> 3 (3)
Dicotiledóneas perennes		< 0.4 (1)	0.4-2 (1)	> 2 (3)

(*) valor de IPA corregido para unificar datos entre años

Tabla 2.6.2. IPA MODIFICADO 2018 (Indicador Poblacional de Abundancia). Estimación visual.

Malezas por Ciclo de Vida	Nº de plántulas en 10 m ²			
	Nivel de IPA			
	1	2	3	4
Igual para todos los Ciclos de Vida	1	1-10	11-100	> 100

Para caracterizar la abundancia de malezas en una rotación se multiplicó el valor de IPA y F de cada especie. Los valores de abundancia se calcularon para cada momento de muestreo. Para el número de especies, se calculó un promedio de ambos años en otoño y primavera.

B. Efecto de la intensificación sobre la estructura y la riqueza de la comunidad de malezas

En septiembre de 2018 se realizaron experimentos mensurativos (relevamiento de malezas) en parcelas a campo (Exp. 1) y experimentos manipulativos (muestreo de banco de semillas de las parcelas a campo) en el invernáculo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (34°, 25'S; 58°, 25'O) (Exp. 2).

Los relevamientos de malezas y el muestreo del banco de semillas se realizaron en parcelas de aproximadamente 10ha ubicadas en tres establecimientos donde se repetían las mismas rotaciones (SN, LMe y LMs). En ambos experimentos el diseño fue completamente aleatorizado, con dos o tres (Exp. 1) y cuatro repeticiones (Exp. 2) y cuatro tratamientos o rotaciones: (i) pastura - trigo/soja de segunda - arveja/maíz - avena/soja (P-A en negro), (ii) trigo/soja de segunda - maíz - soja (T/S-M-S en rojo), (iii) trigo/soja de segunda - arveja/maíz - avena/soja (T/S-A/M-CC/S en amarillo), (iv) trigo/maíz segunda - cultivo de cobertura de vicia/maíz tardío (T/M-CC/M en azul).

El relevamiento (Exp. 1) se realizó siguiendo el método fitosociológico clásico, registrando la lista de especies de toda la zona central de la parcela y la cobertura-abundancia de las especies de malezas y del cultivo si lo hubiere. En el muestreo del banco de semillas (Exp. 2) se tomaron de forma aleatoria tres muestras de banco de semillas por parcela a una profundidad de 8 cm, se trasladaron al invernáculo de FAUBA y allí se homogeneizaron. Luego se tomaron cuatro sub muestras que se colocaron en bandejas plásticas perforadas en la base para favorecer el drenaje y se cubrieron con red para evitar herbivoría y contaminación. Periódicamente, desde septiembre a diciembre, se regaron las bandejas y se relevaron las plántulas emergidas y la densidad de individuos por especie. En ambos experimentos se determinaron algunas funciones (morfotipo, origen y ciclo) y se evaluó la riqueza y constancia de especies.

La estructura y riqueza de la comunidad se analizó con métodos estadísticos univariados (ANVA). Los efectos de distintos parámetros asociados a cada rotación (IIR, % gramíneas, %MO, %COP, C total, biomasa de rastrojos, número de aplicaciones) sobre la estructura de la comunidad se evaluaron con métodos multivariados (PCA).

C. Efecto de la intensificación sobre el uso de agroquímicos

Se realizó la evaluación de riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en las distintas rotaciones de cada campaña agrícola (2012/13 a 2017/18), a través de la plataforma RIPEST (Ferraro *et al.*, 2003). Dicho sistema mide el efecto de la toxicidad de los plaguicidas a través de Unidades toxicológicas (UT) en dos grupos de organismos: mamíferos e insectos.

$$UT_{mi} = D_i / LD50_{i \text{ rat}}$$

$$UT_{ii} = D_i / LD50_{i \text{ bee}}$$

donde, UT_{mi} y UT_{ii} son las unidades tóxicas para mamíferos e insectos, D_i es la dosis aplicada (gr. de producto formulado/ha) del pesticida i , $LD50_{i \text{ rat}}$ es la dosis letal aguda oral 50 para ratas (mg/k) del pesticida i , y $LD50_{i \text{ bee}}$ es la dosis letal aguda de contacto para abejas (μg /abeja) del pesticida.

Dado que este trabajo está enfocando en el comportamiento de malezas respecto a la intensificación del uso del suelo con distintas rotaciones, se decidió analizar únicamente cuál era el impacto de uso de herbicidas en forma independiente al resto de los plaguicidas. Para ello, se utilizaron los resultados de las UT_i y UT_m acumuladas de los herbicidas aplicados en los 6 años de ensayos (2012/13 a 2017/18) para representarlo en forma gráfica según establecimiento y rotación evaluada. También se establecieron relaciones lineales entre la suma de unidades toxicológicas (UT_i y UT_m) y el número de aplicaciones de herbicidas de cada rotación de cada establecimiento y el IIR.

RESULTADOS

A. Efecto de la intensificación sobre la población de malezas (abundancia y frecuencia)

La abundancia de malezas en San Nicolás tuvo algunas diferencias entre momentos de muestreo y rotaciones (Figura 2.6.1). Comparando entre rotaciones, se dan picos y caídas en la abundancia en distintos momentos que en general pueden tener que ver con los cultivos presentes al momento de muestreo, e indirectamente con las aplicaciones de herbicidas asociados a los mismos. Sin embargo, hay una leve tendencia a mayor abundancia de malezas en la rotación testigo (T/S-M-S línea roja) y la rotación con arveja (T/S-A/M-CC/S línea amarilla), y menor abundancia la rotación con alto porcentaje de gramíneas (T/M-CC/M línea azul). Comparando entre momentos de muestreo, en otoño en general hubo mayor abundancia de malezas que en primavera, especialmente en las rotaciones que en primavera tenían cultivos invernales en pleno desarrollo (trigo, vicia, avena) que compiten muy bien con las malezas. Sin embargo, no es lo que suele ocurrir con la arveja (línea amarilla en primavera 2017), que por su baja producción de materia seca y escasa competencia, suele tener mayor abundancia de malezas en plena floración del cultivo. Los niveles altos de abundancia en otoño 2017 en rotaciones P-A (línea negra), T/S-M-S y T/S-A/M-CC/S se deben a que el muestreo fue post cosecha de soja, antes de realizarse aplicaciones de herbicidas e incluyendo al rebrote de soja guacha, la cual fue contabilizada como maleza.

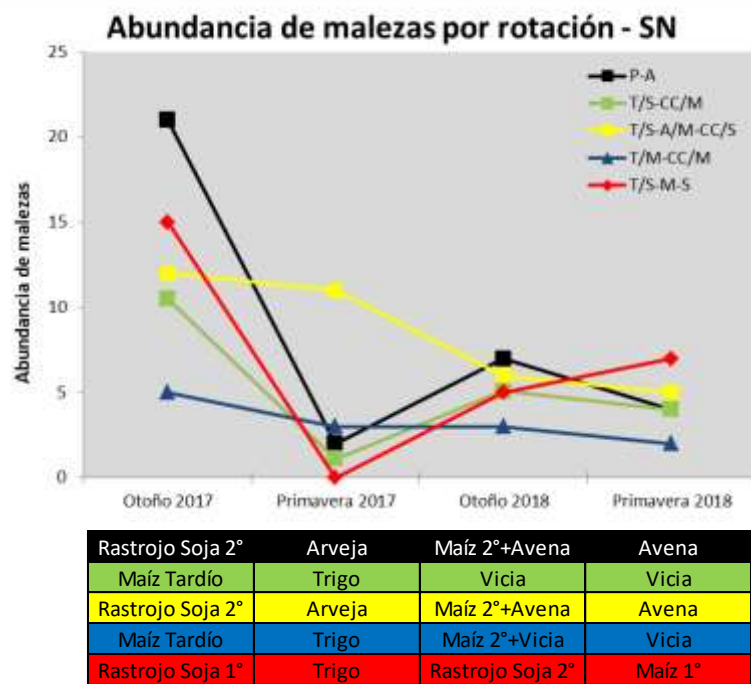


Figura 2.6.1. Abundancia de malezas en las distintas rotaciones de San Nicolás (SN) en 4 momentos de muestreo (Otoño y Primavera 2017 y 2018). En la tabla inferior se muestra el cultivo que había en cada rotación en el momento de muestreo.

En La Matilde la abundancia de malezas fue en general algo menor que en SN al analizar todas las rotaciones y momentos de muestreo (Figura 2.6.2). Comparando entre rotaciones es menos claro aún el efecto de la intensificación sobre la abundancia de malezas; no se destacaron rotaciones que contundentemente tengan mayor o menor nivel de malezas. La abundancia nuevamente estuvo más asociada al cultivo presente al momento de muestreo, con picos altos en el rastrojo de soja (rotación T/S-M-S y T/S-A/M-CC/S en otoño 2017) y niveles mínimos de malezas cuando hubo trigo en primavera (todas las rotaciones en primavera 2017). En el caso de la rotación T/M-CC/M (línea azul) en primavera 2018, la mayor abundancia de malezas estuvo asociada a que la vicia tuvo una implantación desuniforme (siembra aérea con maíz en pie), dejando libres de cultivo de cobertura algunas zonas, que se enmalezaron en primavera. En este establecimiento también hubo más enmalezamiento en otoño que en primavera en la mayoría de las rotaciones.



Figura 2.6.2. Abundancia de malezas en las distintas rotaciones de La Matilde (LMe) en 4 momentos de muestreo (Otoño y Primavera 2017 y 2018). En la tabla inferior se muestra el cultivo que había en cada rotación en el momento de muestreo.

En Las Matreras la abundancia de malezas de todas las rotaciones fue en general mayor que en SN y LMe (Figura 2.6.3). Comparando entre rotaciones, al igual que en SN, hay una tendencia en la rotación T/S-M-S (línea roja) y T/S-A/M-CC/S (línea amarilla) a tener mayor abundancia, y en la rotación con más gramíneas (T/M-CC/M línea azul) a tener menor. Además, también fue importante el impacto del cultivo presente al momento de muestreo, con mayor abundancia en rastrojos de soja en otoño y arveja en primavera, que con trigos y vicias en primavera. La excepción es el trigo de la rotación T/S-M (línea verde) en primavera 2018 que a pesar de estar en pleno crecimiento se presentaba muy enmalezado. Entre momentos de muestreo también hubo más abundancia en otoño que en primavera en la mayoría de las rotaciones.

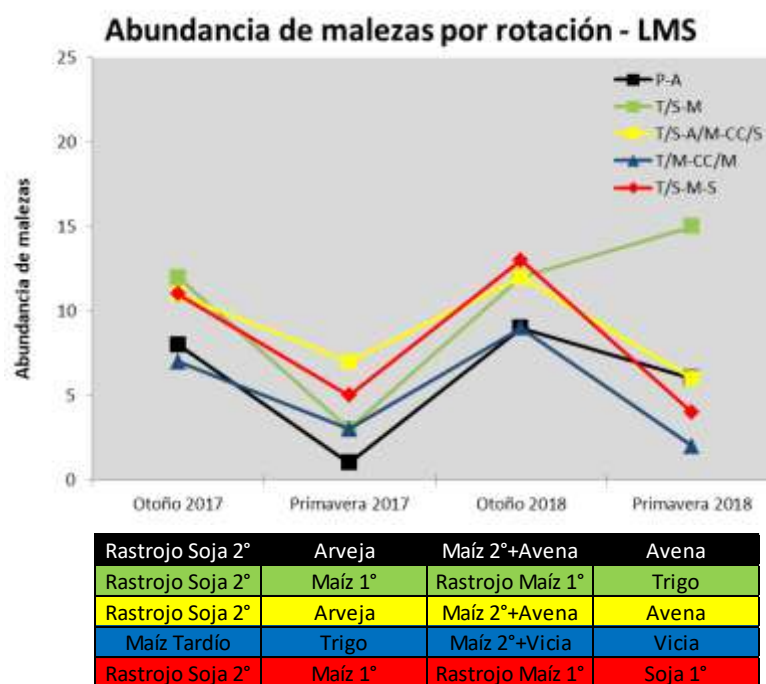


Figura 2.6.3. Abundancia de malezas en las distintas rotaciones de Las Matreras (LMs) en 4 momentos de muestreo (Otoño y Primavera 2017 y 2018). En la tabla inferior se muestra el cultivo que había en cada rotación en el momento de muestreo.

El número de especies de malezas en general fue mayor en los muestreos de otoño que en los de primavera en los tres establecimientos (Figura 2.6.4). En otoño, el mayor número de especies se da en las rotaciones P-A (barras negras), T/S-A/M-CC/S (barras amarillas) y T/S-M-S (barras rojas); y el menor valor en las rotaciones T/M-CC/M (barras azules). En primavera, las diferencias entre rotaciones en el número de especies es mucho menor y no hay una tendencia tan clara.

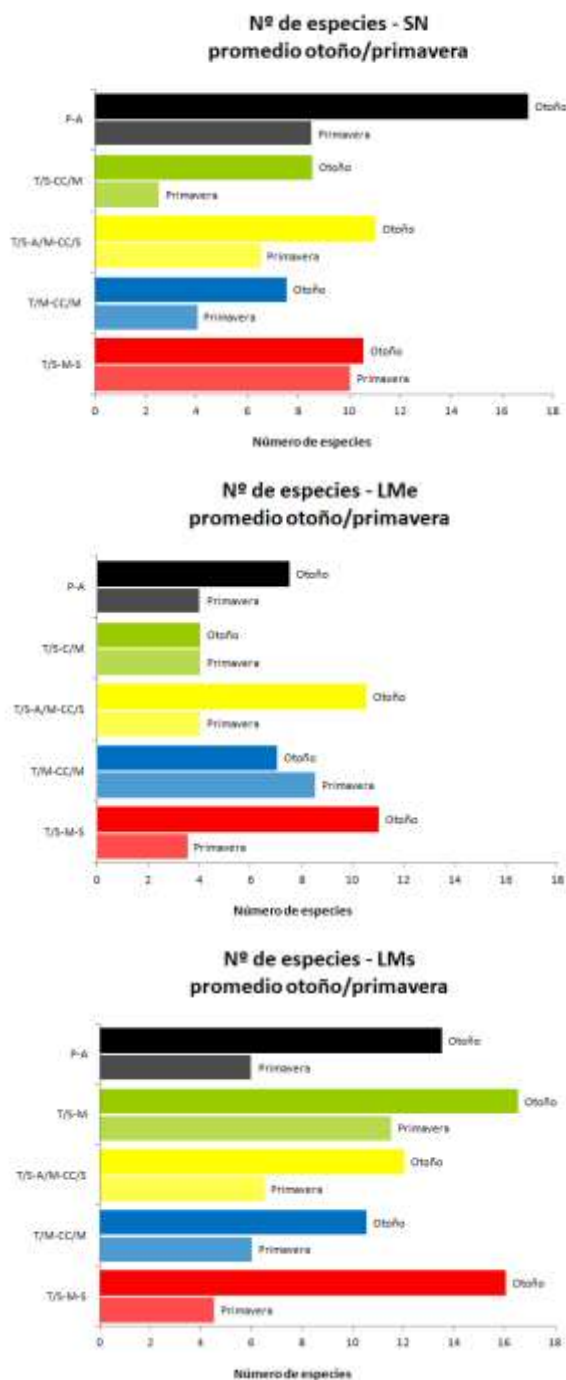


Figura 2.6.4. Número de especies de malezas promedio en otoño (colores más oscuros) y primavera (colores más claros) en cada rotación en los tres establecimientos (SN, LMe y LMs).

De las malezas evaluadas, hubo tres que estuvieron presentes en el mayor número de casos analizados: *Conyza* sp, *Lolium* sp. y *Sonchus* sp. Se establecieron relaciones entre la abundancia de las mismas en otoño 2018 y la biomasa de rastrojo acumulada por los distintos cultivos de cada rotación (2012/13 a 2017/18). Se eligió el otoño 2018 por coincidir con el momento en que se finalizó de acumular el rastrojo de las 6 campañas y por ser el otoño el momento de mayor abundancia de malezas. Solo *Conyza* tuvo un buen ajuste, reduciendo su abundancia en las rotaciones con mayor acumulación de biomasa de rastrojo (Figura 2.6.5).

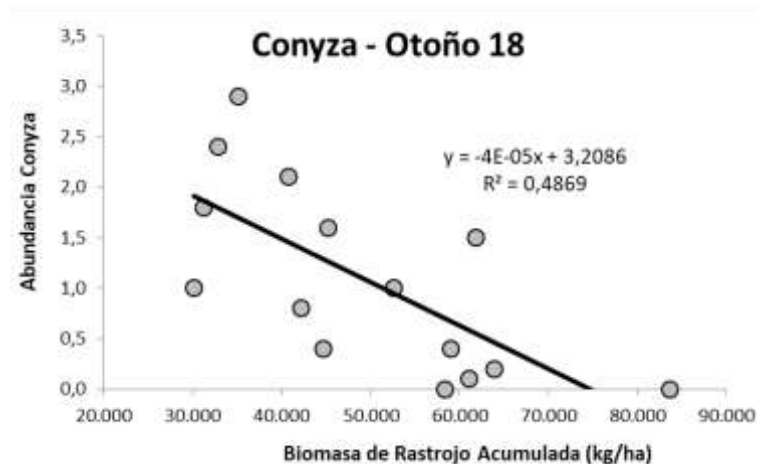


Figura 2.6.5. Relación entre la abundancia de *Conyza* sp. (Rama Negra) en otoño 2018 y la biomasa acumulada de rastrojo desde la campaña 2012/13 a 2017/18. Se incluyen todas las rotaciones en los tres establecimientos (LMs, SN y LMe).

B. Efecto de la intensificación sobre la estructura y la riqueza de la comunidad de malezas

Aunque el elenco de especies no fue exactamente igual entre experimentos (relevamiento y banco de semillas), el análisis permitió identificar cuatro comunidades diferentes asociadas a cada una de las rotaciones analizadas, caracterizadas por la presencia o ausencia de diferentes grupos florísticos (Tablas 2.6.3 y 2.6.4). Considerando que entre establecimientos hay algunas diferencias ambientales asociadas al clima, al suelo y al manejo, encontrar diferencias entre rotaciones indica que son un filtro importante en la conformación de la comunidad.

La riqueza total de especies fue 36 (Exp. 1) y 21 (Exp. 2). Predominan las dicotiledóneas anuales y no hubo diferencias marcadas entre nativas y exóticas. Este resultado es bastante consistente en las comunidades de malezas del área pampeana. En el relevamiento predominaron las especies OIP y comenzaban a emerger las PEO, en el análisis de suelo predominaron las PEO que no habían emergido.

Relevamiento (Exp. 1)

El grupo formado por *Stellaria media*, *Lolium multiflorum*, *Lamium amplexicaule*, *Coronopus didymus*, *Conyza bonariensis*, *Urtica urens*, *Capsella bursa pastoris*, *Senecio grisebacchi*, *Alternanthera pungens* y *Sonchus oleraceus* presentó alta constancia (% de sitios en los que estuvo presente la especie) en todas las rotaciones (Tabla 2.6.3). Es común que haya un grupo de especies de alta constancia común en todos los ambientes, en general son especies adaptadas a las condiciones ambientales favorables para los cultivos.

El resto de los grupos presentó diferencias entre rotaciones. Por ejemplo, el grupo *Trifolium repens* y *Vicia sativa* estuvo presente sólo en la rotación P-A, mientras que el grupo *Cirsium vulgare* y *Gamochoaeta pensylvanica* estuvo ausente sólo en la rotación T/M-CC/M.

La riqueza total en el relevamiento fue de 36 especies. Si bien no hubo diferencias estadísticamente significativas entre rotaciones en riqueza y abundancia de especies, la rotación P-A tendió a presentar alta riqueza y abundancia total, es decir hubo equitatividad de especies ya que había muchas especies de baja abundancia cada una. Mientras que la rotación T/M-CC/M tendió a presentar baja riqueza y alta abundancia total, es decir hubo especies dominantes ya que hubo pocas especies de alta abundancia cada una.

Tabla 2.6.3. Comunidades de malezas asociadas a cada rotación según el relevamiento (Exp. 1) realizado en septiembre de 2018. Composición de especies y funciones y constancia y riqueza de especies.

GRUPO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE VULGAR	FAMILIA	MORFOTIPO	CICLO	ORIGEN	CONSTANCIA SEGÚN ROTACIÓN			
							rotación: pastura-trigo/soja 2da -arveja/maíz-avena/soja	rotación: trigo/soja 2da - maíz - soja	rotación: trigo/soja 2da - arveja/maíz - avena/soja	rotación: trigo/ maíz 2da - vicia/ maíz tardío
							antecesor: maíz relevado: avena	antecesor: soja 2da relevado: barbecho	antecesor: maíz relevado: avena	antecesor: maíz relevado: vicia
I	<i>Stellaria media</i> (L.) Cirillo	Capiqui	Caryophyllaceae	D	A	A	100	100	100	66,7
	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	Raigrás criollo	Poáceas	M	A-B	I	50	33,3	50	33,3
	<i>Lamium amplexicaule</i> L.	Ortiga mansa	Lamiáceas	D	A	A	100	100	50	100
	<i>Coronopus didymus</i> (L.) Sm.	Mastuerzo	Brassicaceae	D	A	N	100	33,3	100	66,7
	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	Rama negra	Asteraceae	D	A	N	50	100	100	33,3
	<i>Urtica urens</i> L.	Ortiga	Urticaceae	D	A	NAT	100	100	50	33,3
	<i>Capsella bursa pastoris</i> (L.) Medik.	Bolsa de pastor	Brassicaceae	D	A-B	A	100	33,3	100	33,3
	<i>Senecio grisebachii</i> Baker	Primavera	Asteraceae	D	P	N	100	33,3	100	33,3
	<i>Alternanthera pungens</i> Kunth	Alternantera	Amaranthaceae	D	P	N	100	33,3	100	33,3
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Sonchus	Asteraceae	D	A	A	100	33,3	50	33,3
II	<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	Cardo común	Asteraceae	D	A-B	NAT	100	33,3	100	
	<i>Gamochaeta pensylvanica</i> (Willd.) Cabrera		Asteraceae	D	B-P	N	100	66,7	100	
III	<i>Trifolium repens</i> L.	Trébol blanco	Fabaceae	D	P	A	50			
	<i>Vicia sativa</i> L.	Arveja común	Fabaceae	D	A	A	50			
IV	<i>Cyclosporum leptophyllum</i> (Pers.) Sprague	Apio cimarrón	Apiaceae	D	A	N	50	66,7		
	<i>Veronica persica</i> Poir.	Canchalagua	Plantaginaceae	D	A	A	100	33,3		
	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Pasto cuaresma	Poaceae	M	A	A	50	33,3		
V	<i>Carduus acanthoides</i> L.	Cardo chileno	Asteraceae	D	A	N	100		50	
	<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	Diente de león	Asteraceae	D	P	A	50		50	
	<i>Rumex crispus</i> L.	Lengua de vaca	Polygonaceae	D	P	A	50		50	
	<i>Veronica peregrina</i> L.	Plumilla	Plantaginaceae	D	A	A	50		50	
VI	<i>Bowlesia incana</i> Ruiz & Pav.	Perejilillo	Umbelíferas	D	A	N	100			33,3
	<i>Oxalis conorrhiza</i> Jacq.	Oxalis	Fabaceae	D	P	N	50			33,3
VII	<i>Avena fatua</i> L.	Avena	Poaceae	M	A	I				33,3
	<i>Hordeum vulgare</i> L.	Cebada	Poaceae	M	A	A				33,3
	<i>Bromus</i> sp.	Bromus	Poaceae	M					50	33,3
	<i>Anagallis arvensis</i> L.	Anagallis	Primulaceae	D	A	A			50	
VIII	<i>Glycine max</i> (L.) Merr.	Soja	Fabaceae	D	A	I		33,3		
	<i>Triticum aestivum</i> L.	Trigo	Gramineae	M	A	I		33,3		
	<i>Dichondra microcalyx</i> (Hallier f.) Fabris	Oreja de ratón	Convolvulaceae	D	P	N		33,3		
	<i>Distichlis</i> sp.		Poaceae					33,3		
RIQUEZA (número de especies)							23	19	18	15
ABUNDANCIA TOTAL (cobertura %)							51	11	20	46
II							0,89	0,48	0,62	0,61

Según el análisis estadístico multivariado PCA (“principal component analysis”), cuyos ejes 1 y 2 explican el 47% de la variación, las diferencias más importantes en la composición de especies se encontraron entre las rotaciones P-A (negro, a la izquierda de la figura) y T/M-CC/M (azul, a la derecha de la figura), mientras que la rotación T/S-A/M-CC/S (amarilla, en el centro de la figura) tuvo una composición intermedia. La composición de especies de la rotación T/S-M-S (roja) estuvo más asociada al establecimiento que a la rotación (Figura 2.6.6).

Las principales variables relacionadas con la estructura de la comunidad en el eje 1 fueron rastrojo (51%) y IIR (40%), y en el eje 2 fue % Gram (33%). La asociación con la presencia de rastrojo puede estar asociada a la influencia que tiene sobre el establecimiento de plántulas de malezas, generalmente limitando las señales que terminan la dormición de semillas. El % de gramíneas en la rotación puede influir a través del manejo de herbicidas o de la calidad del rastrojo. En este caso parecería estar más ligado a la calidad del rastrojo.

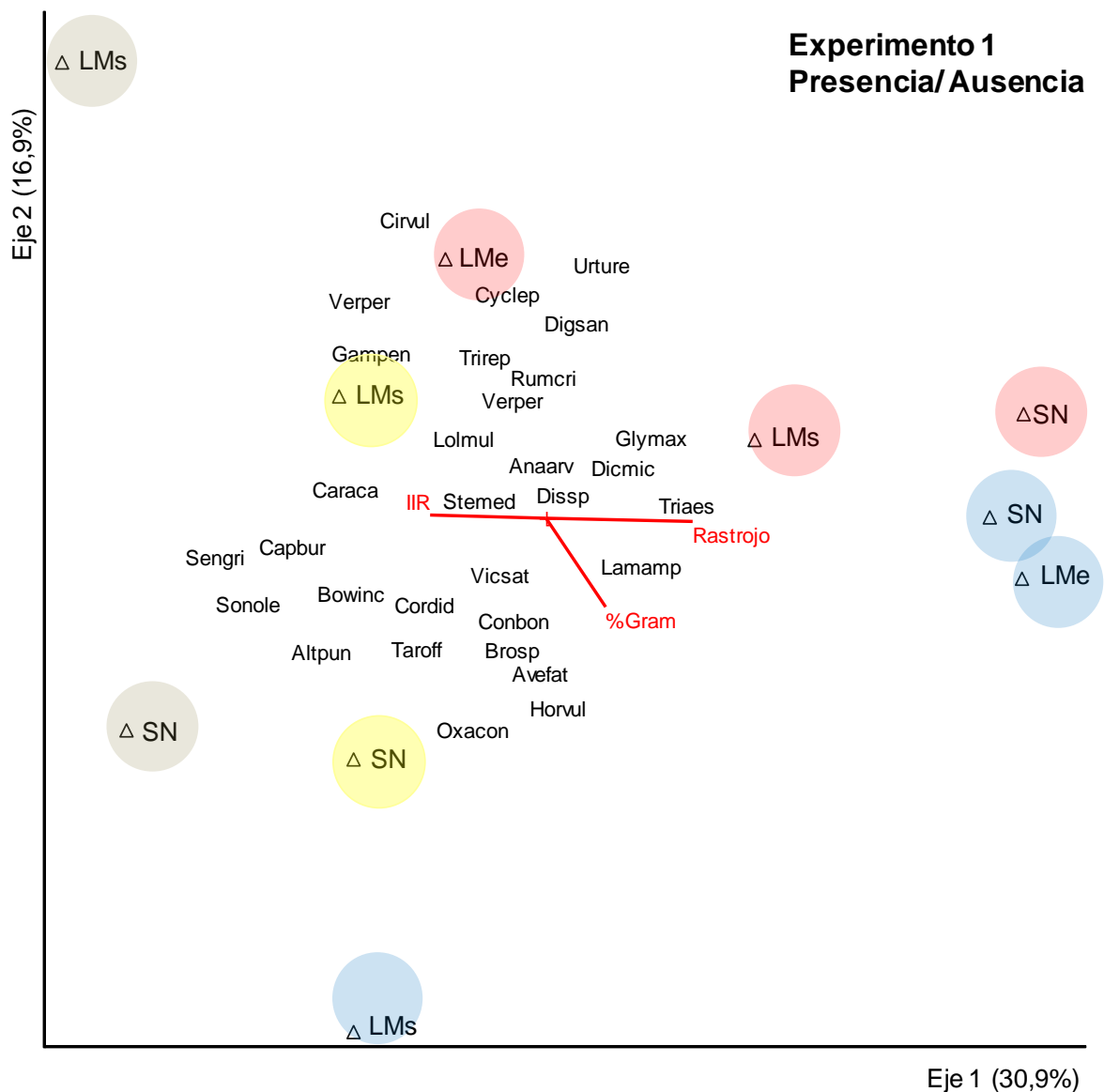


Figura 2.6.6. Ordenamiento de presencia o ausencia de especies en el relevamiento y lotes según el PCA. Las siglas representan San Nicolás (SN), La Matilde (LMe) y Las Matreras (LMs), los colores representan las rotaciones P-A (negro), T/S-M-S (rojo), T/S-A/M-CC/S (amarillo) y T/M-CC/M (azul), el largo y ángulo de los vectores rojos indica el grado de relación con los ejes 1 y 2 de las variables rastrojo, IIR y % Gram.

Análisis de banco de semillas (Exp. 2)

El grupo formado por *Conyza bonariensis*, *Amaranthus hybridus* y *Portulaca oleracea* presentó alta constancia en el banco de semillas de todas las rotaciones (Tabla 2.6.4). El resto de los grupos presentó diferencias entre rotaciones. Por ejemplo, el grupo *Chenopodium album*, *Melilotus* sp., *Trifolium repens*, *Polygonum* sp. y *Dichondra microcalyx* estuvo presente sólo en la rotación P-A, el grupo *Echinochloa crus-galli* y *Digitaria sanguinalis* estuvo ausente sólo en la rotación T/S-A/M-CC/S y el grupo *Coronopus didymus*, *Taraxacum officinale*, *Eleusine indica*, *Cyperus* sp. estuvo ausente sólo en la rotación T/M-CC/M.

La riqueza total en el relevamiento fue de 21 especies principalmente estivales que no habían emergido cuando se hizo el relevamiento. Si bien no hubo diferencias estadísticamente significativas entre rotaciones en riqueza y abundancia de especies, la tendencia fue similar al relevamiento. Es decir, que la rotación P-A tendió a presentar alta riqueza y abundancia total, lo que significa que hubo equitatividad de especies, ya que había muchas especies de baja abundancia cada una. Mientras que la rotación T/M-CC/M tendió a presentar baja riqueza y alta abundancia total, es decir hubo especies dominantes ya que si bien hubo pocas especies de alta abundancia cada una.

Tabla 2.6.4. Comunidades de malezas asociadas a cada rotación según el análisis del banco de semillas (Exp. 2) realizado en septiembre de 2018. Composición de especies y funciones y constancia y riqueza de especies.

GRUPO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE VULGAR	FAMILIA	M	C	O	CONSTANCIA SEGÚN ROTACIÓN (%)				CONSTANCIA TOTAL	
							rotación: pastura-trigo/soja 2da -arveja/maíz-avena/soja	rotación: trigo/soja 2da - maíz - soja	rotación: trigo/soja 2da - arveja/maíz - avena/soja	rotación: trigo/ maíz 2da - vicia/ maíz tardío		
							antecesor: maíz relevado: avena	antecesor: soja 2da relevado: barbecho	antecesor: maíz relevado: avena	antecesor: maíz relevado: vicia		
I	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	Rama negra	Asteraceae	D	A	N	100	66,7	100	100	100	
	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Yuyo colorado	Amaranthaceae	D	A	A	50	66,7	100	100	100	
	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Verdolaga	Portulacaceae	D	A	A	50	33,3	50	100	100	
II	<i>Coronopus didymus</i> (L.) Sm.	Mastuerzo	Brassicaceae	D	A	N	100	100,0	100		75	
	<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	Diente de león	Asteraceae	D	P	A	100	66,7	100		75	
	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Pie de gallina	Poaceae	M	A	A	50	33,3	100		75	
	<i>Cyperus</i> sp.		Cyperaceae	M	P		100	33,3	50		75	
III	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	Capin	Poaceae	D	A	I	100	66,7		100	75	
	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Pasto cuaresma	Poaceae	M	A	A	100	66,7		100	75	
IV	<i>Euphorbia serpens</i> Kunth	Yerba meona	Euphorbiaceae	D	A			33,3	50	100	75	
	<i>Oxalis conorrhiza</i> Jacq.	Trebol	Fabaceae	D	A	N		33,3		100	50	
V	<i>Chenopodium album</i> L.	Quinoa	Chenopodiaceae	D	A	A	50	33,3			50	
	<i>Melilotus</i> sp.		Fabaceae	D			50				25	
	<i>Trifolium repens</i> L.	Trebol blanco	Fabaceae	D	P	A	50				25	
	<i>Polygonum</i> sp.		Polygonaceae	D	A		50				25	
	<i>Dichondra microcalyx</i> (Hallier f.) Fabris	Oreja de ratón	Convolvulaceae	D	P	N	50				25	
	<i>Glycine max</i> (L.) Merr.	Soja	Fabaceae	M	A	I		33,3			25	
VI	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Escobilla	Malvaceae	D	A	N	50				25	
	<i>Zea mays</i> L.	Maíz	Poaceae	M	A	N			50		25	
	<i>Anagallis arvensis</i> L.	Anagalis	Primulaceae	D	A	A			50		25	
RIQUEZA (número de especies)							15	13	10	7	20	
ABUNDANCIA MEDIA (densidad promedio de plántulas emergidas por bandeja)							49	56	11	63	64	
II							0,89	0,48	0,62	0,61		

Según el análisis estadístico multivariado PCA (“principal component analysis”) cuyos ejes 1 y 2 explican el 36% de la variación, las diferencias más importantes en la composición de especies se encontraron entre las rotaciones T/S-A/M-CC/S (amarilla, arriba a la izquierda de la figura) y T/M-CC/M (azul, abajo a la derecha de la figura). La composición de especies de las rotaciones P-A (negra) y T/S-M-S (roja) estuvo más asociada al establecimiento que a la rotación (Figura 2.6.7).

Las principales variables que explicaron la estructura de las comunidades estuvieron relacionadas con el eje 2 y fueron % Gram (48%) y % MO (30%). La asociación con el % de gramíneas en la rotación es similar al anterior ya que puede influir a través su relación con el manejo de herbicidas o de la calidad del rastrojo. Pero además la presencia de gramíneas así como la de cultivos en cobertura podría cambiar algunas de las propiedades del suelo como la materia orgánica y afectar el filtrado de especies de la comunidad de malezas a través de, por ejemplo, la producción de semillas y la adaptación o “fitness”.

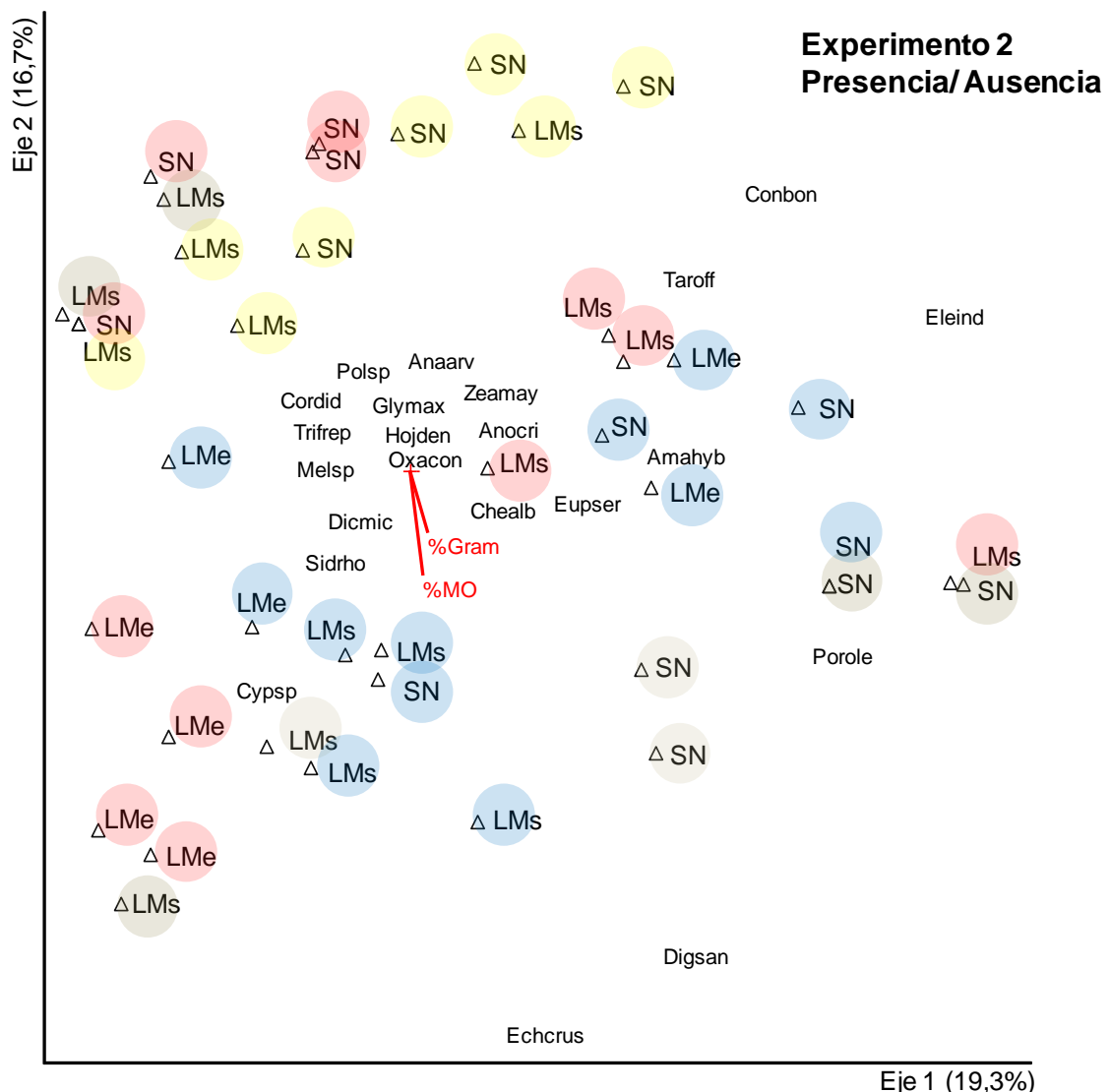


Figura 2.6.7. Ordenamiento de presencia o ausencia de especies en el muestreo del banco de semillas y lotes según el PCA. Las siglas representan San Nicolás (SN), La Matilde (LMe) y Las Matreras (LMs), los colores representan las rotaciones P-A (negra), T/S-M-S (rojo), T/S-A/M-CC/S (amarillo) y T/M-CC/M (azul), el largo y ángulo de los vectores rojos indica el grado de relación con el eje 2 de las variables % Gram y % MO.

C. Efecto de la intensificación sobre el uso de agroquímicos

Se evaluó el riesgo ambiental por el uso de herbicidas en cada establecimiento según las unidades toxicológicas acumuladas sobre Insectos y sobre mamíferos (i.e. UTi y UTm), desde la campaña 2012/2013 hasta 2017/2018. En La Matilde (Figura 2.6.8), las rotaciones T/S-M-S y T/S-A/M-CC/S (líneas rojas y amarillas, de menor IIR) presentaron mayor número de aplicaciones y menor UT acumuladas, tanto sobre el riesgo toxicológico en insectos como en mamíferos, que las rotaciones de mayor intensidad. Al intensificar se redujeron en un 23% el número de aplicaciones y en un 40% la toxicidad de las mismas; en comparación con las rotaciones de bajo IIR.

Al analizar los herbicidas que fueron utilizados, las aplicaciones con Paraquat mostraron un mayor riesgo toxicológico, tanto sobre insectos como mamíferos. En segundo lugar aparecen las aplicaciones con 2,4D, las que resultaron con un riesgo alto sobre mamíferos, pero bajo sobre insectos. En este sentido, cabe mencionar que si bien el 2,4D se utilizó en todas las rotaciones, el Paraquat sólo fue aplicado en las rotaciones T/S-M-S (línea roja) y T/S-A/M-CC/S (línea amarilla).

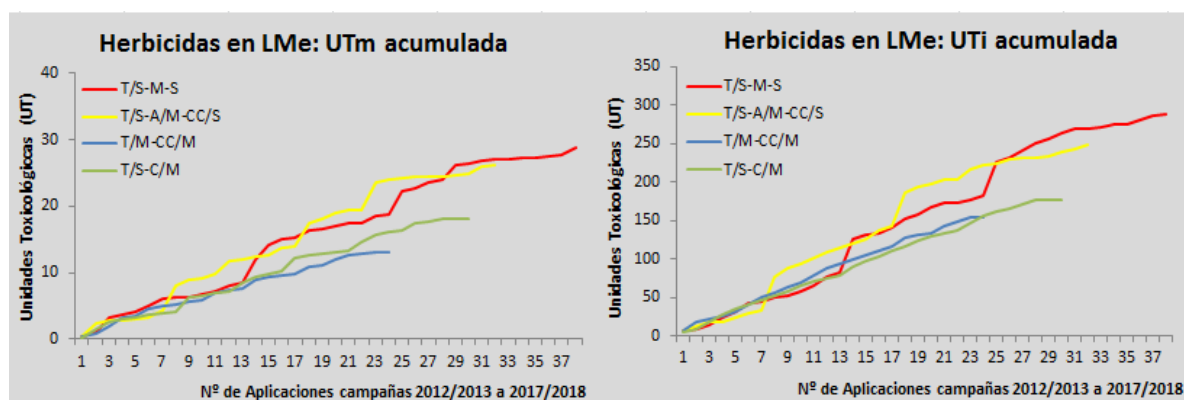


Figura 2.6.8. Unidades toxicológicas (UT) acumuladas de mamíferos (UTm, izquierda) e insectos (UTi, derecha) en función del número de aplicaciones (2012/13 a 2017/18) para las distintas rotaciones del establecimiento La Matilde.

En SN se observa una tendencia similar a La Matilde (Figura 2.6.9). Las rotaciones T/S-M-S y T/S-A/M-CC/S (de baja intensidad) tuvieron el mayor número de aplicaciones y mayor toxicidad. Sin embargo, la rotación con alto % de gramíneas (línea azul, T/M-CC/M) que tiene similar IIR que las anteriores, se diferencia con un menor número de aplicaciones y menor toxicidad, seguramente asociado al tipo de cultivos que incluye (de alto aporte de MS) y al uso diferencial de herbicidas. Las rotaciones de alta intensidad y alto % gramíneas redujeron en un 34% el número de aplicaciones y en un 50% la toxicidad de las mismas; en comparación con las otras rotaciones.

En cuanto al tipo de herbicidas utilizados, si bien los IIR de T/M-CC/M y T/S-A/M-CC/S fueron muy similares (i.e. 0,6 y 0,65, respectivamente), las aplicaciones de herbicidas fueron diferentes. En la rotación T/S-A/M-CC/S se registraron mayor número de aplicaciones (varias de las cuales fueron con Paraquat y 2,4D) resultando en más UT acumuladas respecto a la rotación T/M-CC/M. En cuanto a la rotación T/S-CC/M, no se registró ninguna aplicación de Paraquat pero si varias de 2,4D, que determinaron similar número de aplicaciones que la rotación T/M-CC/M pero menor toxicidad. La rotación P-A tuvo muy bajo número de aplicaciones, debido a que en el ciclo de pastura sólo se aplicaron herbicidas pre siembra y para el secado; la toxicidad generada fue especialmente durante los dos años de ciclo agrícola.

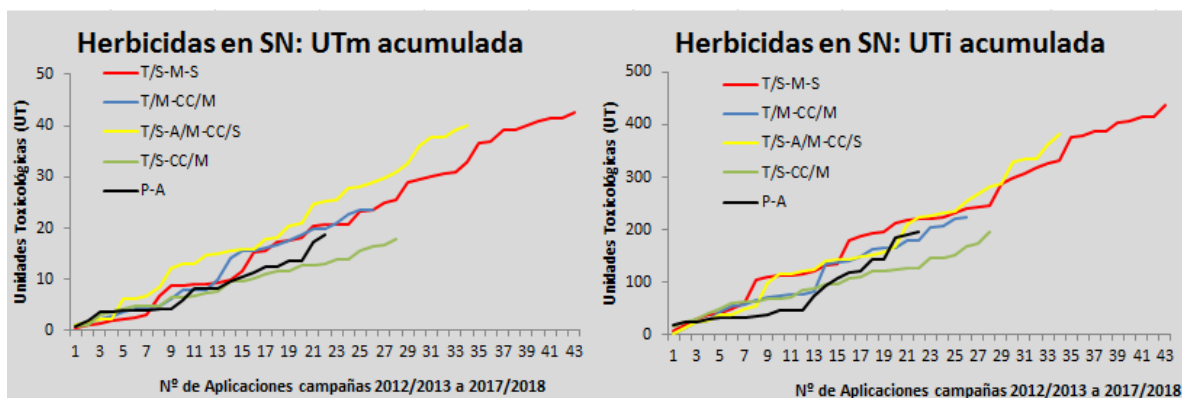


Figura 2.6.9. Unidades toxicológicas (UT) acumuladas de mamíferos (UTm, izquierda) e insectos (UTi, derecha) en función del número de aplicaciones (2012/13 a 2017/18) para las distintas rotaciones del establecimiento San Nicolás.

En Las Matreras, se dio un cambio en la toxicidad de los herbicidas entre rotaciones (Figura 2.6.10). En este establecimiento, se observa que las rotaciones que resultaron en un mayor riesgo toxicológico, tanto sobre insectos como sobre mamíferos, fueron T/S-A/M-CC/S y T/M-CC/M. Al observar los herbicidas utilizados, nuevamente fueron las aplicaciones con Paraquat las que marcaron la mayor diferencia y 2,4D, en segundo lugar. Respecto a estas aplicaciones, cabe mencionar que en 2015 se aplicó Paraquat en la rotación T/M-CC/M a una dosis superior a lo recomendado, lo que explica el salto abrupto que se observa en la línea azul y que luego deriva en que el riesgo toxicológico alcanzado sea superior a lo esperado. En cuanto a las rotaciones T/S-M y T/S-M-S, resultaron con menor riesgo toxicológico que las anteriores, lo que se explicaría en parte por no registrar aplicaciones de Paraquat en ninguna campaña. La rotación P-A fue la que mostró considerablemente menor número de aplicaciones, resultando en un menor riesgo toxicológico.

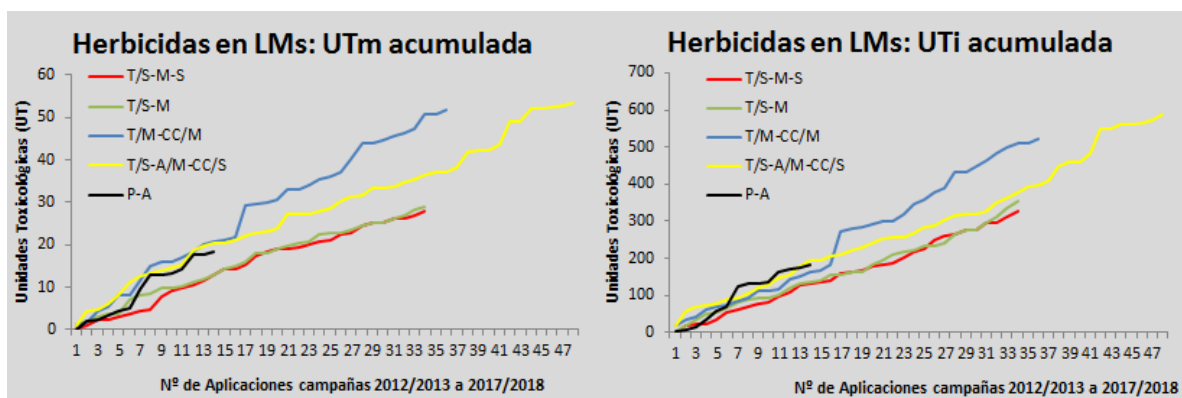


Figura 2.6.10. Unidades toxicológicas (UT) acumuladas de mamíferos (UTm, izquierda) e insectos (UTi, derecha) en función del número de aplicaciones (2012/13 a 2017/18) para las distintas rotaciones del establecimiento Las Matreras.

Como consideración general de los tres establecimientos, es importante destacar que la rotación T/S-A/M-CC/S, si bien tuvo un IIR relativamente alto (de 0,57 a 0,65), el hecho de que se incluya el cultivo de arveja dentro de la rotación, hace que sean necesaria la utilización de producto quemante (e.g. Paraquat) para poder llevar el producto a cosecha, y a su vez, la realización de un mayor número de aplicaciones dada la abundancia de malezas que resulta del lote una vez cosechado este cultivo.

Si tomamos en cuenta la relación entre la suma de UTi y UTm obtenidas en cada rotación, respecto a la intensificación de cada una de ellas (IIR), considerando todos los establecimientos, se puede

observar una tendencia a disminuir el riesgo toxicológico a medida aumenta el IIR (Figura 2.6.11). Los ajustes de la regresión incluyendo los tres establecimientos fueron aceptables (0,32 para el riesgo en insectos y 0,27 para el riesgo en mamíferos). Sin embargo, si se consideraran los establecimientos por separado, los R^2 en La Matilde y en San Nicolás aumentan considerablemente (0,72 y 0,56 para insectos y mamíferos en La Matilde; 0,59 y 0,54 para insectos y mamíferos en San Nicolás). En el caso del establecimiento Las Matreras, en cambio, el ajuste fue inferior (0,16 para insectos y 0,12 para mamíferos).

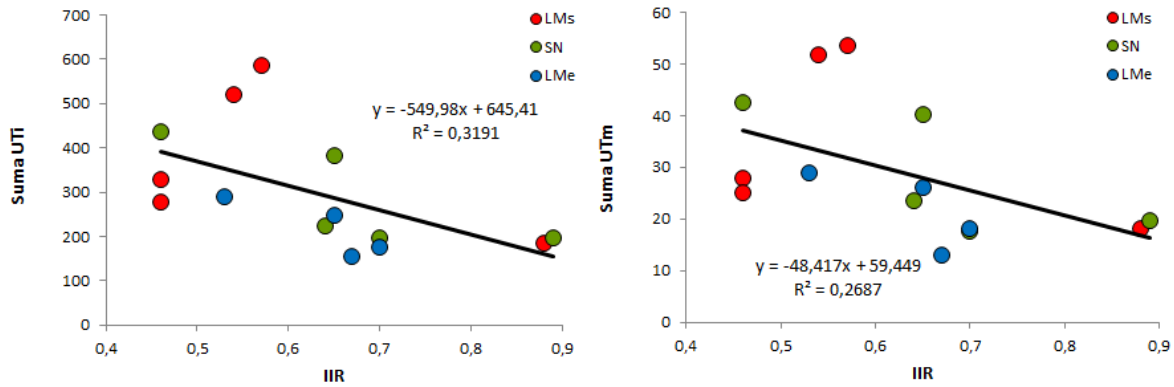


Figura 2.6.11. Relación entre la suma de unidades toxicológicas (UT) de mamíferos (UTm, izquierda) e insectos (UTi, derecha) y el índice de intensificación (IIR) de cada rotación en los tres establecimientos (LMs, LMe y SN).

Paralelamente, y considerando que el número de aplicaciones de herbicidas tiene un efecto directo en el riesgo toxicológico del manejo de la producción, se puede relacionar también esta variable con la intensificación de cada rotación (IIR). Como se observa en la Figura 2.6.12, a mayor intensificación, menor es el número de aplicaciones realizadas ($R^2 = 0,62$).

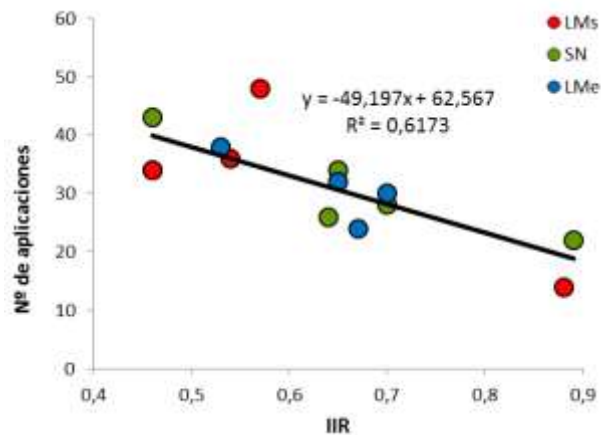


Figura 2.6.12. Relación entre el número de aplicaciones de herbicidas y el índice de intensificación (IIR) de cada rotación en los tres establecimientos (LMs, LMe y SN).

Este análisis general de la relación entre toxicidad y el número de aplicaciones con la intensificación, nos permite pensar que podemos utilizar a la intensificación de las rotaciones como una herramienta para reducir la toxicidad ambiental de la agricultura, haciendo un manejo más sustentable del sistema. Sin embargo, como se vio anteriormente en el análisis por establecimiento, será importante combinar el aumento del IIR con el uso de herbicidas de baja toxicidad para reducir el número de aplicaciones y las UT simultáneamente.

CONCLUSIONES

A. Efecto de la intensificación sobre la población de malezas (abundancia y frecuencia)

- ✓ EL CULTIVO O RASTROJO JUEGA ROL FUNDAMENTAL EN LA ABUNDANCIA DE MALEZAS
El efecto del cultivo y/o rastrojo presente al momento de muestreo fue más importante que las diferencias en intensidad de las rotaciones. Un cultivo mal logrado tiene más efecto sobre la abundancia que la rotación.
- ✓ EN OTOÑO HUBO MAS ABUNDANCIA Y NUMERO DE ESPECIES DE MALEZAS EN TODAS LAS ROTACIONES EVALUADAS
En las mediciones de otoño se registraron mayor abundancia y número de especies en la mayoría de las rotaciones evaluadas, independientemente de la intensidad.
- ✓ LA BIOMASA DE RASTROJO ACUMULADA GENERÓ CAMBIOS EN LA ABUNDANCIA DE CONYZA
La abundancia de Conyza se redujo en la medida que las rotaciones tuvieron más biomasa de rastrojo, generando una mayor dificultad para la germinación de esta maleza.

B. Efecto de la intensificación sobre la estructura y la riqueza de la comunidad de malezas

- ✓ DISTINTA COMPOSICIÓN DE ESPECIES SEGÚN ROTACIÓN
Las diferentes rotaciones actuaron como filtros de especies generando comunidades distintas asociadas a la presencia o ausencia de determinadas especies.
- ✓ UN GRUPO DE ESPECIES ESTUVO PRESENTE EN TODAS LAS ROTACIONES
En general, las especies más problemáticas como por ejemplo *Conyza bonariensis*, estuvieron presentes en todas las rotaciones.
- ✓ EN ALGUNAS ROTACIONES SE ENCONTRARON ADEMÁS DIFERENCIAS ASOCIADAS AL ESTABLECIMIENTO
Por ejemplo, con barbecho hubo comunidades asociadas al establecimiento.
- ✓ PREDOMINARON LAS DICOTILEDÓNEAS ANUALES Y LA CANTIDAD DE NATIVAS Y ADVENTICIAS FUE SIMILAR
La riqueza total fue de 31 especies en el relevamiento (Exp. 1) predominando las OIP y de 20 especies en el banco de semillas (Exp. 2) predominando las PEO.
- ✓ NO HUBO DIFERENCIAS ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVAS ENTRE ROTACIONES EN RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE ESPECIES
Pero con pasturas hubo equitatividad de especies (alta riqueza y abundancia) y con vicia hubo dominancia de especies (baja riqueza y alta abundancia).
- ✓ ALGUNAS DE LAS VARIABLES DEL MANEJO ESTUVIERON ASOCIADAS A LA ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES
El IIR, el rastrojo y el % Gram explicaron una buena parte de la variabilidad encontrada entre comunidades en el relevamiento a campo, mientras que el % Gram y % de MO explicaron una pequeña proporción de la variabilidad encontrada en el análisis del banco de semillas en el invernáculo.

C. Efecto de la intensificación sobre el uso de agroquímicos

- ✓ LA INTENSIFICACIÓN REDUJO EL NÚMERO DE APLICACIONES Y LA TOXICIDAD TOTAL
El aumento en la intensificación de la rotación (>IIR) tendió a disminuir el riesgo ambiental generado por la aplicación de herbicidas; tanto por una reducción del número de aplicaciones como de la toxicidad total (UTi y UTm).
- ✓ HUBO DIFERENCIAS EN LA TOXICIDAD DE LOS HERBICIDAS UTILIZADOS
Los herbicidas que impactaron más negativamente sobre el riesgo ambiental obtenido en las rotaciones de todos los establecimientos fueron el Paraquat y el 2,4D. Las rotaciones con

arveja (T/S-A/M-CC/S), que en general usan el Paraquat para secarla, tuvieron en los tres establecimientos alta toxicidad.

- ✓ HUBO DIFERENCIAS ENTRE ESTABLECIMIENTOS EN EL EFECTO DE LA INTENSIFICACIÓN SOBRE EL USO DE AGROQUÍMICOS

El establecimiento Las Matreras mostró resultados más diversos y menos concluyentes que La Matilde y San Nicolás.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade F. 2017. Los desafíos de la agricultura argentina. *Ediciones INTA* 2017, pp. 55-56.
- Aapresid. 2019. Rotaciones de cultivos y pasturas. Artículo ABC REM. Disponible en <https://www.aapresid.org.ar/rem/rotaciones-de-cultivos-y-pasturas/>
- Belyea L.R. y Lancaster J. 1999. Assembly rules within a contingent ecology. *Oikos* 86: 402–416.
- Cardinale B.J., Duffy J.E., Gonzalez A., Hooper D.U., Perrings C., Venail P., Narwani A., Mace G.M., Tilman D., Wardle D.A., Kinzing A.P., Daily G.C., Loreau M., Grace J.B., Larigauderie A., Srivastava D.S., Naeem S. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486: 59-67.
- Caviglia O. y Andrade F. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean Pampas: capture and use efficiency of environmental resources. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* 3:1-8.
- Ferraro D.O., Ghera C.M. y Sznajder G.A. 2003. RIPEST: Sistema de Evaluación de Riesgo Ecotoxicológico del Uso de Pesticidas en Cultivos, Facultad de Agronomía de Universidad de Buenos Aires, Argentina, disponible en: <http://malezas.agro.uba.ar/ripest/>
- Garibaldi L., Perez Mendez N., Garrat M., Gemmill Herren B., Miguez F., Dicks L.V. 2019. Policies for ecological intensification of crop production. *Trends in Ecology and Evolution* 34(4): 282-286.
- Geiger F., Bengtsson I., Berendse F., Weisser W.W., Emmerson M., Morales M.B., Ceryngier P., Liira J., Tscharrntke T., Winqvist C., Eggers S., Bommarco R., Part T., Bretagnolle V., Plantegenest M., Clement L.W., Dennis C., Palmer C., Onatef J.J., Guerrero I., Hawro C., Aavik T., Thies C., Flohre A., Hanke S., Fisher C., Goedhart P.W., Inchausti P. 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic Applied Ecology* 11:97–105.
- Keddy P.A. 1992. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *J Veg Sci* 3: 157-164.
- Liebman M. y Ohno T. 1998. Crop rotation and legume residue effects on weed emergence and growth: applications for weed management. En *Integrated Soil and Weed Management*, Hatfield JL, Buhler DD, Stewart BA (eds), Chelsea, MI: *Ann Arbor Press*, pp. 181-221.
- Liebman M. y Mohler C.L. 2001. *Ecological Management of Agricultural Weeds* 210-269.
- Peruzzo P.J., Porta A.A., Ronco A.E. 2008. Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina. *Environmental Pollution* 156: 61-66.
- Smith R.G., Atwood L.W., Pollnac F.W., Warren N.D. 2015. Cover-crop species as distinct biotic filters in weed community assembly. *Weed Science* 63:282-295.
- Stoate C., Baldi A., Beja P., Boatman N.D., Herzon I., van Doorn A., de Snoo G.R., Rakosy L., Ramwell C. 2009. Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe a review. *Journal of Environmental Management* 91: 22–46.
- Vasileiadis V.P., Otto S., van Dijk W., Urekc G., Leskovšek R., Verschweled A., Furlane L., Sattin M. 2015. On-farm evaluation of integrated weed management tools for maize production in three different agro-environments in Europe: Agronomic efficacy, herbicide use reduction, and economic sustainability. *European Journal of Agronomy* 63: 71-78.
- Viglizzo E.F., Frank F.C., Carreño L.V., Jobbágy E.G., Pereyra H., Clatt J., Ricard M.F. 2011. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology* 17: 959-973.

CAPÍTULO 2.7

SISTEMAS INTENSIFICADOS: INTEGRACIÓN DE INDICADORES

M.B. Agosti, C. Bedano y L. Wall

INTRODUCCIÓN

Los indicadores de calidad o salud del suelo se pueden clasificar en distintos grupos según su objetivo y naturaleza de la determinación: producción, físicos, químicos, biológicos. En cualquier caso, es importante tener presente que todos están interactuando entre sí en el sistema y que esas interacciones no son necesariamente lineales y unívocas. Para comparar correctamente los distintos sistemas de producción evaluados, es deseable lograr una mirada integradora sobre el sistema y para ello, una aproximación válida es considerar el conjunto de indicadores, incluyendo indicadores productivos, edáficos y ambientales, en forma simultánea y buscando las posibles relaciones entre ellos que nos permitan interpretar y comprender mejor el sistema. De esta manera se logra una visión más global e integral del sistema que mirando independientemente cada grupo de indicadores por separado.

En relación a esta temática, el objetivo de la Chacra Pergamino es realizar un **análisis integral de todos los indicadores evaluados**, considerando indicadores productivos, de eficiencia, edáficos y ambientales.

METODOLOGÍA

Se realizaron distintos tipos de análisis incluyendo aquellos indicadores que habían mostrado mayores diferencias entre los tratamientos y que en el análisis particular, dentro su grupo de indicadores, permitían explicar las diferencias entre los sistemas evaluados. En la Tabla 2.7.1 se presenta un listado de los indicadores seleccionados para un análisis integral. También se incluyen variables que caracterizan las rotaciones como el índice de intensificación (IIR) y el porcentaje de gramíneas (%Gram).

Tabla 2.7.1. Indicadores y tipo incluidos en el análisis integral.

Indicadores Productivos	Indicadores Físicos y Químicos	Indicadores Biológicos		Indicadores Ambientales
1-Carbono aportado	6-Densidad aparente	11- Abundancia lombrices	20- Planctomycetes	29-Toxicidad
2-Rendimiento	7-Frecuencia láminas	12- Biomasa lombrices	21-Proteobacterias	30-Número aplicaciones
3-Biomasa rastrojo	8-Espesor láminas	13-Abundancia Oribatidos	22-Lípidos totales	
4-Fósforo aplicado	9-Materia orgánica	14-Beta glucosidasa	23-MUFA	
5-Balance de P	10-Stock de carbono	15-Cellobiohidrolasa	24-PUFA	
		16-Quitinasa	25-Firmicutes	
		17-Fosfatasa	26-Gemmatimonadetes	
		18-Actinobacterias	27-Nitrospirae	
		19-Bacteroidetes	28-Acidobacteria	

Matriz de correlación

Como los indicadores físicos y químicos se evaluaron en 2015 y 2018, se utilizaron los datos de los indicadores biológicos medidos en esos mismos años y se realizaron análisis de correlación por separado para esos dos momentos del proyecto, un momento considerado intermedio (2015: 4 años desde la instalación de los ensayos) y un momento más avanzado cercano a la finalización del proyecto (2018). Las variables productivas se calcularon para el año 2015, de la misma manera que se calcularon para 2018. Es decir, que para 2015 se incluyeron las cuatro primeras campañas (2012/13, 2013/14, 2014/15 y 2015/16) y para 2018 el total de los 6 años de rotaciones (2012/13 a

2017/18). Se elaboraron matrices de correlación entre todas las variables evaluadas, destacándose aquellas correlaciones con coeficientes mayores a 0,6, tanto positivos como negativos.

Regresiones lineales

Se establecieron regresiones lineales entre variables con coeficientes de correlación mayores a 0,6 (positivos y negativos). Se definieron los coeficientes de regresión (r^2) y la significancia de la pendiente ($p < 0,05$).

Análisis multivarial

Para el análisis multivarial se utilizó el análisis de componentes principales (Infostat 3.0, 2019). Se realizó un análisis conjunto de todos los indicadores (productivos, físicos, químicos y biológicos) para ver el grado de ordenamiento de los tratamientos e intentar identificar aquellos indicadores que explican con mayor peso la separación obtenida en relación a las variables incluidas en el análisis, y de ese modo intentar identificar aquellas más sensibles a los cambios de manejo. Se hicieron 3 análisis por separado para cada establecimiento, incluyendo todos los tratamientos (4 rotaciones agrícolas y 1 rotación pastura-agricultura) y unidades de muestreo en cada uno (número de casos por establecimiento= 25) de los indicadores muestreados en 2015 y 2018. Se excluyeron del análisis los indicadores que no estaban muestreados en todas las rotaciones (por ejemplo abundancia y biomasa de lombrices).

RESULTADOS y DISCUSIÓN

1- Matriz de correlación

En las Tablas 2.7.2 y 2.7.3 se muestran los valores de coeficientes de correlación para las distintas variables evaluadas en 2015 y 2018. En amarillo se resaltan los valores mayores a 0,6 (positivos y negativos). Estas correlaciones resaltadas fueron las que se seleccionaron para establecer regresiones simples con ciertos indicadores: IIR, C aportado, MO y stock de C. A continuación se muestran las distintas regresiones y su interpretación biológica.

Tabla 2.7.2. Matriz de correlación para los indicadores en el año 2015. Se resaltaron con amarillo los valores de correlación mayores a 0,6 (positivos y negativos).

	IR	%GR	CAPFROM	CAPTOTAL	MBSACFROM	MBSACTOTAL	REND	REND EG	RETROND	DAPR-18	DAPR-26	DAPR-20	MDS	MDS-20	STOCKC026	ABU-L0W	ABU-L0W	ABU-DRH	ABU-DRS	CEL	PME	MIB	ACT	BAC	PLAN	PROT	IpT	MUTA	POVA	FR	GERM	INT	ACD			
IR	1,0																																			
%GR	-0,2	1,0																																		
CAPFROM	0,0	0,0	1,0																																	
CAPTOTAL	0,0	0,0	0,0	1,0																																
MBSACFROM	0,1	0,0	0,5	0,5	1,0																															
MBSACTOTAL	0,1	0,0	0,5	0,5	1,0	1,0																														
REND	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0																													
REND EG	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0																												
RETROND	0,2	0,4	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0																											
DAPR-18	-0,1	-0,5	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	1,0																										
DAPR-26	-0,5	-0,2	-0,5	-0,5	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	1,0																									
DAPR-20	0,4	-0,3	-0,4	-0,4	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	1,0																								
MDS	0,4	0,0	0,4	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	-0,4	-0,6	-0,0	1,0																							
MDS-20	-0,3	-0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,6	-0,5	0,0	1,0																						
STOCKC026	0,3	0,0	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	-0,5	-0,5	0,0	0,0	1,0																					
ABU-L0W	-0,4	-0,2	0,5	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,1	0,2	-0,3	-0,2	0,2	0,0	0,0	1,0																				
ABU-DRH	0,5	-0,1	0,0	0,0	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,1	-0,4	-0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	1,0																			
ABU-DRS	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0																		
CEL	0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,1	0,1	-0,3	0,5	0,5	0,0	-0,7	-0,5	-0,4	0,0	0,0	0,1	1,0																	
PME	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,4	-0,4	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	-0,2	-0,1	1,0																
MIB	0,3	-0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,5	-0,3	-0,4	-0,4	-0,2	0,1	0,0	1,0															
ACT	0,0	0,0	0,4	0,4	0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,3	0,0	0,5	1,0														
BAC	0,4	-0,4	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	-0,3	-0,2	0,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	1,0														
PLAN	0,5	-0,2	0,4	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,1	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,0	1,0												
PROT	0,0	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	0,4	-0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	1,0											
IpT	0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4	-0,8	-0,5	0,0	0,4	0,3	0,0	0,2	0,2	-0,5	-0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	1,0										
MUTA	0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,1	-0,3	0,4	0,0	-0,2	0,4	-0,3	0,0	-0,3	-0,3	0,3	0,1	-0,2	0,0	-0,3	0,0	1,0									
POVA	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	-0,5	-0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	-0,4	-0,2	0,0	1,0								
FR	-0,3	0,1	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,0	0,3	0,1	0,2	0,0	0,0	0,4	0,4	0,5	-0,2	0,0	0,4	-0,2	0,2	0,2	0,0	0,2	0,1	-0,3	0,0	1,0						
GERM	-0,5	0,1	0,3	-0,3	0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	0,0	0,4	0,3	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,1	0,3	-0,5	0,3	-0,2	-0,7	-0,8	0,1	-0,2	-0,1	0,3	0,0	0,5	1,0					
INT	-0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,4	-0,4	-0,6	-0,5	-0,2	-0,2	0,3	0,2	-0,4	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	0,1	0,3	-0,2	0,2	-0,2	-0,7	-0,8	0,2	-0,1	-0,1	0,2	-0,1	-0,5	0,0	0,2	1,0			
ACD	-0,3	0,0	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,3	0,2	-0,4	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	0,1	0,3	-0,2	0,2	-0,2	-0,7	-0,8	0,2	-0,1	-0,1	0,2	-0,1	-0,5	0,0	0,2	0,2	1,0		

Tabla 2.7.3. Matriz de correlación para los indicadores en el año 2018. Se resaltaron con amarillo los valores de correlación mayores a 0,6 (positivos y negativos).

	IR	%GR	CAPFROM	CAPTOTAL	MBSACFROM	MBSACTOTAL	REND	REND EG	RETROND	DAPR-18	DAPR-26	DAPR-20	MDS	MDS-20	STOCKC026	ABU-L0W	ABU-L0W	ABU-DRH	ABU-DRS	CEL	PME	MIB	ACT	BAC	PLAN	PROT	IpT	MUTA	POVA	FR	GERM	INT	ACD			
IR	1,0																																			
%GR	-0,1	1,0																																		
CAPFROM	0,0	0,0	1,0																																	
CAPTOTAL	0,0	0,0	0,0	1,0																																
MBSACFROM	0,3	0,4	0,7	0,7	1,0																															
MBSACTOTAL	0,3	0,4	0,7	0,7	1,0	1,0																														
REND	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0																													
REND EG	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0																												
RETROND	0,2	0,4	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0																											
PME	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0																										
MIB	0,3	-0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,5	-0,3	-0,4	-0,4	-0,2	0,1	0,0	0,5	1,0														
ACT	0,4	-0,4	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	-0,3	-0,2	0,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,3	0,0	0,0	1,0													
BAC	0,4	-0,4	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	-0,3	-0,2	0,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,3	0,0	0,0	0,0	1,0												
PLAN	0,5	-0,2	0,4	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,1	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,0	1,0												
PROT	0,0	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	0,4	-0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	1,0											
IpT	0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4	-0,8	-0,5	0,0	0,4	0,3	0,0	0,2	0,2	-0,5	-0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	1,0										
MUTA	0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,1	-0,3	0,4	0,0	-0,2	0,4	-0,3	0,0	-0,3	-0,3	0,3	0,1	-0,2	0,0	-0,3	0,0	1,0									
POVA	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	-0,5	-0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	-0,4	-0,2	0,0	1,0								
FR	-0,3	0,1	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,0	0,3	0,1	0,2	0,0	0,0	0,4	0,4	0,5	-0,2	0,0	0,4	-0,2	0,2	0,2	0,0	0,2	0,1	-0,3	0,0	1,0						
GERM	-0,5	0,1	0,3	-0,3	0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	0,0	0,4	0,3	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,1	0,3	-0,5	0,3	-0,2	-0,7	-0,8	0,1	-0,2	-0,1	0,3	0,0	0,5	1,0					
INT	-0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,4	-0,4	-0,6	-0,5	-0,2	-0,2	0,3	0,2	-0,4	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	0,1	0,3	-0,2	0,2	-0,2	-0,7	-0,8												

Regresiones con el índice de intensificación

El índice de intensificación (IIR) tuvo bastante buen ajuste con diferentes tipos de indicadores, lo cual indica que a pesar de la sencillez del indicador de intensificación, el mismo resulta un buen descriptor del sistema y nos permite comprender mejor la complejidad del sistema. En ambos años explicó los cambios en indicadores de producción como carbono aportado humificado y rendimiento (tanto expresado en grano como en equivalente glucosa). Además, en 2015, se halló relación con 2 enzimas (quitinasas, celobiohidrolasas) y 2 grupos taxonómicos de procariotes (bacteroidetes y nitrospirae); mientras que en 2018 sólo el IIR se asoció con las quitinasas (Figura 2.7.1). Las correlaciones positivas con las actividades enzimáticas sugieren un aumento de actividad biológica en el sistema como consecuencia de mayor aporte de materia y energía al suelo por la intensificación de sus rotaciones, no existiendo limitaciones nutricionales en el ensayo.

Las variaciones en los grupos de filos bacterianos, es interesante de encontrar pues significa que la intensificación modifica la estructura de los microbiomas del suelo y algunos grupos taxonómicos aparecen como de mayor respuesta a esos cambios. La interpretación de estos cambios es limitada pues aún no sabemos a ciencia cierta qué funciones cumplen estos grupos en el suelo, pero claramente son relevantes y hacen al funcionamiento del sistema como un todo.

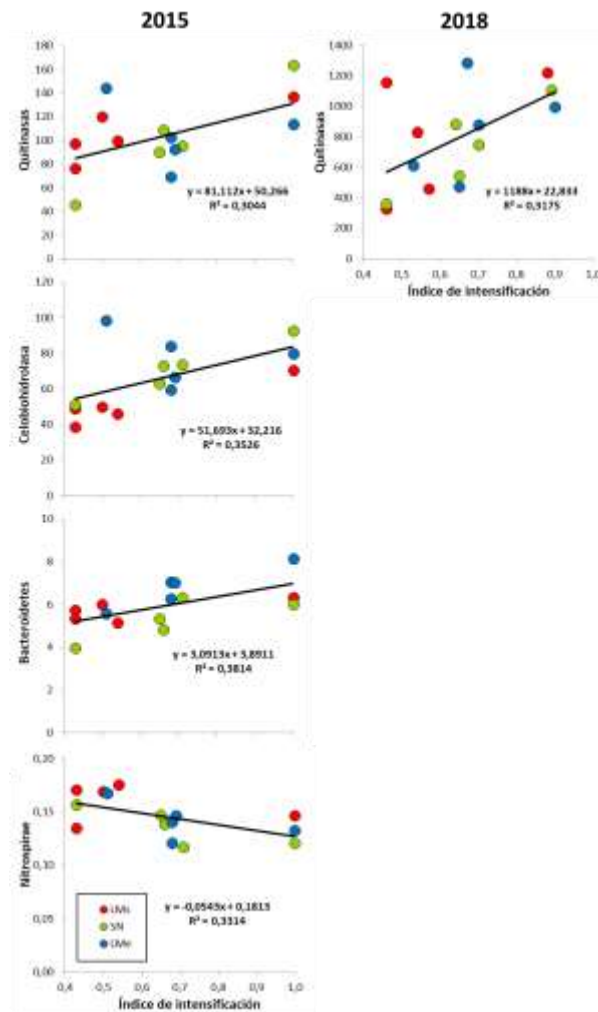


Figura 2.7.1. Relación entre el nivel de quitinasas, celobiohidrolasas, bacteroidetes y nitrospirae en 2015 (gráficos de la izquierda) y las quitinasas en 2018 (gráfico de la derecha) con el índice de intensificación de la rotación en tres establecimientos de la Chacra Pergamino (LMs, SN y LME).

Regresiones con el carbono aportado

El carbono aportado estuvo asociado a distintos indicadores biológicos (Figura 2.7.2). En 2015 se asoció con la biomasa de lombrices, el nivel de enzima celobiohidrolasas y 3 grupos taxonómicos de procariontes (bacteroidetes, gemmatimonadetes y nitrospirae); mientras que en 2018 sólo se asoció con las quitinasas.

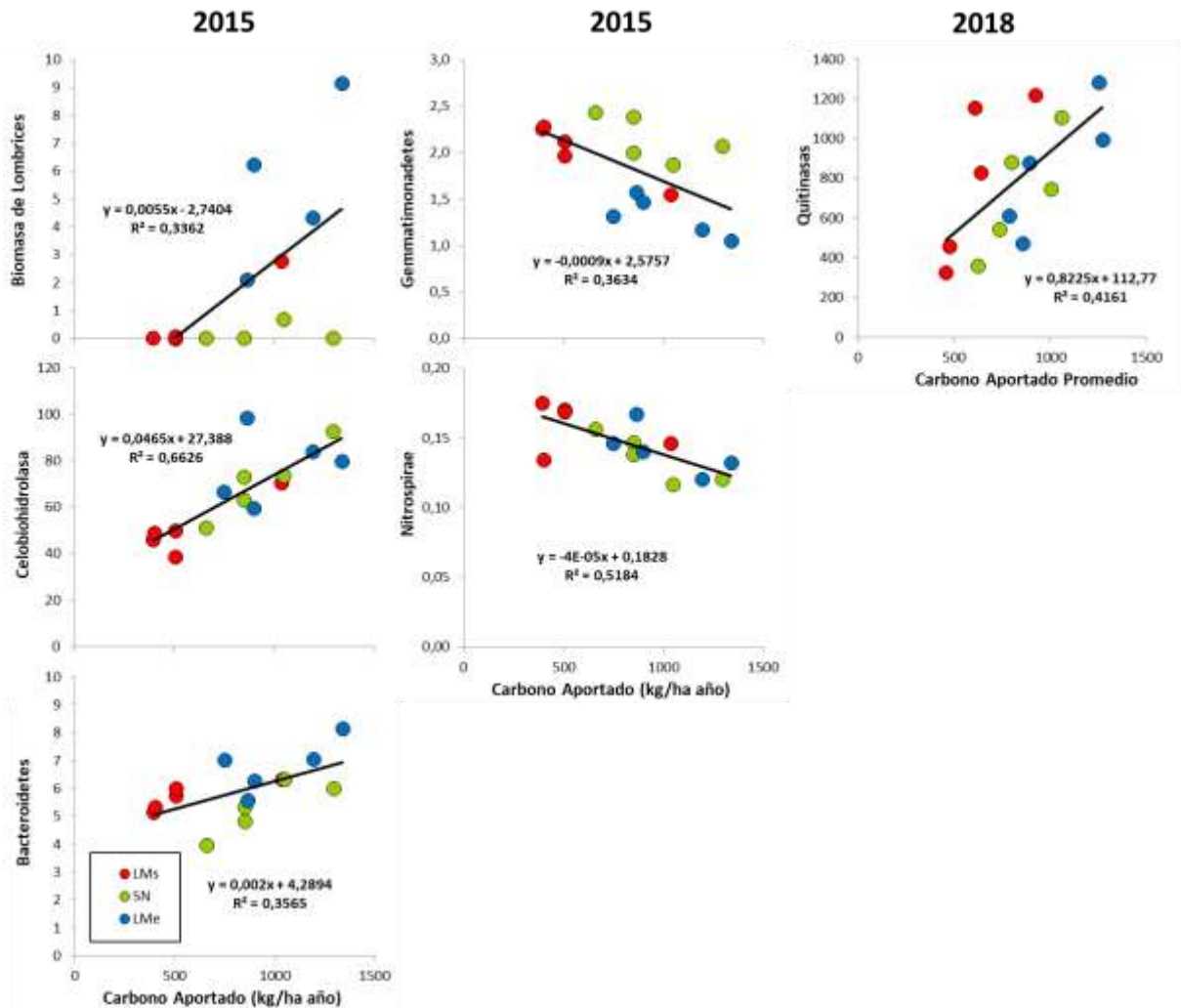


Figura 2.7.2. Relación entre la biomasa de lombrices, el nivel de celobiohidrolasas, bacteroidetes, gemmatimonadetes y nitrospirae en 2015 (gráficos de la izquierda) y las quitinasas en 2018 (gráfico de la derecha) con el índice de intensificación de la rotación en tres establecimientos de la Chacra Pergamino (LMs, SN y LMe).

El C aportado promedio, como una variable que mide la productividad del proceso, también muestra interesantes correlaciones con variables que habían sido identificadas como de respuesta a la intensificación de las rotaciones. La respuesta de la biomasa de lombrices al incremento en el aporte de C se relaciona a la mayor producción de biomasa corporal de los individuos cuanto mayor es el ingreso de recursos tróficos al sistema. Nuevamente el significado de la correlación positiva con las actividades enzimáticas de los ciclos del C y N permite interpretar el hecho de la incorporación de C al sistema como un proceso catalizado por la propia fisiología del suelo. La interpretación de las correlaciones con los grupos bacterianos que se detectan es de más difícil interpretación en términos de mecanismos pero posee el valor de identificar elementos del microbioma del suelo que

responden al manejo y que lo hacen en diferentes sentidos. Esto permitirá establecer herramientas de diagnóstico más precisas, accesibles y específicamente dirigidas a estos grupos microbianos como los Bacteroidetes, por ejemplo.

Regresiones con la materia orgánica y stock de C del suelo

El análisis de las correlaciones y regresiones con la materia orgánica en los primeros 5 cm del suelo y con el stock de C en los primeros 20 cm también muestra datos que señalan la importancia de los diferentes niveles tróficos y diferentes grupos taxonómicos involucrados en la dinámica del proceso de modificación de la estructura y química del suelo. La Figura 2.7.3 muestra claramente el valor de la enzima quitinasa (ciclo del C y N) y de los lípidos totales, ambos constituyentes de la materia orgánica. Es importante destacar que hemos medido lípidos totales del suelo y no fracciones de los mismos como fosfolípidos o lípidos neutros. En ese sentido, es válido remarcar que los ácidos grasos que aparecen como marcadores de intensificación de rotaciones suelen ser ácidos grasos identificados como exclusivamente detectados en la metodología de análisis de lípidos totales (ver informe de Indicadores biológicos). Es decir, es lícito pensar que parte de la naturaleza química de la materia orgánica de los primeros 5 cm es de naturaleza lipídica. Podríamos especular que estas sustancias lipídicas hacen a la conformación de los EPS (sustancias extracelulares poliméricas), que determinan la estabilidad de los macroagregados (250-2000 μm). Esta reflexión es coherente con encontrar también como variable de alta correlación a las actinobacterias, grupo de bacterias filamentosas que participarían activamente en la estabilización de los agregados. La explicación de la relación negativa con los oribátidos podríamos encontrarla en la dinámica de funcionamiento de este grupo, que desde un punto de vista trófico depende más de los restos orgánicos menos descompuestos que de la MO del suelo, y luego influye en la regulación de la incorporación de C al sistema. Finalmente, el valor de los Gematimonadetes tiene que ver con reconocer elementos del microbioma del suelo que se relacionan con la materia orgánica del mismo. No conociendo aún mucho sobre la fisiología de este grupo no podemos avanzar mucho más en la interpretación.

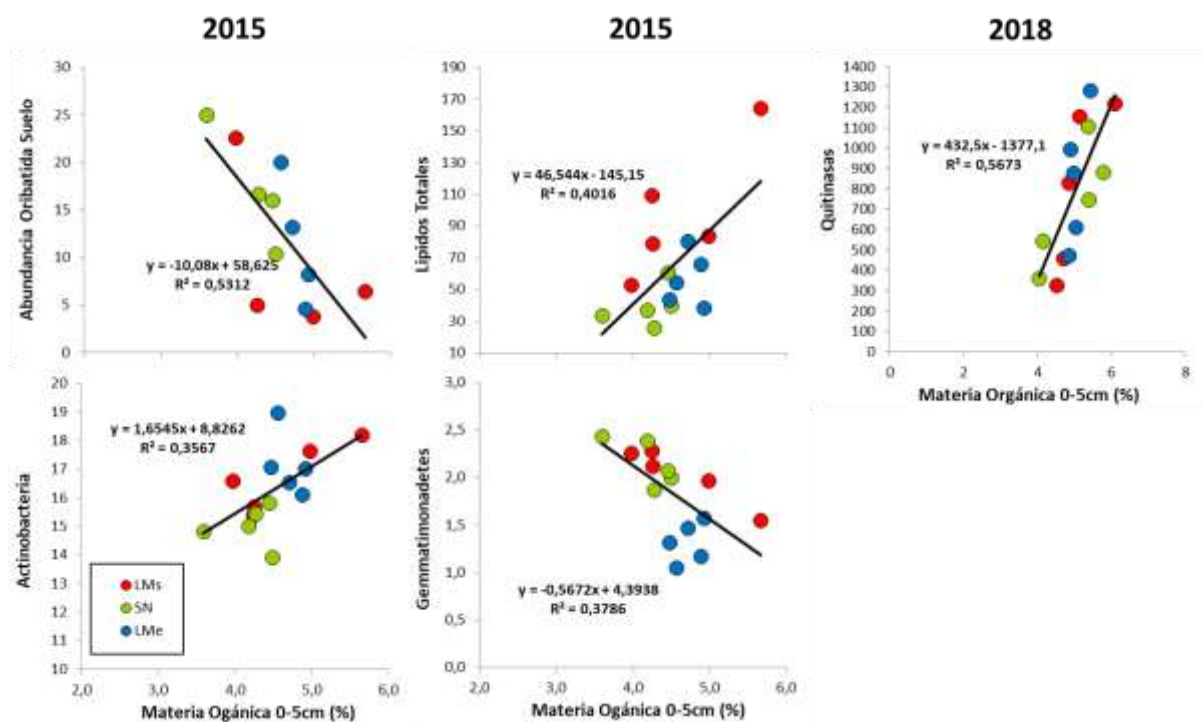


Figura 2.7.3. Relación entre la abundancia de oribátidos, el nivel de actinobacterias, lípidos totales y gemmatimonadetes en 2015 (gráficos de la izquierda) y las quitinasas en 2018 (gráfico de la derecha)

con la materia orgánica del suelo a 0-5cm (%) en tres establecimientos de la Chacra Pergamino (LMs, SN y LMe).

Las correlaciones y regresiones encontradas para el stock de Carbono muestra nuevamente la integración de la biología del suelo como sistema que tracciona su funcionamiento integral (Figura 2.7.4). Aparece claramente la importancia de la fauna con el grupo de las lombrices, tanto en número como en biomasa, y nuevamente los grupos de procariontes del microbioma que ajustan sus densidades de acuerdo a la intensificación, y esto termina expresándose también en el stock de carbono. Los grupos de bacterias que aumentan o disminuyen con el Stock de C muestran las mismas variaciones con el índice de intensificación y estas correlaciones también presentan una dinámica con mayor número de correlaciones, como un sistema que se va estabilizando, a lo largo del tiempo (ver informe de Indicadores Biológicos).

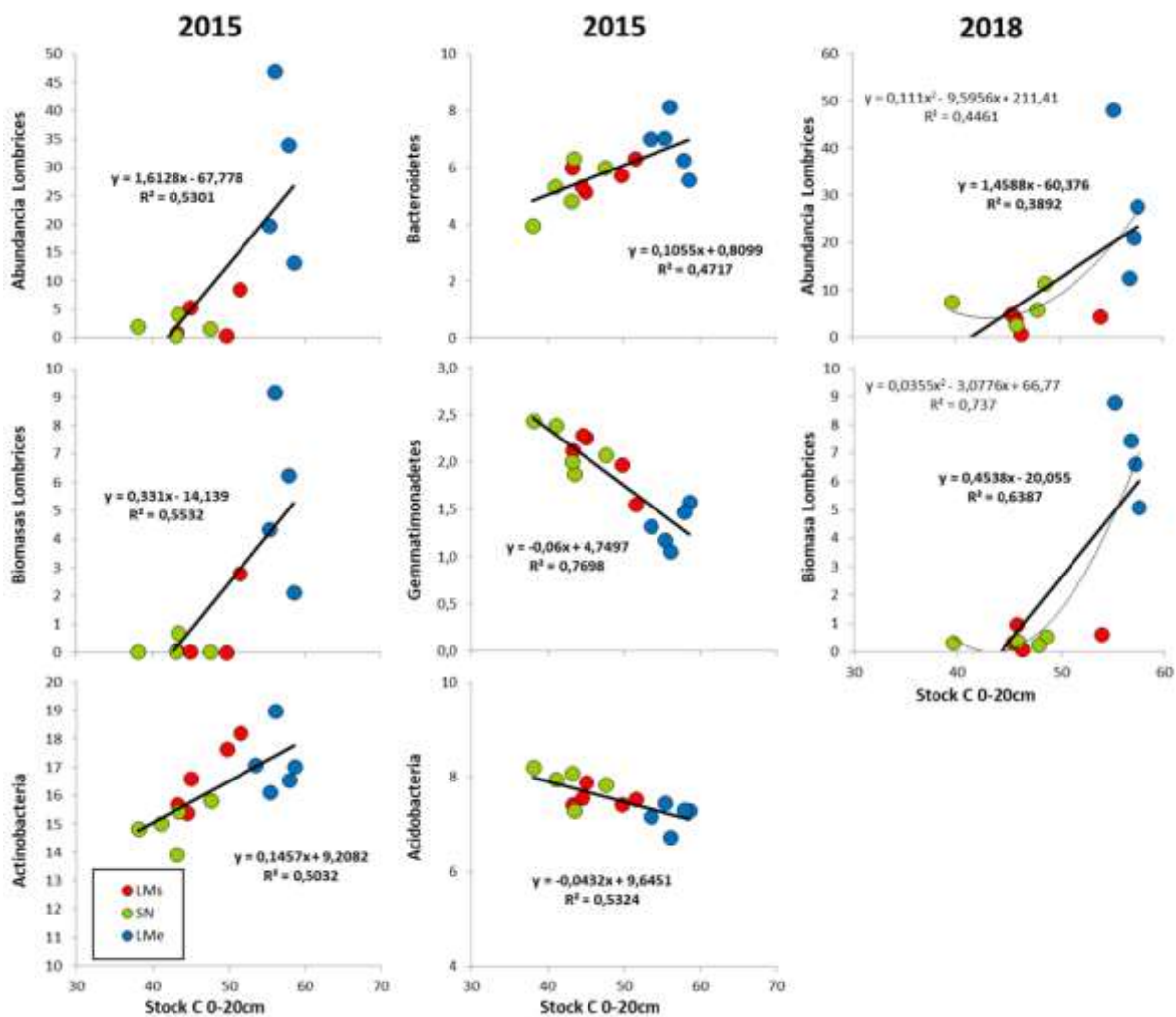


Figura 2.7.4. Relación entre la abundancia y biomasa de lombrices, el nivel de actinobacterias, bacteroidetes, gemmatimonadetes y acidobacterias en 2015 (gráficos de la izquierda) y la abundancia y biomasa de lombrices en 2018 (gráfico de la derecha) con el stock de C del suelo 0-20 cm ($tn\ ha^{-1}$) en tres establecimientos de la Chacra Pergamino (LMs, SN y LMe).

2- Análisis multivariial

En los tres establecimientos se obtuvo un ordenamiento de las muestras en los ejes del multivariado, que es acorde a las diversas rotaciones, ya que los puntos se agrupan por colores. Incluyendo

variables productivas, físicas, químicas y biológicas, se obtuvo un ordenamiento similar al hallado cuando sólo se incluyeron indicadores biológicos (ver insets de Figuras 2.7.5, 2.7.6 y 2.7.7). Pareciera ser que estos últimos son indicadores más fuertes en la distinción entre rotaciones, que los indicadores clásicos (productivos, físicos y químicos). En San Nicolás, en ambos años la mayor separación se obtuvo entre la rotación testigo Tr/Sj-Mz-Sj (círculos en rojo) y la rotación con pastura (círculos negros en 2015 y violetas en 2018; Figura 2.7.5). La rotación con arveja (círculos amarillos) fue más parecida a la rotación testigo, mientras que la rotación con alta proporción de gramíneas (círculos azules) y la rotación con vicia (círculos verdes) quedan en una posición intermedia.

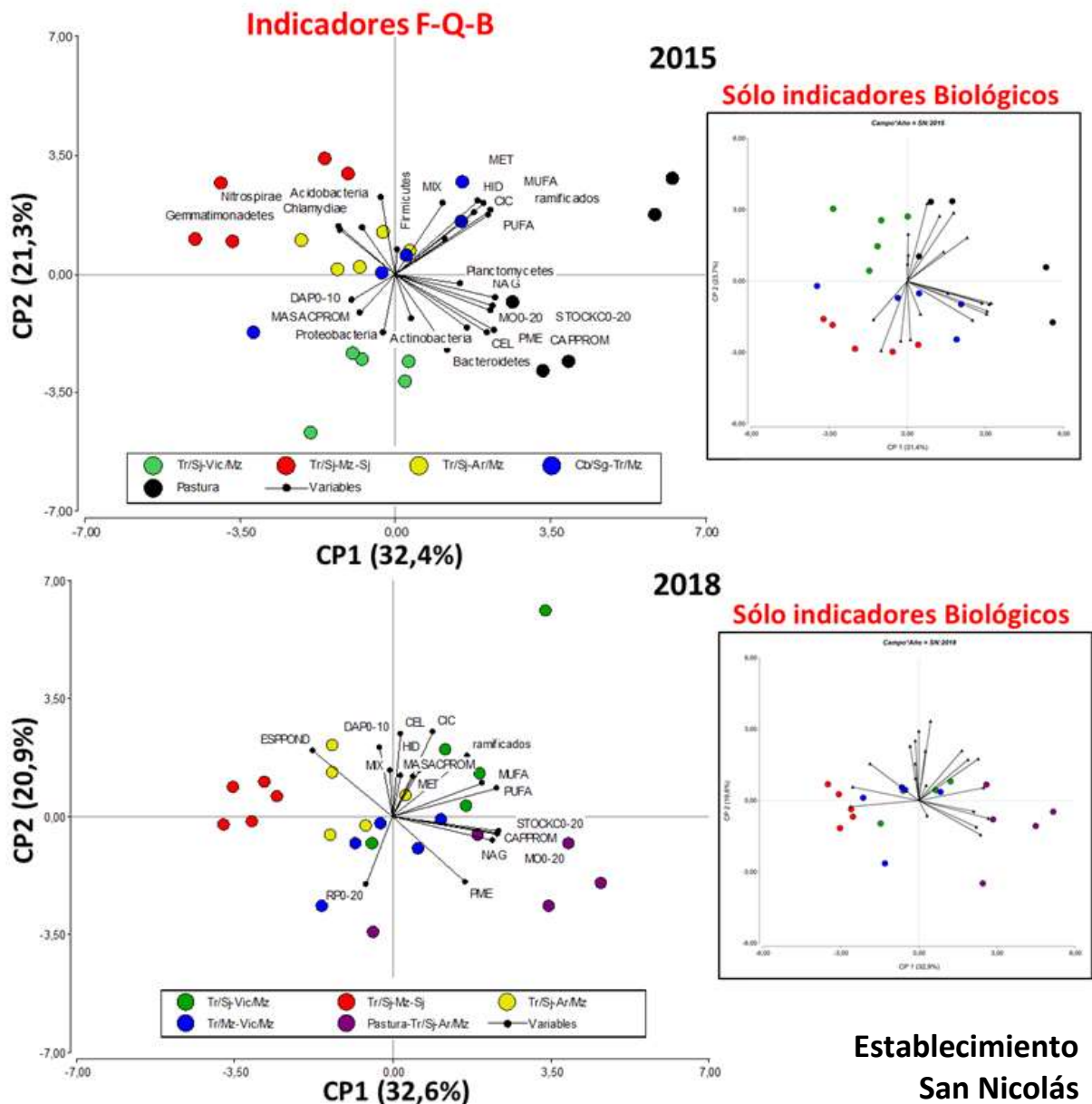


Figura 2.7.5. Análisis de componentes principales del establecimiento San Nicolás para dos años (2015 y 2018). Los vectores muestran los distintos indicadores evaluados y los puntos de colores las distintas rotaciones. Los insets de la derecha muestran los gráficos incluyendo sólo los indicadores biológicos.

También se analizaron los valores de los autovectores de cada indicador en San Nicolás (Tabla 2.7.4). En 2015, tanto para el eje 1 como el 2, los valores de los autovectores fueron bajos (menores a $\pm 0,3$), sólo tuvo mejor valor el nivel de quitinasas (NAG). Para 2018, hubo 6 indicadores con valores de

autovectores altos (mayores a $\pm 0,3$): el C aportado, % de MO, stock de C, quitinasas, MUFA y PUFA. En el caso de la actividad de quitinasa se puede explicar por la importancia de un aumento diferencial de la actividad de esta enzima que involucra tanto el ciclo del N como el del C. Respecto de la influencia de los valores de MUFA y PUFA (ácidos grasos insaturados), asociado a las rotaciones de alta intensidad, hipotetizamos que la explicación viene de un cambio en la calidad de la materia orgánica que se genera y que tendría que ver con los EPS o sustancias poliméricas extracelulares que estabilizan los macroagregados (2000-250 micrones) y microagregados mayores (250-63 micrones).

Tabla 2.7.4. Valores de autovectores para el eje 1 (CP1) y eje 2 (CP2) de cada indicador para el establecimiento San Nicolás en los años 2015 y 2018. En amarillo se marcaron los indicadores que más explicaron el ordenamiento (mayores a $\pm 0,3$).

Variables	2015		2018	
	e1	e2	e1	e2
CAPPRM	0,29	-0,22	0,36	-0,08
MASACPRM	-0,10	-0,15	0,07	0,18
DAPO-10	-0,13	-0,10	-0,04	0,32
RPO-20			-0,09	-0,32
ESPPOND			-0,28	0,30
MOO-20	0,29	-0,12	0,36	-0,08
STOCKCO-20	0,28	-0,14	0,37	-0,07
PME	0,27	-0,23	0,25	-0,31
NAG	0,30	-0,09	0,35	-0,11
CEL	0,22	-0,21	0,03	0,38
ramificados	0,28	0,25	0,26	0,28
HID	0,25	0,28	0,03	0,19
MUFA	0,26	0,28	0,31	0,16
PUFA	0,15	0,13	0,36	0,13
CIC	0,28	0,23	0,14	0,39
MET	0,24	0,24	0,09	0,21
MIX	0,14	0,27	-0,01	0,21
Acidobacteria	-0,04	0,30		
Actinobacteria	0,05	-0,17		
Bacteroidetes	0,16	-0,29		
Chlamydiae	-0,10	0,18		
Firmicutes	0,01	0,09		
Gemmatimonadetes	-0,16	0,17		
Nitrospirae	-0,17	0,18		
Planctomycetes	0,19	-0,04		
Proteobacteria	-0,03	-0,23		

En La Matilde, en 2015 no se observa una clara separación de las rotaciones, aunque la de menor intensidad (círculos rojos) tiende a estar a la izquierda y la pastura hacia arriba (Figura 2.7.6). De igual modo que en SN, estas dos rotaciones se ordenan en posiciones opuestas en el diagrama, aunque en este establecimiento las diferencias son menores que en SN. En 2018 se da un mejor ordenamiento de las rotaciones, quedando la rotación testigo (círculos rojos) y la que tiene arveja (círculos amarillos) a la derecha del gráfico y la rotación con pastura (círculos violetas) y con alta proporción de gramíneas (círculos azules) a la izquierda.

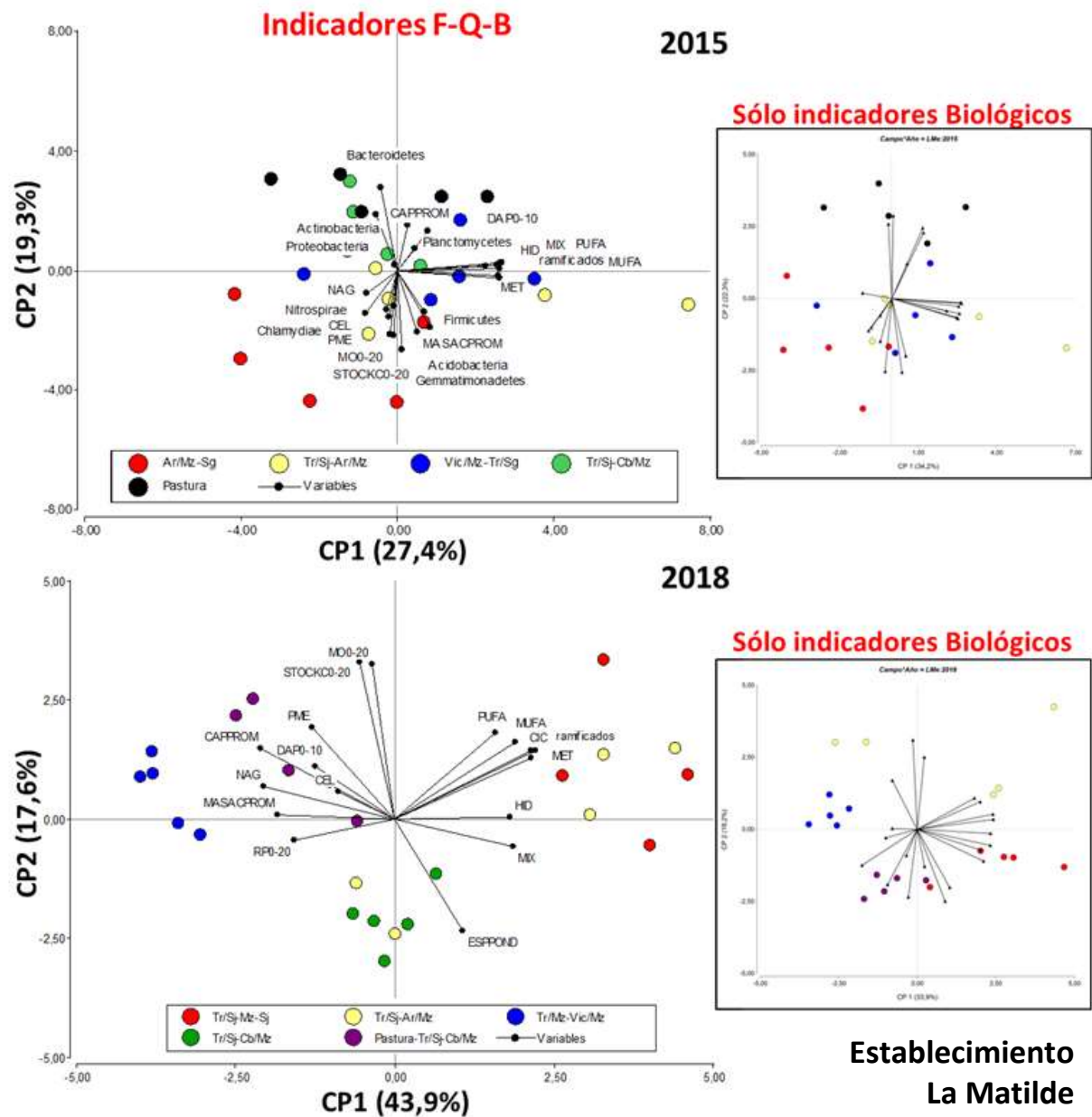


Figura 2.7.6. Análisis de componentes principales del establecimiento La Matilde para dos años (2015 y 2018). Los vectores muestran los distintos indicadores evaluados y los puntos de colores las distintas rotaciones. Los insets de la derecha muestran los gráficos incluyendo sólo los indicadores biológicos.

En 2015, los lípidos en sus distintas fracciones son los que mayormente explican la separación de las rotaciones, y tienen los valores de autovectores más altos (Tabla 2.7.5). En 2018 aparecen más variables explicando el ordenamiento: el C aportado, las quitinasas y algunas fracciones de lípidos (ramificados, CIC y MET). La variación en los grupos de lípidos que aparecen con mayor poder de explicación según el sitio y el momento quizás reflejan la dinámica del sistema que no es necesariamente igual en todos los establecimientos

Tabla 2.7.5. Valores de autovectores para el eje 1 (CP1) y eje 2 (CP2) de cada indicador para el establecimiento La Matilde en los años 2015 y 2018. En amarillo se marcaron los indicadores que más explicaron el ordenamiento (mayores a $\pm 0,3$).

Variables	2015		2018	
	e1	e2	e1	e2
CAPPROM	0,04	0,21	-0,31	0,22
MASACPROM	0,07	-0,29	-0,27	0,01
DAPO-10	0,11	0,19	-0,18	0,16
RPO-20			-0,23	-0,06
ESPPOND			0,16	-0,34
MOO-20	-0,03	-0,30	-0,05	0,47
STOCKCO-20	-0,01	-0,31	-0,08	0,48
PME	-0,04	-0,19	-0,19	0,28
NAG	-0,11	-0,11	-0,30	0,10
CEL	-0,01	-0,17	-0,13	0,08
ramificados	0,38	0,04	0,32	0,21
HID	0,37	0,01	0,26	0,01
MUFA	0,36	0,02	0,28	0,23
PUFA	0,32	0,02	0,23	0,26
CIC	0,36	-0,02	0,31	0,21
MET	0,37	-0,04	0,31	0,19
MIX	0,37	0,04	0,27	-0,08
Acidobacteria	0,12	-0,27		
Actinobacteria	-0,08	0,26		
Bacteroidetes	-0,06	0,39		
Chlamydiae	-0,03	-0,22		
Firmicutes	0,10	-0,20		
Gemmatimonadetes	0,02	-0,37		
Nitrospirae	-0,11	-0,20		
Planctomycetes	0,06	0,10		
Proteobacteria	-0,01	0,02		

Al igual que en La Matilde, en Las Matreras también se logró una menor separación de los tratamientos en 2015 (Figura 2.7.7). Sin embargo, la rotación con arveja (círculos amarillos) y la rotación con pastura (círculos negros), tienen a ubicarse en los dos extremos del gráfico. En 2018, la rotación con pastura (círculos violetas) queda ubicada bien a la derecha del gráfico. En el otro extremo quedaron la rotación con arveja (círculos amarillos) y la rotación Tr/Sj-Mz (círculos verdes). Las otras rotaciones quedaron en una posición intermedia entre ambas.

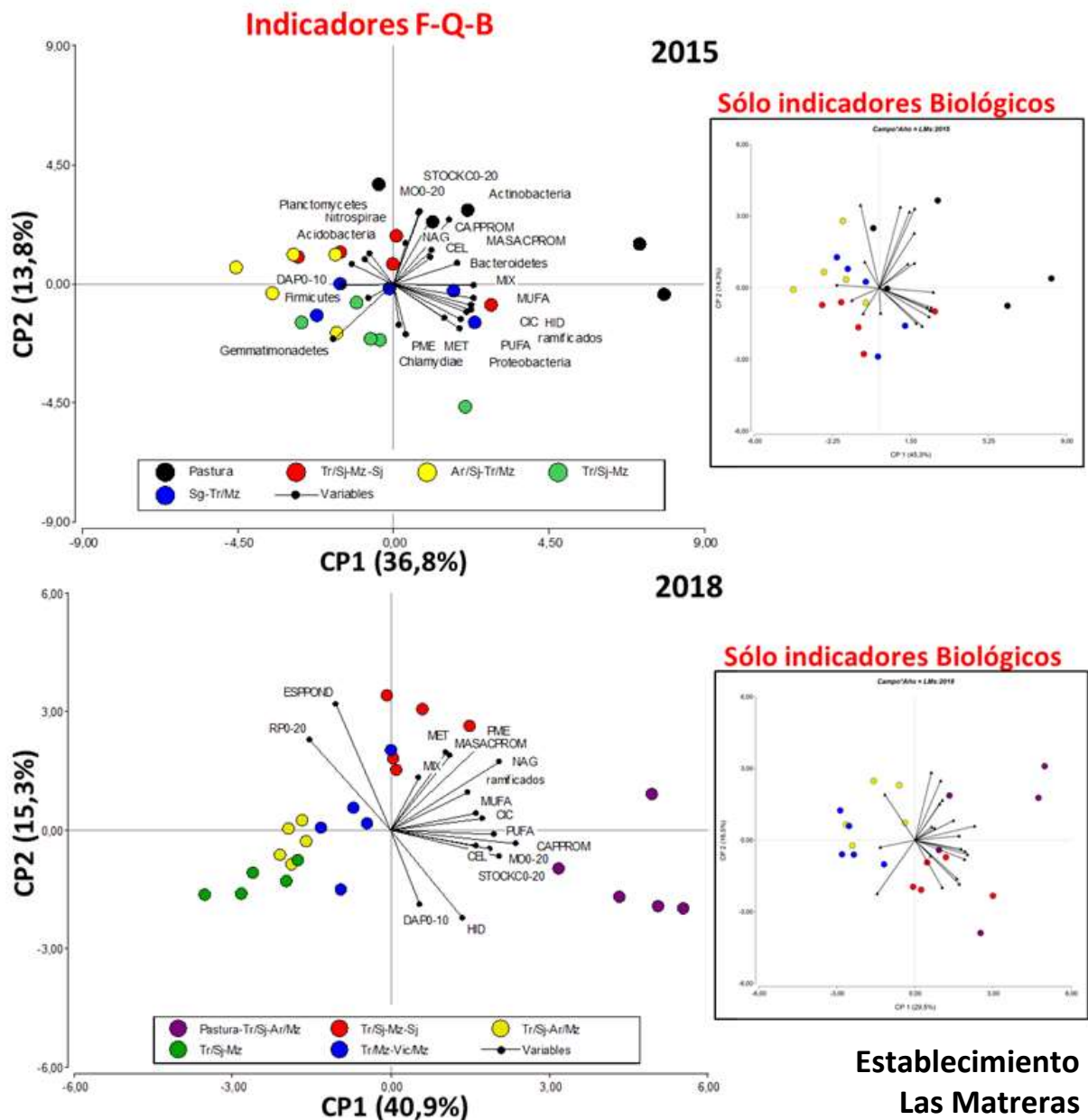


Figura 2.7.7. Análisis de componentes principales del establecimiento Las Matreras para dos años (2015 y 2018). Los vectores muestran los distintos indicadores evaluados y los puntos de colores las distintas rotaciones. Los insets de la derecha muestran los gráficos incluyendo sólo los indicadores biológicos.

En Las Matreras también varias fracciones de lípidos explican el ordenamiento en 2015 (Tabla 2.7.6). En 2018 aparecen variables similares a las que separan en los otros campos: C aportado, stock de C, quitinasas y dentro de los lípidos sólo aparecen PUFA. Es interesante marcar para este establecimiento el ordenamiento particular de la rotación de menor intensidad que se parece más a la pastura que las rotaciones intensificadas. Este comportamiento aparentemente anómalo, se explicaría por una cuestión topológica del ensayo, que ubica a la rotación típica (puntos rojos) en un bajo, vecina a la rotación pastura-agricultura, mientras que las otras tres rotaciones se encuentran en una loma del lote. Esta diferencia topológica se verifica también en los valores de la materia orgánica y eso vuelve coherente con los comentarios anteriores acerca del valor de los lípidos MUFA y PUFA asociados a los tratamientos más productivos.

Tabla 2.7.6. Valores de autovectores para el eje 1 (CP1) y eje 2 (CP2) de cada indicador para el establecimiento Las Matreras en los años 2015 y 2018. En amarillo se marcaron los indicadores que más explicaron el ordenamiento (mayores a $\pm 0,3$).

Variables	2015		2018	
	e1	e2	e1	e2
CAPPROM	0,22	0,33	0,36	-0,05
MASACPROM	0,15	0,17	0,17	0,29
DAP0-10	-0,20	-0,01	0,08	-0,29
RP0-20			-0,23	0,35
ESPPOND			-0,16	0,49
MO0-20	0,10	0,36	0,29	-0,07
STOCK0-20	0,11	0,37	0,31	-0,10
PME	0,05	-0,26	0,26	0,34
NAG	0,05	0,21	0,31	0,26
CEL	0,15	0,14	0,25	-0,06
ramificados	0,30	-0,14	0,22	0,15
HID	0,29	-0,15	0,21	-0,34
MUFA	0,31	-0,07	0,25	0,07
PUFA	0,27	-0,18	0,30	-0,02
CIC	0,30	-0,11	0,26	0,05
MET	0,26	-0,23	0,16	0,30
MIX	0,32	-0,01	0,08	0,20
Acidobacteria	-0,16	0,10		
Actinobacteria	0,14	0,32		
Bacteroidetes	0,25	0,11		
Chlamydiae	0,02	-0,21		
Firmicutes	-0,10	-0,08		
Gammatimonadetes	-0,23	-0,28		
Nitrospirae	-0,09	0,15		
Planctomycetes	-0,11	0,12		
Proteobacteria	0,20	-0,18		

CONCLUSIONES

- ✓ El análisis integral de variables productivas, físicas, químicas y biológicas mostró un similar ordenamiento de las rotaciones que al analizar sólo las variables biológicas. De manera que **las variables biológicas parecieran ser las de mayor peso en el ordenamiento** de los tratamientos.
- ✓ Si bien en 2018 se obtuvo una mejor separación de los tratamientos que en 2015, ya en 2015, luego de 3 años de ensayo, se logró separar las rotaciones. Esto nos muestra la **sensibilidad de los indicadores evaluados**, ya que manifestaron cambios importantes en un breve lapso de tiempo. Estas diferencias no habían sido encontradas con los datos físicos y químicos evaluados en 2015.

CAPÍTULO 3

MANEJO AGRONÓMICO DE SISTEMAS INTENSIFICADOS

Desde el inicio del ensayo de rotaciones de cultivos, surgieron interrogantes acerca del manejo de los cultivos en los sistemas intensificados. Por ejemplo, ¿cómo fertilizar con nitrógeno maíces de segunda sobre antecesores no tan habituales, como son el trigo o la vicia de cobertura?. Observando una mejora en el comportamiento de los trigos anteceditos por Vicia/Maíz, ¿cuánto nitrógeno residual puede aportar la vicia para el cultivo invernacional sucesor?. ¿Existe otro cultivo de cobertura superador a la vicia para el maíz tardío?. ¿El avance de enfermedades en la arveja será un problema para la vicia?. ¿Qué otra alternativa de leguminosa invernacional de cobertura podemos encontrar?. Para poder responder a todos estos interrogantes se plantearon ensayos independientes, que nos permitieron generar información confiable para mejorar el manejo agronómico de los cultivos en los sistemas intensificados.

En los siguientes capítulos (3.1 a 3.3) se presentan ensayos de fertilización en maíz y trigo con distintos antecesores, y un ensayo de evaluación de cultivos de cobertura antecesores al maíz.

CAPÍTULO 3.1

ENSAYO DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ

M.B. Agosti, J. Enrico, E. Kehoe y F. Salvagiotti

INTRODUCCIÓN

En los últimos años y para la región pampeana, la inclusión del maíz de siembra tardía, sembrados en noviembre-diciembre, ha incrementado. La principal ventaja de la siembra de maíces tardías radica en una mayor estabilidad del rendimiento, ya que se ubica el período crítico más tardíamente, evitando el estrés por altas temperaturas durante el llenado de granos y asegurando la disponibilidad hídrica durante el periodo de determinación del número de granos.

Al sembrarse en un momento del año con mayores temperaturas, aquellos cultivos que vienen de un barbecho largo (desde la cosecha del cultivo estival del ciclo anterior) generalmente presentan una mayor disponibilidad de N a la siembra. Sin embargo, esta disponibilidad puede variar si se incluyen en la secuencia cultivos invernales. Surge entonces el interrogante acerca de la dosis de nitrógeno a aplicar según el cultivo antecesor invernal realizado. Es esperable que si el cultivo invernal es una gramínea (trigo o cebada), la disponibilidad de N para el maíz siguiente sea menor por ocurrir inmovilización de N en el suelo por la alta relación C:N de los residuos, y por el consumo de nitrógeno que las gramíneas poseen. En cambio, si el antecesor es una leguminosa, la disponibilidad de N será mayor por la baja relación C:N de los residuos que favorecen la mineralización, y por el aporte que pueda realizar la fijación biológica de N al sistema (Kehoe *et al.*, 2017; Salvagiotti *et al.*, 2016; Salvagiotti *et al.*, 2012).

En relación a estas temáticas, los objetivos de la Chacra Pergamino fueron **comparar las diferentes alternativas invernales en producción de materia seca, rendimiento en grano y aporte de N para el maíz siguiente y obtener curvas de respuesta del rendimiento de maíz a la fertilización nitrogenada** contrastando distintos antecesores invernales (arveja, vicia, trigo o barbecho).

METODOLOGÍA

Tratamientos

1) Alternativas invernales

Durante tres campañas consecutivas (2014-15, 2015-16 y 2016/17) se realizaron ensayos evaluando distintas alternativas de cultivos invernales (trigo, arveja, vicia y barbecho invernal) seguidas por un maíz estival. De esta manera, los tratamientos evaluados fueron 4 rotaciones: Trigo/Maíz, Arveja/Maíz, Vicia/Maíz y Barbecho/Maíz.

Los ensayos se instalaron en tres lotes distintos en cada campaña, en el Establecimiento San Nicolás, ubicado en la localidad de Uranga, Santa Fe (33°18' S y 60°41' O). Los suelos son Argiudoles vérticos de la serie Peyrano. Para ubicar los tratamientos, los lotes se dividieron en 4 franjas de 5-10 ha cada una, donde se realizaron las cuatro alternativas invernales: el barbecho, dos cultivos de cosecha (Trigo y Arveja) y un cultivo de cobertura (*Vicia villosa*). El barbecho se mantuvo libre de malezas durante todo el período invernal. La vicia se secó en plena floración. En las tres campañas, una vez cosechados todos los cultivos invernales, se sembró maíz comercial en sentido perpendicular, de manera que todas las alternativas invernales continuaran con el mismo maíz. En la Tabla 3.1.1 se muestra un resumen del manejo agronómico de cada alternativa invernal en cada una de las campañas evaluadas.

Tabla 3.1.1. Manejo agronómico de los cultivos invernales realizados en cada una de las campañas evaluadas (Campaña 2013-14, 2014-15 y 2015-16).

Cultivo	Siembra	Cosecha	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg ha ⁻¹)
Campaña 2014-15					
Trigo	28-May	24-Nov	Baguette 11	MAP y Urea	102 y 188
Arveja	4-Jul	13-Nov	Facon	MAP	105
Vicia	1-May	8-Nov*	V. villosa	MAP	52
Campaña 2015-16					
Trigo	9-Jun	5-Dic	Baguette 601	MAP y Urea	80 y 200
Arveja	14-Jul	22-Nov	Facon	MAP	82
Vicia	22-May	1-Nov*	V.villosa	MAP	83
Campaña 2016-17					
Trigo	24-Jun		Baguette 601	MAP y Urea	100 y 200
Arveja	3-Ago		Striker	MAP	106
Vicia	19-May		V.villosa	MAP	50

* Corresponde a la fecha de secado de la vicia

2) Fertilización nitrogenada en maíz por antecesor

En los tres años, en los maíces posteriores a las cuatro alternativas invernales, se evaluó la respuesta a la fertilización nitrogenada. Los tratamientos fueron una combinación de las cuatro rotaciones: Trigo/Maíz, Arveja/Maíz, Vicia/Maíz y Barbecho/Maíz; y cinco dosis de nitrógeno: N-0 (0 kg/ha de N aplicado), N-30 (30 kg/ha de N aplicado), N-60 (60 kg/ha de N aplicado), N-120 (120 kg/ha de N aplicado) y N-180 (180 kg/ha de N aplicado). El diseño del ensayo fue en bloques completamente aleatorizados (DBCA) con tres repeticiones (total de 60 parcelas), con parcelas de 5 surcos por 15m de largo (total de 39 m²). En las dos primeras campañas se utilizó el híbrido Dk7210, y en la tercer campaña el híbrido Dk692. Las fechas de siembra fueron 19 de diciembre de 2014, 15 de diciembre de 2015 y 6 de enero de 2017. Los tres años se fertilizó a la siembra con fosfato monoamónico (50 kg/ha).

Determinaciones

1) Rendimiento y Biomasa

En las tres campañas invernales, a cosecha de los cultivos de grano (trigo y arveja) se tomaron tres muestras de 2m² de superficie de cada cultivo incluyendo las plantas enteras (tallos, hojas en pie y grano). En cada muestra se determinó la biomasa aérea total (BAT, expresada en peso seco), que incluyó tallos, hojas en pie y grano y el rendimiento en grano (expresado como peso seco). En el cultivo de vicia, luego del secado de las plantas, se tomaron muestras de toda la biomasa aérea, y se determinó la biomasa aérea total (BAT, expresada como peso seco) producida en esa superficie.

En los maíces del ensayo de fertilización nitrogenada, se determinó el rendimiento en grano tomando muestras de 2,6m² de cada parcela experimental. Se calculó el rendimiento en grano (kg/ha) y se asoció con el nitrógeno disponible del suelo (N suelo V6 + N aplicado por fertilizante).

2) Nitrógeno en suelo

En los tres años de ensayo, en V6 del maíz (previo a la fertilización nitrogenada) se midió el N de nitratos a 0-20cm, 20-40cm y 40-60cm en las cuatro alternativas invernales. Se tomaron tres repeticiones por alternativa invernal, cada una integrada por 3 sub-muestras.

3) Nitrógeno absorbido por el maíz

De las muestras tomadas para estimar rendimiento en maíz en las tres campañas y todos los tratamientos, se tomaron muestras de tallos, hojas y grano para determinar el nivel de nitrógeno en planta por digestión con ácido sulfúrico (método Kjeldahl). El valor total de N en la planta permitió estimar el N absorbido en cada tratamiento.

RESULTADOS

Rendimiento y MS alternativas invernales

Los rendimientos de los cultivos de grano de invierno (trigo y arveja) fueron diferentes entre años (Tabla 3.1.2). Los mayores rendimientos de ambos cultivos se obtuvieron en la campaña 2015-16, seguramente asociado a las mayores precipitaciones durante los ciclos (entre un 30 y 50 % más que las otras dos campañas). La cantidad de rastrojo que dejaron los cultivos invernales fue en promedio de 2.300 kg ha⁻¹ MS para arveja, 7.750 kg ha⁻¹ MS para trigo y 6.800 kg ha⁻¹ MS para vicia. En trigo la cantidad de rastrojo estuvo muy asociada con los rendimientos obtenidos, de manera que la campaña 2015-16 fue la de mayores rendimientos y aporte de MS por rastrojo. En arveja, en la última campaña se observó el mayor aporte de MS en relación a las campañas anteriores. Esto puede deberse a diferencias en partición de la MS entre grano y biomasa aérea total entre variedades, ya que el último año se incluyó otra variedad (Facon en 2014-15 y 2015-16 vs. Striker en 2016-17). El año de mayor producción de MS para vicia fue la primer campaña (2014-15), con valores cercanos a 9.000 kg ha⁻¹ MS, que fue el año de mayor cantidad de mm acumulados durante el ciclo de crecimiento del cultivo (siembra a secado).

Es importante tener en cuenta que no solo se diferencian entre cultivos invernales los kg ha⁻¹ aportados por el rastrojo, sino también la calidad del rastrojo que se puede cuantificar con las distintas relaciones C:N. Ambas variables influyen en la evolución del rastrojo a lo largo del ciclo del maíz y en la facilidad de entrega de N. En la Figura 3.1.1 se muestran fotografías tomadas uno de los años (Campaña 2014-15) en R1 del maíz, donde se observan las distintas cantidades de rastrojo en ese momento y se incluyen valores bibliográficos orientativos de relación C:N.

Tabla 3.1.2. Rendimiento en grano (kg/ha, 0%humedad) y MS de rastrojo (kg/ha, 0%humedad) para los distintos antecesores de invierno durante tres campañas (2014/15, 2015/16 y 2016/17). Datos de cosechas manuales.

Campaña	Cultivo	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	MS Rastrojo (kg ha ⁻¹)	Precipitaciones ciclo (mm)
2014-15	Vicia villosa		8.999	383
2014-15	Arveja	1.742	1.719	316
2014-15	Trigo	2.804	6.206	344
2015-16	Vicia villosa		6.101	342
2015-16	Arveja	2.350	2.231	350
2015-16	Trigo	4.568	9.530	382
2016-17	Vicia villosa		5.359	246
2016-17	Arveja	1.523	2.943	192
2016-17	Trigo	3.318	7.518	271

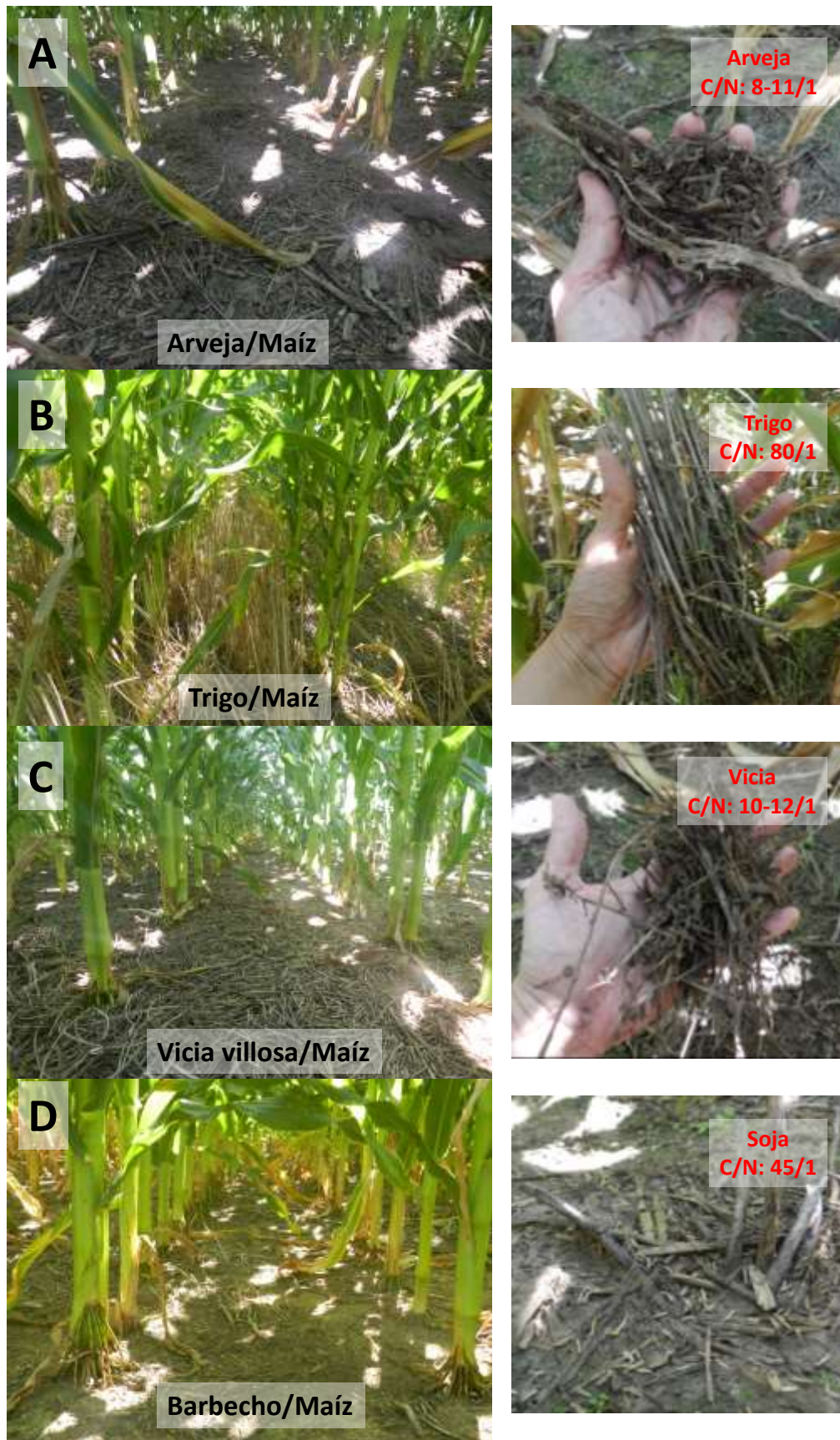


Figura 3.1.1. Fotografías de rastrojo en maíces en R1 (23/2/15) para los distintos antecesores invernales (A) Arveja, (B) Trigo, (C) Vicia villosa y (D) Barbecho. A la derecha se muestra un detalle del estado del rastrojo con sus respectivos valores de relación C/N.

Nitrógeno del suelo disponible para el maíz

Los valores de N en suelo en un maíz en V6 fueron mayores en las rotaciones con vicia: 70-100 kg N ha⁻¹ entre los 0 a 60 cm de profundidad (Tabla 3.1.3), en comparación con los demás antecesores (trigo y arveja). Estos resultados se deben a dos factores, por un lado, la siembra de un cultivo de cobertura como una vicia fija N atmosférico incrementando los niveles de N en el sistema; por otro lado, la vicia al no ser un cultivo para la extracción de grano por cosecha, aporta todo el N proveniente de la fijación biológica al suelo una vez secado el mismo. Tomando como referencia las rotaciones con barbecho invernal, en las dos primeras campañas, la vicia tuvo entre 17 y 30 kg ha⁻¹ más de N que el tratamiento barbecho (un aumento del 34 y 42%) excepto en la última campaña, en la cual la rotación con vicia tuvo un 10% menos de N que el barbecho (-10 kg ha⁻¹) (Tabla 3.1.3). Este año fue muy atípico en lluvias, con precipitaciones de 656mm entre diciembre y enero. Posiblemente, pudo haber ocurrido lavado de N en el suelo, pero lo llamativo es que no ocurrió en las demás rotaciones. De todas maneras, la rotación con vicia siempre tuvo un aporte de N mayor que las rotaciones con arveja y trigo. Las rotaciones con arveja, tuvieron valores similares de N que el barbecho en las dos primeras campañas, pero fue mucho menor (-51 kg ha⁻¹) en la última campaña. Esto puede deberse a la baja producción de MS por las escasas precipitaciones en 2013. Previsiblemente, debido a la naturaleza de las gramíneas, las rotaciones con trigo siempre tuvieron los valores más bajos de N (30-45% menos que el barbecho).

Tabla 3.1.3. Nitrógeno de nitratos medido en V6 del maíz para los distintos antecesores de invierno durante tres campañas (2013/14, 2014/15 y 2015/16). Se muestran valores en kg/ha (0-60cm de profundidad) y en % relativos al barbecho (100%).

Campaña	Cultivo	N suelo V6 (kg ha ⁻¹)	N suelo V6 (%)
2014-15	Vicia villosa	70	134
2014-15	Arveja	52	98
2014-15	Trigo	38	72
2014-15	Barbecho	53	100
2015-16	Vicia villosa	100	142
2015-16	Arveja	71	102
2015-16	Trigo	32	46
2015-16	Barbecho	70	100
2016-17	Vicia villosa	94	90
2016-17	Arveja	51	49
2016-17	Trigo	58	56
2016-17	Barbecho	104	100

Respuesta del rendimiento del maíz al N

La respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz fue diferente según el cultivo antecesor (Figura 3.1.2). En las tres campañas, el maíz antecedido por vicia no tuvo respuesta a la fertilización nitrogenada, manteniendo los máximos niveles de rendimiento en grano aún sin aplicación de N (tratamientos N=0). Esto abre la posibilidad, en esta zona de producción, de realizar planteos de maíces tardíos sobre *Vicia villosa* sin necesidad de fertilización nitrogenada, siempre que los niveles N en V6 del maíz en suelo estén cercanos a los 70-90 kg ha⁻¹ N (0-60cm).

La respuesta en los maíces antecidos por arveja y barbecho fue similar. Los máximos rendimientos de maíz se alcanzaron entre 100 y 130 kg ha⁻¹ de N disponible. Sin embargo, la ventaja de realizar maíz antecedido por arveja radica en la obtención de dos rentas por año.

El maíz antecedido por trigo tuvo la mayor respuesta a la fertilización en las dos últimas campañas. El primer año no alcanzó los rendimientos de los otros antecesores, mientras que el segundo y tercer año lo hizo con un nivel de N disponible de 200 kg ha⁻¹ en 2015-16 y de 120 kg ha⁻¹ en 2016-17. Sin embargo, los rindes generales de la última campaña fueron menores por el atraso en la fecha de siembra, motivo que explicaría la menor necesidad de N del maíz antecedido por trigo para alcanzar a los otros antecesores. Los actuales sistemas de producción de maíz con antecesor trigo, en los cuales se lleva el nivel de N a 150 kg ha⁻¹ (suelo + fertilizante), deberían considerar umbrales de N mayores para maximizar el rendimiento del maíz.

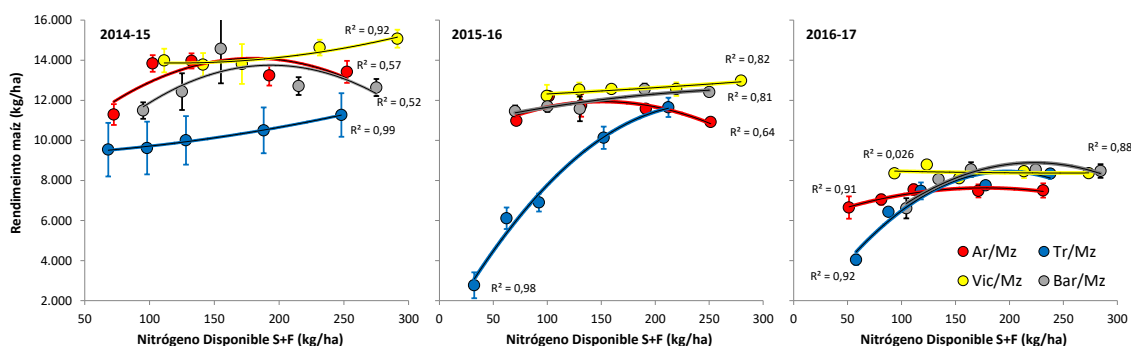


Figura 3.1.2. Rendimiento de maíz (kg/ha) en función del N disponible en suelo (suelo V6 + fertilizante) para distintos antecesores invernales (arveja en rojo, trigo en azul, vicia en amarillo y barbecho en gris) en tres campañas (2014-15, 2015-16 y 2016-17).

Para unificar las tres campañas en un mismo gráfico y hallar umbrales de respuesta, se relativizó cada tratamiento y año a la dosis más alta de N (100%). Se graficó el rendimiento relativo del maíz en función del N disponible (Figura 3.1.3). Con antecesor vicia, la respuesta fue lineal pero la pendiente no fue significativa ($p=0,07$), y los valores de rendimiento del maíz estuvieron siempre por encima del 92%. Para los otros tres antecesores, la respuesta fue bi-lineal, con distintos puntos de quiebre que podemos identificar como umbrales. En arveja y barbecho, el umbral fue menor (71 y 83 kg ha⁻¹ de N disponible, respectivamente). En trigo el umbral fue mucho mayor (185 kg ha⁻¹), por lo que se deberá considerar este nivel de N para maximizar el rinde del maíz antecedido por trigo.

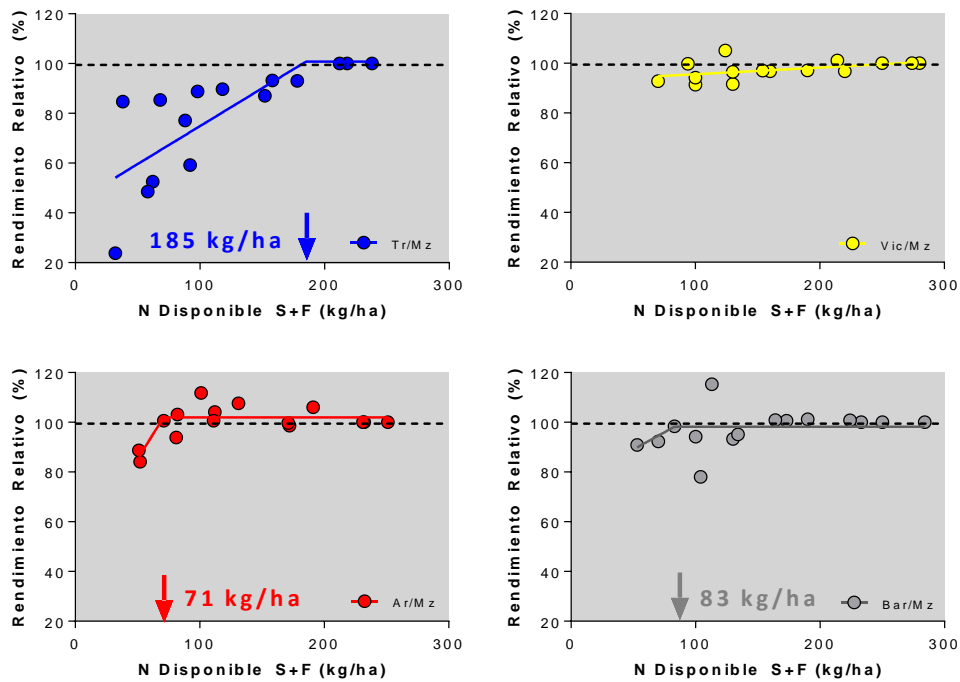


Figura 3.1.3. Rendimiento Relativo de maíz (%) en función del N disponible en suelo (suelo V6 + fertilizante) para distintos antecesores invernales (arveja en rojo, trigo en azul, vicia en amarillo y barbecho en gris) incluyendo tres campañas (2014-15, 2015-16 y 2016-17). Las flechas indican los valores de X_0 (quiebre de pendiente).

Nitrógeno absorbido por el maíz

El nitrógeno absorbido por el maíz sin fertilización nitrogenada fue diferente en los distintos tratamientos y campañas (Figura 3.1.4). Las diferencias entre campañas estuvieron asociadas a diferencias en rindes entre campañas ($>$ campaña 2014-15 $>$ 2015-16 $>$ 2016-17). Comparando entre tratamientos, el maíz después de una vicia consistentemente tuvo la mayor absorción, seguido por el maíz después de barbecho y arveja, y en último lugar el maíz antecedido por trigo. La diferencia entre la absorción en el maíz antecedido por barbecho y vicia (flechas en Figura 3.1.4), muestra el aporte de N de la vicia. En promedio de las 3 campañas, la vicia aportó 45 kg ha^{-1} de N, que representa un aporte de 90 kg ha^{-1} de urea. Este aporte de N del cultivo de cobertura parece alcanzar para maximizar el rendimiento del maíz, y por ese motivo no hubo respuesta a la fertilización nitrogenada en ese tratamiento (Figura 3.1.2).

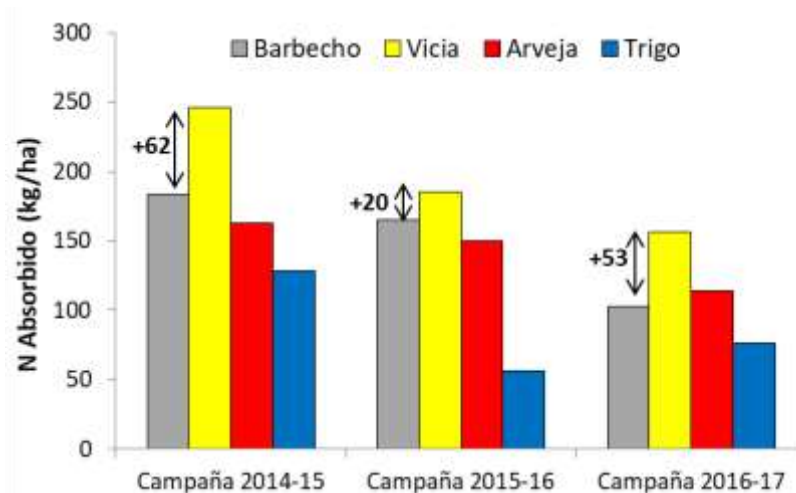


Figura 3.1.4. Nitrógeno absorbido por el maíz (kg ha^{-1}) en tratamientos NO (sin fertilización) para distintos antecesores invernales (arveja en rojo, trigo en azul, vicia en amarillo y barbecho en gris) incluyendo tres campañas (2014-15, 2015-16 y 2016-17). Las flechas muestran las diferencias con antecesor barbecho y vicia.

CONCLUSIONES

- ✓ **La disponibilidad de N en el suelo para el maíz sembrado en diciembre depende:**
 1. El **cultivo que invernal** que realicemos: en comparación con un barbecho invernal, un trigo como antecesor, disminuye la disponibilidad de nitrógeno en un 30 a 55%, arveja como antecesor tiene un comportamiento similar y vicia como antecesor aumenta la disponibilidad de N en un 30 a 40%.
 2. El **rendimiento del cultivo invernal**: para las leguminosas, un mayor rendimiento de MS aumenta la disponibilidad de N por una mayor fijación biológica. Para las gramíneas, a mayor rendimiento de MS disminuye la disponibilidad de N por una mayor extracción e inmovilización.
- ✓ La **vicia de cobertura aporta 45 kg ha^{-1} de N**, que representa un aporte de 90 kg ha^{-1} de urea para el maíz siguiente, entregados paulatinamente en el ciclo.
- ✓ El maíz con antecesor vicia no tuvo respuesta a la fertilización. Esto se debe al gran aporte de esta leguminosa de N lo cual le permitió alcanzar los mayores rendimientos. Estos resultados llevan a otro interrogante de saber si estamos sobre-fertilizando el maíz.
- ✓ Con antecesor arveja y barbecho, la respuesta a la fertilización fue similar, con máximos rendimientos logrados con N disponible (suelo + fertilizante) entre $100\text{-}130 \text{ kg ha}^{-1}$.
En términos relativos, los máximos rendimientos en las tres campañas se alcanzaron con 71 y 83 kg ha^{-1} de N disponible, para arveja y barbecho. Es importante destacar que con arveja además de aumentar la disponibilidad de N percibimos un beneficio extra por la renta generada por la venta de grano.
- ✓ **Mayor respuesta del maíz a la fertilización con trigo como antecesor.**
En términos relativos, el umbral de trigo fue mucho mayor en relación a los demás antecesores (185 kg ha^{-1}), por lo que se deberá considerar un nivel mayor de N para maximizar el rinde del maíz. Estos resultados llevan a otro interrogante de saber si ¿nos estamos quedando cortos con la cantidad de N aplicado en trigo?

BIBLIOGRAFÍA

- Kehoe E. Agosti MB, Enrico J., Prieto G. y Salvagiotti F. 2017. Respuesta a la fertilización con N según cultivos invernales previos en una secuencia Maíz tardío-Trigo. Actas Simposio de Fertilidad 2017. Rosario. IPNI.
- Salvagiotti, F., Ferraguti, F., Castellarín, J. M., and Manlla, A.2012. Respuesta a la fertilización y eficiencia en el uso del nitrógeno en maíz de siembra tardía sobre diferentes antecesores utilizando inhibidores de ureasa. Actas XXIII Congreso Argentino de Ciencia del Suelo. Mar del Plata. AACS
- Salvagiotti, F., Enrico, J. M., Barraco, M., Prieto, G., and Agosti, M. B. 2016. Componentes de la eficiencia de N en maíz de siembra tardía con diferentes antecesores. Actas XXV Congreso Argentino de Ciencia del Suelo. Rio Cuarto. AACS.

CAPÍTULO 3.2

ENSAYO DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN TRIGO

M.B. Agosti, J. Enrico, E. Kehoe y F. Salvagiotti

INTRODUCCIÓN

Durante tres campañas se realizaron ensayos en la Chacra Pergamino para cuantificar la respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz antecedido por diferentes cultivos invernales. Los resultados mostraron un gran aporte de N por parte de la *Vicia villosa* de cobertura, que hicieron que los maíces siguientes no tuvieran respuesta a la fertilización. Es así como surge la hipótesis de que el cultivo de vicia puede tener un efecto residual en el aporte de N llegando a durar más allá del ciclo del cultivo de maíz sucesor, y aportando N al trigo siguiente en la rotación. Esta hipótesis se sustenta por la observación de mapas de rendimientos de trigo luego de los ensayos de los distintos antecesores, donde se veía una mejora del rendimiento del trigo que tuvo Vicia/Maíz anteriormente.

En relación a estas temáticas, el objetivo de la Chacra Pergamino fue **cuantificar la respuesta a la fertilización nitrogenada en trigo con distintos antecesores invierno/Maíz: Vicia/Maíz, Trigo/Maíz, Arveja/Maíz y Barbecho/Maíz**. Se realizaron ensayos de fertilización nitrogenada en trigo con los distintos antecesores, evaluando el impacto en el rendimiento del trigo.

METODOLOGÍA

Descripción del experimento

Durante dos campañas (2016-17 y 2017-18) se realizaron ensayos de fertilización nitrogenada en trigo con distintos antecesores. Los ensayos se instalaron en lotes distintos en cada campaña, en el Establecimiento San Nicolás, ubicado en la localidad de Uranga, Santa Fe (33°18' S y 60°41' O). Los suelos son Argiudoles vérticos de la serie Peyrano. Los tratamientos surgen de la combinación de: i) cuatro **secuencias de cultivo** que combinan distintos antecesores invernales seguidos por maíz y luego trigo: Vicia/Maíz-Trigo, Trigo/Maíz-Trigo, Arveja/Maíz-Trigo y Barbecho/Maíz-Trigo; y ii) cinco **dosis de nitrógeno**: N-0 (0 kg ha⁻¹ de N aplicado), N-50 (50 kg ha⁻¹ de N aplicado), N-100 (100 kg ha⁻¹ de N aplicado), N-150 (150 kg ha⁻¹ de N aplicado) y N-200 (200 kg ha⁻¹ de N aplicado), aplicadas a los trigos del segundo año.

1) Secuencias de cultivos

En un mismo lote se evaluaron cuatro secuencias de cultivos: Trigo/Maíz-Trigo (T/M-T), Vicia/Maíz-Trigo (V/M-T), Arveja/Maíz-Trigo (A/M-T) y Barbecho/Maíz-Trigo (B/M-T) en dos campañas. Para ubicar los tratamientos, el lote se dividió en 4 franjas de 3-6 ha cada una, donde se realizaron cuatro alternativas invernales (trigo, vicia, arveja y barbecho) seguidas por maíz y luego trigo. El barbecho se mantuvo libre de malezas durante todo el período invernal. La *Vicia villosa* fue un cultivo de cobertura y se secó en plena floración. El trigo y la arveja fueron cultivos de cosecha. A los maíces solo se le realizó una fertilización de base con MAP (50 kg ha⁻¹ en 2015/16 y 83 kg ha⁻¹ en 2016/17), sin aplicación de nitrógeno en el resto del ciclo. En la Tabla 3.2.1 y 3.2.2 se muestra un resumen del manejo agronómico de cada cultivo en cada secuencia evaluada en los dos años de ensayo.

Tabla 3.2.1. Fecha de siembra, cosecha, genotipo y fertilización realizada en cada cultivo en cada secuencia evaluada en la campaña 2016-17.

Secuencia	Cultivo	Siembra	Cosecha	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg ha ⁻¹)
T/M-T	Trigo	9-Jun-15	5-Dic-15	Baguette 601	MAP y Urea	80 y 200
	Maíz	15-Dic-15	9-Ago-16	Dk7210	MAP	50
	Trigo	10-Ago-16	12-Dic-16	Cronox	MAP	103
V/M-T	Vicia	22-May-15	1-Nov-15*	V.villosa	MAP	83
	Maíz	15-Dic-15	9-Ago-16	Dk7210	MAP	50
	Trigo	10-Ago-16	12-Dic-16	Cronox	MAP	103
A/M-T	Arveja	14-Jul-15	22-Nov-15	Facon	MAP	82
	Maíz	15-Dic-15	9-Ago-16	Dk7210	MAP	50
	Trigo	10-Ago-16	12-Dic-16	Cronox	MAP	103
B/M-T	Maíz	15-Dic-15	9-Ago-16	Dk7210	MAP	50
	Trigo	10-Ago-16	12-Dic-16	Cronox	MAP	103

* Corresponde a la fecha de secado de la vicia

Tabla 3.2.2. Fecha de siembra, cosecha, genotipo y fertilización realizada en cada cultivo en cada secuencia evaluada en la campaña 2017-18.

Secuencia	Cultivo	Siembra	Cosecha	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg ha ⁻¹)
T/M-T	Trigo	24-Jun-16	1-Dic-16	Baguette 601	MAP y Urea	100 y 200
	Maíz	6-Ene-17	26-Jul-17	Dk692	MAP	83
	Trigo	27-Jul-17	10-Dic-17	Cambium	MAP	104
V/M-T	Vicia	19-May-16	17-Nov-16*	V. villosa	MAP	50
	Maíz	6-Ene-17	26-Jul-17	Dk692	MAP	83
	Trigo	27-Jul-17	10-Dic-17	Cambium	MAP	104
A/M-T	Arveja	3-Ago-16	24-Nov-16	Striker	MAP	106
	Maíz	6-Ene-17	26-Jul-17	Dk692	MAP	83
	Trigo	27-Jul-17	10-Dic-17	Cambium	MAP	104
B/M-T	Maíz	6-Ene-17	26-Jul-17	Dk692	MAP	83
	Trigo	27-Jul-17	10-Dic-17	Cambium	MAP	104

* Corresponde a la fecha de secado de la vicia

2) Fertilización nitrogenada

En los trigos del segundo año de cada secuencia de cultivos en las dos campañas, se evaluaron cinco dosis de nitrógeno: N-0 (0 kg ha⁻¹ de N aplicado), N-50 (50 kg ha⁻¹ de N aplicado), N-100 (100 kg ha⁻¹ de N aplicado), N-150 (150 kg ha⁻¹ de N aplicado) y N-200 (200 kg ha⁻¹ de N aplicado). Las mismas se aplicaron al voleo cuando el trigo tenía dos hojas. Se utilizó urea protegida como fertilizante.

Diseño experimental

Los tratamientos de fertilización se dispusieron en parcelas divididas con 3 repeticiones donde la secuencia de cultivos fue la parcela mayor y los tratamientos de fertilización nitrogenada las sub-parcelas. El largo de la sub-parcela fue de 14,3 m de largo por 3,5 m de ancho (superficie de 50 m² cada una).

Determinaciones

1) Rendimiento y Biomasa

En el Capítulo 3.1 se detalló la metodología de muestreo de rendimiento y biomasa de los cultivos invernales y el maíz siguiente. Para este ensayo sólo se utilizó el sector del maíz sin fertilización nitrogenada (N0). En los trigo donde se realizó el ensayo de fertilización (segundo año de secuencia en las dos campañas), se tomaron muestras de 0,25 m² de superficie de cada tratamiento (secuencia x dosis de N), incluyendo las plantas enteras (tallos, hojas en pie y grano). Se determinó la biomasa aérea total (BAT, expresada en peso seco), que incluyó tallos, hojas en pie y grano, rendimiento en grano (13% humedad) y peso de 1000 granos.

2) Nitrógeno en suelo

A la siembra del trigo del segundo año de la secuencia, se tomaron muestras de suelo en tres profundidades (0-20cm, 20-40cm y 40-60cm) en las cuatro secuencias de cultivo. Se determinó N-nitratos en cada estrato.

RESULTADOS

Rendimiento y Biomasa

En la Tabla 3.2.3 se presentan los rendimientos y rastrojo aportado por cada secuencia durante el primer año, incluyendo el cultivo invernal y el maíz siguiente. En la primera campaña, los rendimientos de trigo y arveja fueron muy buenos para la zona, ya que fue una campaña con buena disponibilidad hídrica (entre 340 y 380 mm durante el ciclo de los cultivos). Lo mismo ocurrió con la producción de MS de vicia, que para esa campaña fue de 6.000 kg MS ha⁻¹. Los rendimientos de los maíces siguientes, sin fertilización nitrogenada, fueron también muy diferentes dependiendo del cultivo antecesor. Los mejores rendimientos de maíz se obtuvieron cuando el antecesor invernal fue vicia (7% más de rendimiento que con antecesor barbecho). Con antecesor arveja se obtuvo un rendimiento de maíz similar al antecesor barbecho (sólo un 4% menor). Mientras que el peor rendimiento se obtuvo cuando el antecesor fue trigo, con 76% menos de rendimiento de maíz que con antecesor barbecho. Esta gran caída puede explicarse por la alta producción de MS y alto rendimiento del trigo, que probablemente generó una importante inmovilización de N en el suelo, disminuyendo la disponibilidad del nutriente para el maíz siguiente. A pesar de ello, el mayor aporte de rastrojo en los cultivos invernales, lo tuvo el trigo (9.500 kg MS ha⁻¹), seguido por la vicia (6.100 kg MS ha⁻¹) y en último lugar la arveja (2.200 kg MS ha⁻¹). Mientras que el rastrojo del maíz siguiente en cada rotación estuvo asociado directamente con su rendimiento, de manera que aportó más rastrojo el maíz sobre vicia, seguido del maíz sobre arveja y barbecho, y por último el antecedido por trigo.

En la segunda campaña, se obtuvieron menores rendimientos y producción de MS en los cultivos invernales, debido a las menores precipitaciones (entre 190 y 270 mm durante el ciclo de los cultivos). Los rendimientos del maíz también fue bajo, especialmente por la demora en la fecha de siembra y el acortamiento del ciclo. Con el antecesor trigo, el maíz no tuvo mal comportamiento, seguramente porque el menor rendimiento del trigo (comparado con campaña 2016/17) que dejó más nitrógeno y agua disponible para el maíz siguiente.

Tabla 3.2.3. Rendimiento en grano (kg/ha, 0% humedad) y rastrojo aportado (kg MS ha⁻¹) en cada cultivo durante el primer año de ensayo en cada secuencia evaluada.

Secuencia	Cultivo	Campaña 2016-17		Campaña 2017-18	
		Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Rastrojo (kg MS ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Rastrojo (kg MS ha ⁻¹)
T/M-T	Trigo	4.568	9.530	3.318	7.518
	Maíz	2.768	5.428	4.043	7.928
V/M-T	Vicia	-	6.101	-	5.359
	Maíz	12.218	23.957	8.349	16.371
A/M-T	Arveja	2.350	2.231	1.523	2.943
	Maíz	10.979	21.528	6.650	13.039
B/M-T	Barbecho	-	-	-	-
	Maíz	11.457	22.465	6.611	12.962

Respuesta a la fertilización

El rendimiento del trigo del segundo año en las dos campañas evaluadas, varió entre antecesores y niveles de N disponible (Figura 3.2.1). Cuando no se aplicó fertilizante al trigo (tratamientos N0 que son los primeros puntos a la izquierda del gráfico), el rendimiento del trigo fue mayor para el antecesor Vic/Mz (2.000 y 3.000 kg ha kg MS ha⁻¹ en 2016/17 y 2017/18, respectivamente), intermedio para el antecesor Ar/Mz y Bar/Mz (1.300 y 2.300 kg ha⁻¹ en 2016/17 y 2017/18, respectivamente) y menor para el antecesor Tr/Mz (1.000 y 1.700 kg ha⁻¹ en 2016/17 y 2017/18, respectivamente). Estas diferencias a favor del antecesor vicia, muestran un posible efecto residual del N aportado por la cobertura sobre el cultivo invernal siguiente. Es decir, que además del N extra aportado por la vicia durante el ciclo del maíz (45 kg ha⁻¹ como se pudo cuantificar en el Capítulo 3.1), se está aportando N luego de cosechado el maíz que puede ser aprovechado por el cultivo siguiente.

En las dos campañas, para todos los tratamientos, los rendimientos de trigo fueron aumentando en la medida que aumentó el N disponible. La secuencia Vic/Mz (en amarillo en gráficos) tuvo mayores rendimientos en la mayoría de las dosis de N disponible comparado con los otros antecesores. Este efecto se observa especialmente en la primer campaña (2016/17), donde los puntos amarillos se encuentran por encima de las restantes dosis de N excepto para la dosis más alta, mientras que en el segundo año a partir de los 150 kg ha⁻¹ de N disponible, la respuesta entre tratamientos es más variable. Nuevamente, la respuesta a la fertilización nitrogenada fue muy similar en las secuencias con arveja y barbecho, especialmente en la primer campaña. En 2017/18 sin embargo, el trigo sembrado luego de Bar/Mz pareciera no alcanzar el máximo rendimiento con la mayor dosis de N disponible. El antecesor con 100 % gramíneas (Tr/Mz) tuvo los menores rendimientos en ambas campañas para todos los niveles de N, seguramente por la gran deficiencia de N en el suelo y la alta demanda de este nutriente por parte del cultivo de trigo.

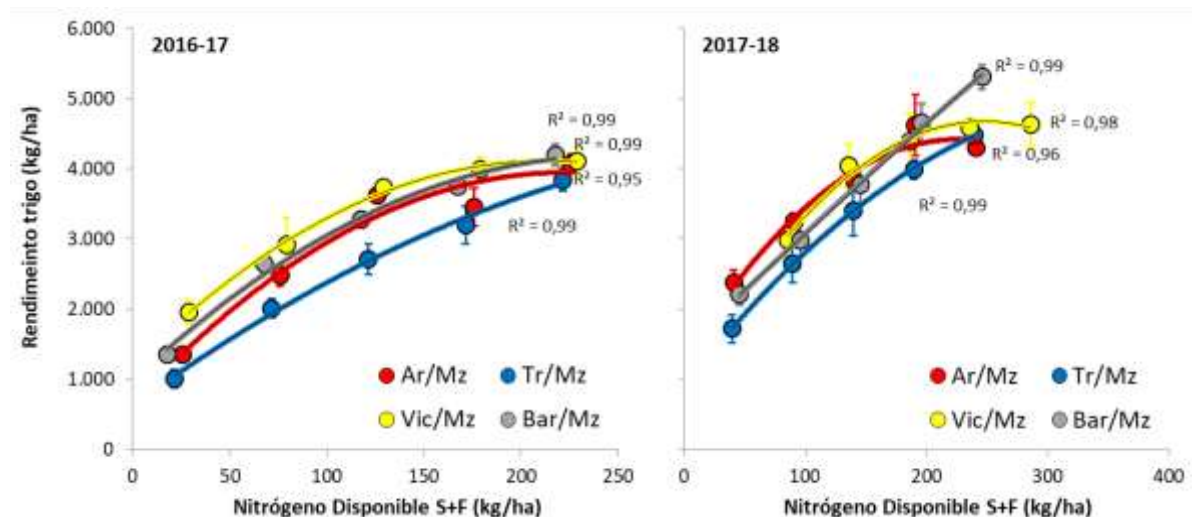


Figura 3.2.1. Rendimiento de trigo (kg ha^{-1} , 13% humedad) en función del N disponible (suelo 0-60cm + fertilizante) para distintas secuencias (A/M en rojo, T/M en azul, V/M en amarillo y B/M en gris) en los dos años de ensayo (2016-17 y 2017-18).

CONCLUSIONES

- ✓ Existe un efecto positivo y residual en el aporte de N del cultivo de *Vicia villosa* de cobertura, que aporta a los rendimientos de trigo en la rotación. Esto pudo cuantificarse en los tratamientos con 0 kg N ha^{-1} aportados en trigo los cuales tuvieron mayores rendimientos con antecesor Vic/Mz que con cualquier otro tratamiento como antecesor.
- ✓ El trigo antecedido por Ar/Mz y Bar/Mz respondió de manera similar a la fertilización nitrogenada. Los rendimientos para trigo siempre fueron inferiores a los de antecesor Vic/Mz excepto cuando la disponibilidad de N fue de 250 kg N ha^{-1} , en donde alcanzó rendimientos similares.
Es importante destacar que la falta de respuesta de los cultivos antecidos por arveja se debe a que a pesar de que esta es una leguminosa capaz de fijar nitrógeno biológico, gran parte de este N es extraído por el grano y queda fuera del aporte en el sistema.
- ✓ Los trigos antecidos por gramíneas tuvieron los menores rendimientos y respondieron a la fertilización en todo el rango de N disponible.
Lo trigos en secuencias con 100% de gramíneas (Tr/Mz-Tr) fueron los que mayor respuesta a la fertilización de nitrógeno tuvieron aumentando el rendimiento con mayores dosis de N aportado. A pesar de eso, los valores de rendimientos fueron los más bajos para todas las dosis de N.

CAPÍTULO 3.3

EVALUACIÓN DE CC ANTECESORES DE MAÍZ TARDÍO

M.B. Agosti

INTRODUCCIÓN

La adopción de cultivos de cobertura (CC) en Argentina ha aumentado en las últimas campañas, asociado a algunas problemáticas productivas emergentes y a múltiples beneficios dentro de los sistemas de producción por incorporar estos cultivos. Entre las problemáticas se puede mencionar la creciente presión de malezas, especialmente de malezas resistentes a herbicidas; ciclos muy húmedos con ascenso de napas y necesidad de consumo de agua durante el invierno; y aumento de procesos erosivos (eólicos e hídricos) en suelos por falta de cobertura. La incorporación de CC dentro de los sistemas de producción apunta a mitigar el impacto negativo de estas problemáticas así como también generar otros beneficios en el sistema, como la reducción del uso de fertilizantes por aportes de N y C orgánicos.

Si bien hace varios años que se viene trabajando en el tema en Argentina, la importancia de estas problemáticas en los últimos años ha dado un nuevo impulso y generado la necesidad de ampliar los conocimientos sobre especies a utilizar, ciclos, impacto de su utilización dentro del sistema, etc. A nivel nacional, hay varios trabajos que evalúan distintos cultivos de cobertura, tanto leguminosas como gramíneas, o consociaciones (Alvarez *et al.*, 2013; Baigorria y Cazorla, 2010; Boccolini *et al.*, 2010; Renzi y Cantamutto, 2007). Sin embargo, en la mayoría se evalúan pocos cultivos y en un solo sitio y año. Además, muchas evaluaciones se realizaron como un cultivo de primera (soja o maíz) luego de un cultivo de cobertura. En cambio para nuestro caso, se busca intensificar pensando en utilizar los CC como antecesores de maíz tardío. Dentro de la Regional Pergamino-Colon, la *Vicia villosa* se probó como CC desde el 2012. Sin embargo, a partir de estos estudios surgió la inquietud de probar otra leguminosa como alternativa a la vicia y cómo los CC consociados pueden llegar a aumentar la producción de MS y mejorar propiedades del suelo por incluir sistemas radicales diferentes.

En relación a estas temáticas, los objetivos de la Chacra Pergamino fueron **evaluar el aporte de MS y N de distintos cultivos de cobertura antecesores a maíz tardío; y el efecto sobre el rendimiento del maíz siguiente**. Para ello se realizó un ensayo de distintas coberturas invernales, seguidas por maíz tardío sin fertilización nitrogenada.

METODOLOGÍA

Diseño experimental

En la campaña 2017-18 se realizó un ensayo evaluando distintos cultivos de cobertura en tres localidades: Uranga (Santa Fe), Urquiza y Salto (Buenos Aires). Las fechas de siembra de las coberturas fueron el 29 de mayo en Uranga, el 1 de junio en Urquiza y 2 de junio en Salto. En los tres casos el antecesor fue trigo/soja. Se incluyeron 8 tratamientos: **1)** barbecho (sin cultivo invernal), **2)** Trébol Subterráneo (*Trifolium subterraneum*), **3)** Trébol Persa (*Trifolium resupinatum*), **4)** Trébol Balansa (*Trifolium michelianum*), **5)** Trébol Rojo (*Trifolium pratense*), **6)** Vicia (*Vicia villosa*), **7)** Vicia y Avena (*Avena sativa*) o Cebada (*Hordeum vulgare*), **8)** Vicia, Trébol rojo, Avena o Cebada y Nabo forrajero (*Brassica rapa*). Para sembrar la mezcla (tratamiento 8), se colocaron las semillas de vicia y gramínea en el cajón principal de la sembradora y las de trébol y nabo en el cajón alfalfero. En Uranga, la gramínea utilizada en los tratamientos 7 y 8 fue cebada, a diferencia de los otros dos establecimientos donde se utilizó avena. Las parcelas experimentales fueron de 0,5ha por cada tratamiento, con un largo y ancho diferente en cada establecimiento según el tamaño del lote y el ancho de labor de la sembradora.

Todas las coberturas se fertilizaron a la siembra con fósforo, en Uranga se aplicaron 10 kg ha⁻¹ de P como MAP (10% N, 48% P₂O₅), en Urquiza 16 kg ha⁻¹ de P como mezcla (7% N, 40% P₂O₅ y 5% S) y en Salto 5 kg ha⁻¹ de P como SPS (21% P₂O₅ y 12% S). Las semillas de las leguminosas fueron inoculadas al momento de la siembra con las bacterias específicas a cada especie (*Rhizobium leguminosarum* biovar trifoli para tréboles y *Rhizobium leguminosarum* biovar veceae para vicia). Todas las coberturas se secaron con herbicidas (2,5 l ha⁻¹ Glifosato, 0,6 l ha⁻¹ 2,4D y 0,5 l ha⁻¹ fluroxipir) el 1 de noviembre en Urquiza, el 17 de noviembre en Salto y el 18 de noviembre en Uranga. En la Tabla 3.3.1 se incluyen los pesos de 1.000 y kg ha⁻¹ sembrados en cada localidad.

Tabla 3.3.1. Peso del grano (P1000) y densidad de siembra (kg ha⁻¹) en ensayos realizados en la campaña 2017-18 en tres localidades.

Tratamiento	Especie	P1000 (gr)	Urquiza	Salto	Uranga
			Densidad (kg ha ⁻¹)		
2- Trébol Subterráneo	T. subterráneo ¹	7,14	8	8	8
3- Trébol Persa	T. persa ¹	1,32	8	8	8
4- Trébol Balansa	T. balansa ²	0,75	8	8	8
5- Trébol Rojo	T. rojo ²	2,88	12	12	12
6- Vicia	Vicia villosa ²	37,30	22	22	22
7- V+G (Vicia + Gramínea)	Vicia villosa Avena o Cebada	37,30 35 o 44	16 24 ⁴	16 24 ⁴	20 10 ³
8- Mezcla (Leguminosa + Gramínea + Crucífera)	Vicia villosa ² T. rojo ² Avena o Cebada Nabo forrajero ²	37,30 2,88 35 o 44 4,00	10 3 12 ⁴ 5	10 3 12 ⁴ 5	20 3 10 ³ 5

¹ PGG, ² Gentos, ³ Cebada y ⁴ Avena

Luego de secadas las coberturas se sembró maíz tardío el 13 de diciembre en Uranga (Dk6910), el 23 de diciembre en Urquiza (Tj719) y el 22 de diciembre en Salto (Dk7210). Se fertilizó a la siembra con 21 kg ha⁻¹ de P como MAP en las tres localidades. No se aplicó nitrógeno extra para poder evaluar el aporte de N de las distintas coberturas.

Determinaciones

Una vez implantadas las coberturas se realizó un recuento de plantas logradas (plantas m⁻²). Al momento de secado de las coberturas se determinó la materia seca generada, tomando muestras de plantas enteras en una superficie de 1m² por tres repeticiones en cada tratamiento y localidad. Las muestras se secaron en estufa por 48hs a 60 °C.

En el maíz siguiente a las coberturas, se evaluó N-NO₃ en suelo en V6 del maíz. Para ello se tomaron muestras en tres profundidades: 0-20, 20-40 y 40-60cm. A madurez fisiológica se tomaron muestras de grano (2 surcos de 5m lineales en cada tratamiento) para determinar peso de 1000 granos. A cosecha se determinó el rendimiento del maíz en cada antecesor. En Salto y Urquiza se hizo mediante peso directo con tolva a campo. En Uranga se estimó el rendimiento por medio de mapas de rinde.

Análisis de datos

Se obtuvieron promedios generales por tratamiento y localidad del número de plantas logradas y la producción de MS. Dentro de cada localidad se compararon las medias de cada tratamiento por test de LSD Fisher para detectar diferencias significativas (p < 0,05). En N suelo se relativizó al N del barbecho en cada localidad (0), de manera que valores positivos indican aporte de N en ese

antecesor y valores negativos pérdidas de N en relación al barbecho. El rendimiento y P1000 del maíz se comparó en cada tratamiento y localidad.

RESULTADOS

Ciclo de crecimiento y clima

Los períodos de crecimiento (entre siembra y secado) de los cultivos de cobertura variaron entre localidades, al igual que las lluvias ocurridas (Figura 3.3.1). En Urquiza el período de siembra a secado fue de 153 días, en Salto de 168 días y en Uranga de 173 días. Al momento de secado todas las especies estaban en estado reproductivo, de los tréboles el más precoz fue el balansa que inició la floración muy temprano y detuvo su crecimiento hacia mediados de octubre. Los demás tréboles estaban en plena floración y acumulación de MS al momento de secado. La vicia también estaba en plena floración y la avena en llenado del grano.

Durante el ciclo de crecimiento de las coberturas las precipitaciones acumuladas fueron de 318 mm en Urquiza, 371 mm en Salto y 391 mm en Uranga. Las menores lluvias ocurridas durante los dos últimos meses en Urquiza y el anticipo en 15 días en el secado explicaron las diferencias en los ciclos de las coberturas y las precipitaciones acumuladas con respecto a las otras dos localidades. Estas precipitaciones fueron suficientes para los cultivos de cobertura, ya que además tenemos que considerar que se venía de un otoño muy húmedo por lo que los perfiles de suelo estaban con muy buena disponibilidad de agua.

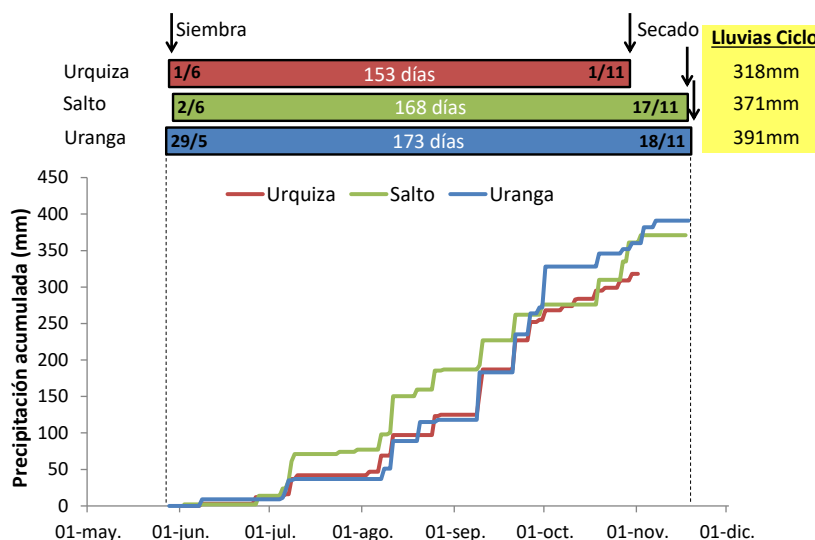


Figura 3.3.1. Precipitaciones acumuladas (mm) desde la siembra al momento de secado en las tres localidades (Urquiza, Salto y Uranga). Las barras superiores muestran los ciclos de los cultivos de cobertura con la fecha de siembra y secado. En el recuadro amarillo se indica la precipitación acumulada total en cada localidad.

Las lluvias durante los ciclos de los maíces fueron muy escasas, especialmente durante el período crítico de generación del rendimiento (floración \pm 15 días). Desde la siembra a madurez fisiológica llovieron 280 mm en Urquiza, 171mm en Salto y 288mm en Uranga (Figura 3.3.2). Fue especialmente seco el año en Uranga, donde sólo llovieron 6mm durante el período crítico.

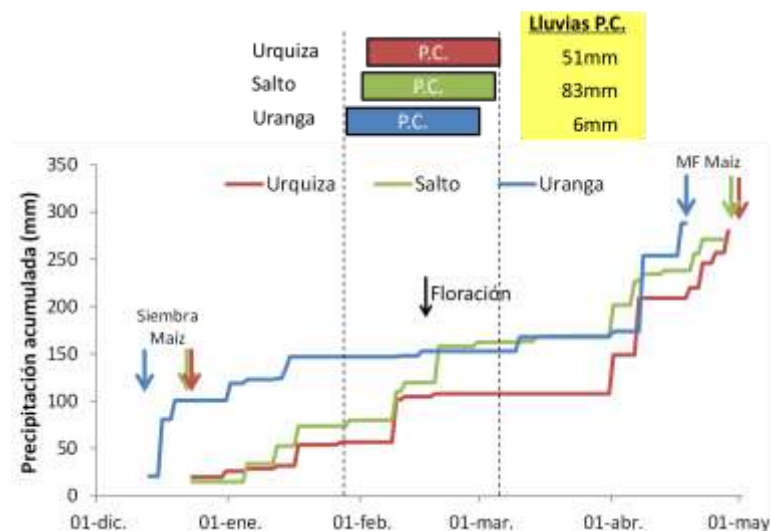


Figura 3.3.2. Precipitaciones acumuladas (mm) desde la siembra a madurez fisiológica del maíz en las tres localidades (Urquiza, Salto y Uranga). Las barras superiores muestran la ubicación de los períodos críticos (PC) para la generación del rendimiento. En el recuadro amarillo se indica la precipitación acumulada durante el PC.

Implantación de las coberturas

En las tres localidades, se logró un muy bajo stand de plantas de trébol subterráneo y balansa (Tabla 3.3.2). En ambas especies en promedio se lograron menos de 40 plantas m^{-2} , cuando se apuntaba a lograr más de 100 plantas m^{-2} . Seguramente estos tréboles sean más sensibles a bajas temperaturas y a implantaciones con alto nivel de rastrojo (condiciones ocurridas a la siembra y poco recomendadas para la implantación de tréboles). El trébol persa logró un buen stand de plantas (cerca de 150 plantas m^{-2}) acorde a lo que se esperaba establecer por la cantidad de semilla sembrada. Además, presentó un crecimiento inicial más rápido que los otros tréboles. El trébol rojo estuvo por debajo en la cantidad de plantas logradas. A pesar de ello, logró en promedio un stand de 100 plantas m^{-2} .

La implantación de vicia tanto pura como en consociada fue muy buena con un crecimiento inicial más rápido que las demás leguminosas. En las mezclas que la incluyeron (tratamientos 7 y 8) logró menos stand de plantas debido a la proporción de semillas de vicia en la mezcla (ver Tabla 3.3.1). Esto no ocurrió en Uranga debido a que el tratamiento 7 y 8 tuvieron igual cantidad de vicia y cebada, manteniéndose en ambos tratamientos similar cantidad de plantas logradas.

Tabla 3.3.2. Plantas logradas en tres ensayos realizados en la campaña 2017-18. Se incluyen los promedios de las tres localidades en cada tratamiento, salvo en los tratamientos 7 y 8 que no consideraron a Uranga.

Tratamiento	Especie	Plantas Logradas (pl m^{-2})			Promedio
		Urquiza	Salto	Uranga	
2- Trébol Subterráneo	T. subterráneo ¹	26	49	35	37
3- Trébol Persa	T. persa ¹	113	174	136	143
4- Trébol Balansa	T. balansa ²	37	38	24	38
5- Trébol Rojo	T. rojo ²	92	143	145	117
6- Vicia	Vicia villosa ²	46	42	69	44
7- V+G (Vicia + Gramínea)	Vicia villosa	21	42	37	32
	Avena o Cebada	48 ³	39 ³	17 ⁴	43
8- Mezcla (Leguminosa + Gramínea + Crucífera)	Vicia villosa ²	18	17	36	18
	T. rojo ²	43	26	23	34
	Avena o Cebada	13 ³	30 ³	25 ⁴	22
	Nabo forrajero ²	6	9	2	7

¹ PGG, ² Gentos, ³ Avena y ⁴ Cebada

Producción de Materia Seca

La producción de materia seca fue diferente entre localidades, presentando Urquiza la menor producción para casi la mayoría de las especies (Figura 3.3.3). El anticipo en 15 días en el secado en este establecimiento sumado a la menor disponibilidad de agua al final del ciclo (Figura 3.1) podrían ser las posibles causas, ya que la máxima acumulación de MS en estas coberturas ocurre en plena floración, momento cuando se interrumpió el ciclo.

De los tréboles, el persa y rojo fueron los de mayor producción de MS para las tres localidades, con valores similares a los obtenidos en vicia y sus mezclas (cerca de 8.000 kg ha⁻¹) mientras que el trébol balansa fue el de menor producción de MS para las tres localidades (< 5.000 kg ha⁻¹). El trébol persa se destacó en Uranga, con 11.000 kg ha⁻¹ de MS en promedio. Las consociaciones con vicia tendieron a tener mayor producción de MS en Urquiza y Salto respecto de la vicia pura, con diferencias significativas sólo en Urquiza. En Uranga las mezclas con vicia tuvieron menor producción de MS que la vicia pura, seguramente por la menor proporción de gramíneas que tuvieron esos tratamientos en este establecimiento.

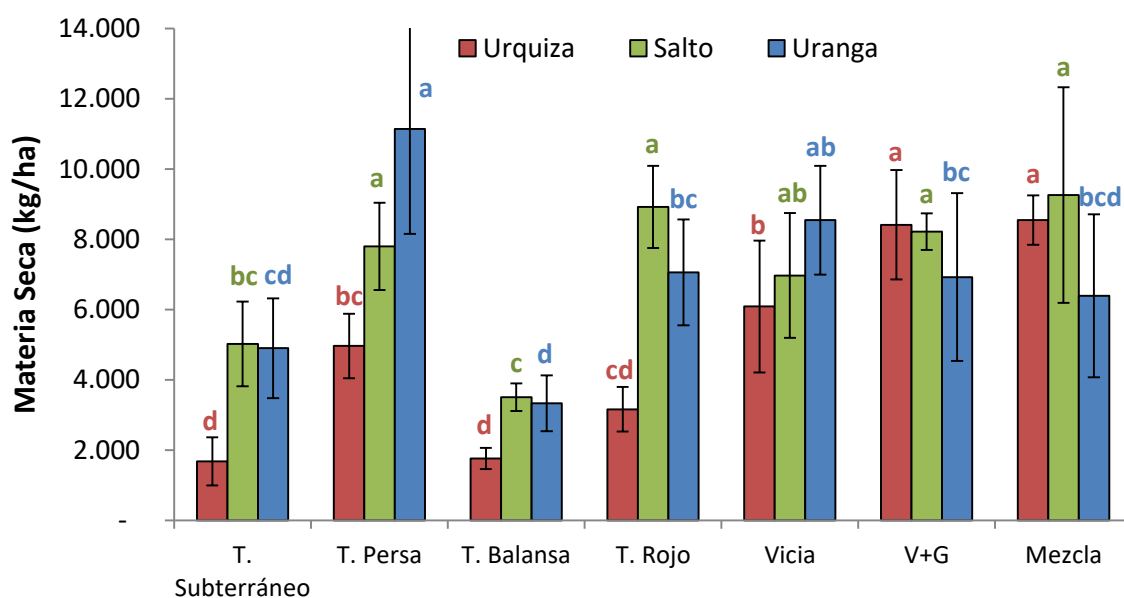


Figura 3.3.3. Materia seca (kg ha⁻¹) en cada tratamiento evaluado en tres localidades (Urquiza, Salto y Uranga). Las barras de error muestran el desvío estándar (n=3). V+G (vicia y gramínea), Mezcla (vicia, trébol, gramínea y crucífera). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD Fisher; p < 0,05)

Nitrógeno en suelo

Los niveles más altos de N en suelo se observaron en las secuencias con vicia pura en las tres localidades (98 kg ha⁻¹ N a 0-60cm; Figura 3.3.4). En este tratamiento, en promedio hubo 37% más de N que en el barbecho. En las mezclas que incluyeron vicia, los niveles de N fueron levemente inferiores a la vicia pura en Urquiza y Uranga. En Salto cayeron notablemente, seguramente asociado a la emergencia de avena en la línea de siembra del maíz, generando un mayor consumo de N (ver ítem “CC como malezas del maíz” en observaciones a campo). Entre los tréboles, se destacó el persa en Urquiza y Salto, y el rojo en Salto y Uranga, con valores similares a los obtenidos en vicia pura. Fue llamativo que el trébol balansa y subterráneo en Salto y Uranga tuvieron menor N que el barbecho, haciendo suponer que la nodulación pudo ser escasa y pudieron consumir N del suelo para su crecimiento.

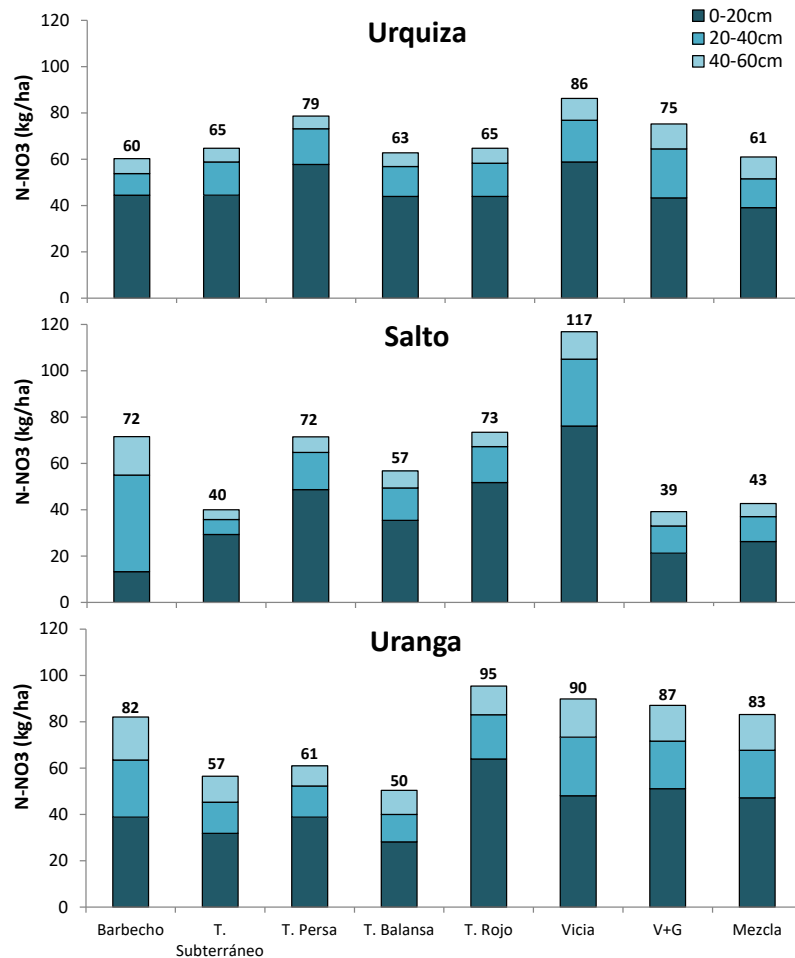


Figura 3.3.4. Nitrógeno de nitratos (kg ha^{-1}) del suelo medido en V6 del maíz en cada tratamiento evaluado en tres localidades (Urquiza, Salto y Uranga). Se muestra el desglose de las tres profundidades evaluadas (0-20cm, 20-40cm y 40-60cm) y el total (0-60cm) en números arriba de las barras.

Para tener una mejor visualización de la información, se calculó el diferencial de N de cada tratamiento en cada localidad con respecto al barbecho (100%; Figura 3.3.5). La vicia pura tuvo las mayores diferenciales, con valores positivos en las tres localidades (de 10 a 63 % más de N que el barbecho), seguida de trébol rojo con valores positivos en los tres sitios pero con un rango menor de N (de 3 a 16 % más de N que el barbecho). Se destacaron el trébol balansa y subterráneo con los valores más negativos en Salto y Uranga, indicando pérdida de N respecto al barbecho. Resulta extraño el valor negativo de diferencial de N en el trébol persa en Uranga, en este sitio produjo la mayor producción de MS, por lo que se podría suponer que el N fijado no alcanzó y debió consumir N del suelo.

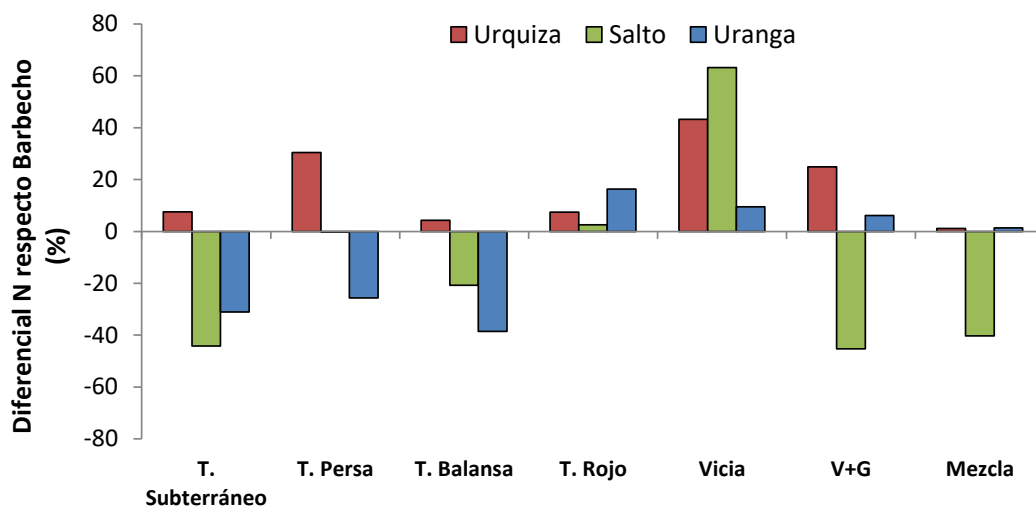


Figura 3.3.5. Diferencial de N de cada tratamiento respecto al barbecho (100%) en cada localidad. Valores positivos indican ganancia de N, valores N reducción de N respecto del barbecho.

Rendimiento y Peso del Grano del maíz

Los rendimientos de los barbechos fueron bajos debido a las escasas precipitaciones de la campaña estival (4.147 kg ha^{-1} en Urquiza, 3.051 kg ha^{-1} en Salto y 3.142 kg ha^{-1} en Uranga). Al calcular los diferenciales de rinde de cada tratamiento respecto del barbecho, los maíces anteceditos por vicia tuvieron las mayores ganancias (32 a 140%; Figura 3.3.6). De los tréboles se destacó el trébol balansa que genero ganancias de rinde en las tres localidades, seguramente explicado por la menor duración del ciclo y el como consecuencia un menor consumo de agua. Por el contrario, el trébol rojo generó importantes pérdidas de rendimiento en las tres localidades, como consecuencia de un mayor consumo de agua ya que sobrevivió durante todo el ciclo del maíz. En Urquiza y Salto, las mezclas con vicia generaron ganancias de rendimiento respecto de los barbechos, pero no fueron tan importantes como con vicia pura.

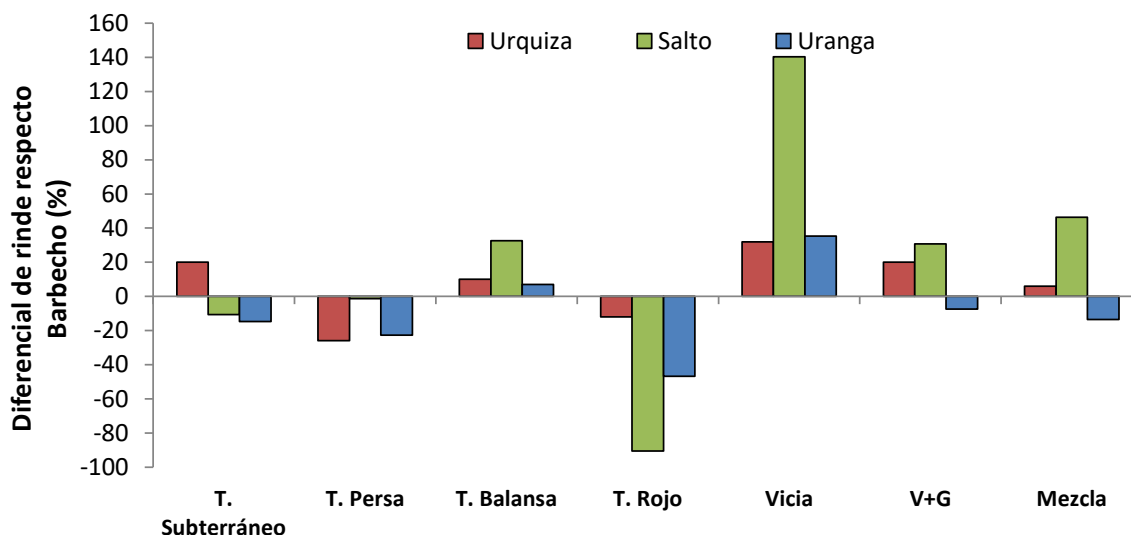


Figura 3.3.6. Diferencial de rinde del maíz de cada tratamiento respecto al barbecho (100%) en cada localidad. Valores positivos indican ganancia de rinde, valores N reducción de rinde respecto del barbecho.

El peso de mil granos tuvo algún cambio entre tratamientos (Figura 3.3.7). Los mayores pesos se lograron en los maíces con antecesor vicia y en el trébol persa. A excepción de Salto, las otras localidades tuvieron menores pesos de grano cuando se realizó barbecho.

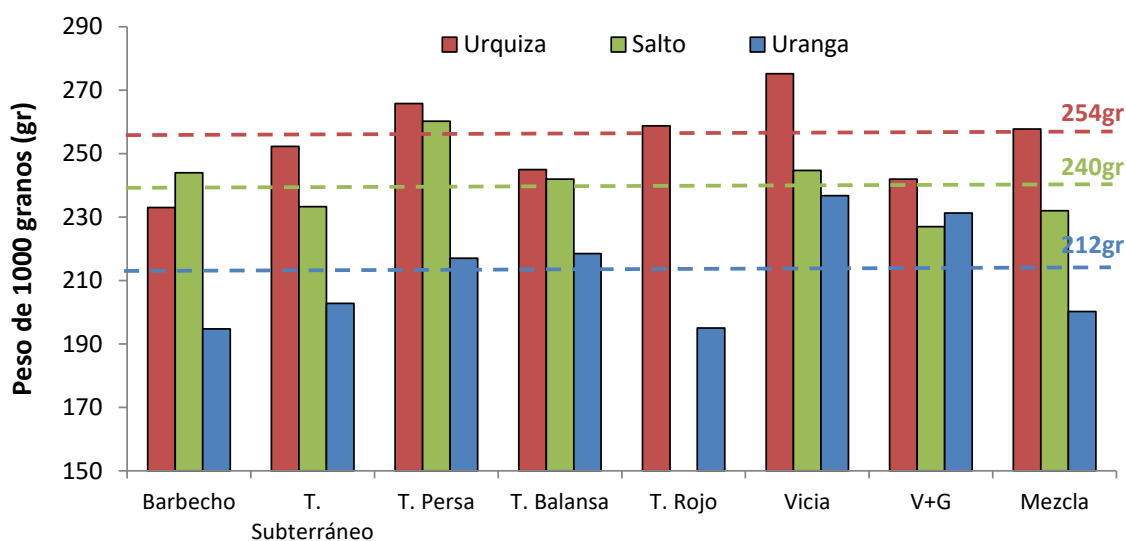


Figura 3.3.7. Peso del grano (gr) del maíz en cada tratamiento evaluado en tres localidades (Urquiza, Salto y Uranga). Las líneas punteadas horizontales muestran los promedios de cada localidad.

CONCLUSIONES

A continuación se presentan algunas conclusiones preliminares. Es importante resaltar que estos resultados provienen de un solo año de datos y que se podrían llegar a conclusiones más robustas si podríamos replicar estos experimentos en más campañas.

- ✓ La **vicia pura** sigue siendo la mejor alternativa para intensificar con cultivos de cobertura previo a una gramínea estival (alto aporte de MS y N generando un mayor rendimiento de maíz). Si bien los datos se basan en un solo año de experimentación, por el momento no ha surgido una mejor alternativa a esta cobertura. De todas maneras, resulta crucial contar con otros cultivos de cobertura para rotar con vicia ante eventuales apariciones de enfermedades.
- ✓ De los cuatro tréboles evaluados se destacaron el **persa** y el **rojo** por su mejor implantación, alto aporte de MS y N al sistema. Como aspectos negativos se encontró un bajo rendimiento de los maíces sembrados posteriormente.
- ✓ El **trébol balansa** presentó un mal comportamiento en producción de MS, además de no mejorar el N del suelo ni tener un buen control de las malezas. Por otro lado, su ciclo fue muy corto, floreciendo mucho antes que los demás tréboles y frenando su producción de MS hacia el final del período. Esto generó una ventaja en el rinde del maíz siguiente debido a las escasas precipitaciones ocurridas para esa campaña en las tres localidades.
- ✓ Las **consociaciones con vicia** (tratamientos 7 y 8) evaluadas en este ensayo no mejoraron significativamente la producción de MS, el aporte de N ni el rendimiento del maíz en comparación con la vicia pura. El establecimiento del trébol rojo y nabo forrajero en el tratamiento 8 fue muy pobre en las tres localidades.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez C.; A. Quiroga; D. Santos y M. Bodrero. 2013. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Eds: Alvarez C.; A. Quiroga; D. Santos y M. Bodrero. INTA EEA Anguil. 198 páginas.
- Baigorria T. y C. Cazorla. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. 31 de mayo al 4 de junio de 2010.
- Boccolini, M.; B. Aimetta; C. Lorenzon; C. Cazorla; T. Baigorria; B. Conde y V. Faggioli. 2010. Resultados preliminares sobre el efecto de cultivos de cobertura y la fertilización en propiedades del suelo relacionadas al ciclo del nitrógeno. Rosario. 31 de mayo al 4 de junio de 2010.
- Renzi J.P. y M.A. Cantamutto. 2007. Efecto de la densidad de siembra sobre la producción de forraje de *Vicia sativa* L. y *Vicia villosa* Roth. consociada con *Avena sativa* L. Revista Argentina de Producción Animal Vol 27 Supl. 1 (2007).

CAPÍTULO 4

LOTES DE PRODUCCIÓN DE SISTEMAS INTENSIFICADOS

Durante los 9 años de la Chacra Pergamino se generó mucha información sobre el efecto de los sistemas intensificados y el manejo de los cultivos dentro de estos sistemas. Pero para lograr su difusión, es fundamental validar la información generada en una mayor escala (a nivel de lotes de producción), cuantificando las variables de un modo sencillo y rápido para ampliar el conocimiento y ver su factibilidad dentro de los sistemas de producción que actualmente están funcionando.

La información generada en el ensayo de rotaciones sobre la producción de MS del cultivo de cobertura de vicia fue ampliada en un mayor rango de zonas de producción y en varios años (generando un amplio rango de condiciones de crecimiento). Esta información se presenta en el Capítulo 4.1.

La respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz antecedido por vicia también se validó a escala de producción, ampliando las zonas de evaluación y solo cuantificando la respuesta al N con y sin vicia. Esta información se presenta en el Capítulo 4.2.

Por último, se cuantificó el grado de adopción de sistemas intensificados dentro de la Regional Pergamino-Colón. Este análisis surgió como necesidad del grupo de poner números a la intensificación dentro del grupo, como medida futura del avance en la adopción de la tecnología. Esta información se presenta en el Capítulo 4.3.

CAPÍTULO 4.1

RED DE EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE COBERTURA DE VICIA

M.B. Agosti

INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Vicia villosa* de cobertura surgió como una interesante alternativa de intensificación por el aporte de carbono y nitrógeno al suelo, para mejorar la captura de agua en relación a un barbecho descubierto, por su gran competencia con malezas invierno-primaverales, y para mejorar la productividad de los cultivos siguientes en la secuencia.

Sin embargo, su difusión aún es limitada y existe poca información a nivel productiva sobre la variabilidad de ciclos y su capacidad productiva. Para ampliar la información disponible del grupo sobre el uso de *Vicia villosa* como cultivo de cobertura, se recaudó información de lotes de producción en distintos establecimientos de las empresas pertenecientes a la Chacra Pergamino.

En relación a esta temática, los objetivos de la Chacra Pergamino fueron **validar la información generada en las campañas anteriores sobre la producción de materia seca del cultivo de vicia como cultivo de cobertura, antecediendo al maíz; y ampliar la información sobre la producción de materia seca para diferentes fechas de siembra y en distintas zonas** dentro de las abarcadas por los miembros.

METODOLOGÍA

Descripción del experimento

En la campaña 2016-17 se sumaron 13 lotes de producción con *Vicia villosa* de cobertura. Los mismos se ubican en distintos establecimientos en la zona de influencia de la Chacra Pergamino. En la Tabla 4.1.1 y Figura 4.1.1 se muestran los sitios donde se realizó vicia en la presente campaña.

Tabla 4.1.1. Establecimientos, localidad y serie de suelo donde se realizó Vicia villosa en la campaña 2016-17.

Establecimientos	Localidad	Lote	Serie Suelo
A- Carmen	Christofersen	12	Santa Ana
		31	Santa Ana
B- San Nicolás	Uranga	20 R1	Peyrano
		20 R4	Peyrano
		36	Peyrano
		15-16	Peyrano
C- La Oración	Salto	5	Arroyo Dulce
		14	Arroyo Dulce
		14	Arroyo Dulce
D- La Matilde	Inés Indart	23 R3	Rojas
		23 L	Rojas
E- Las Polvaredas	Rojas		Arroyo Dulce
F- Las Matreras	Irineo Portela	21	Río Tala

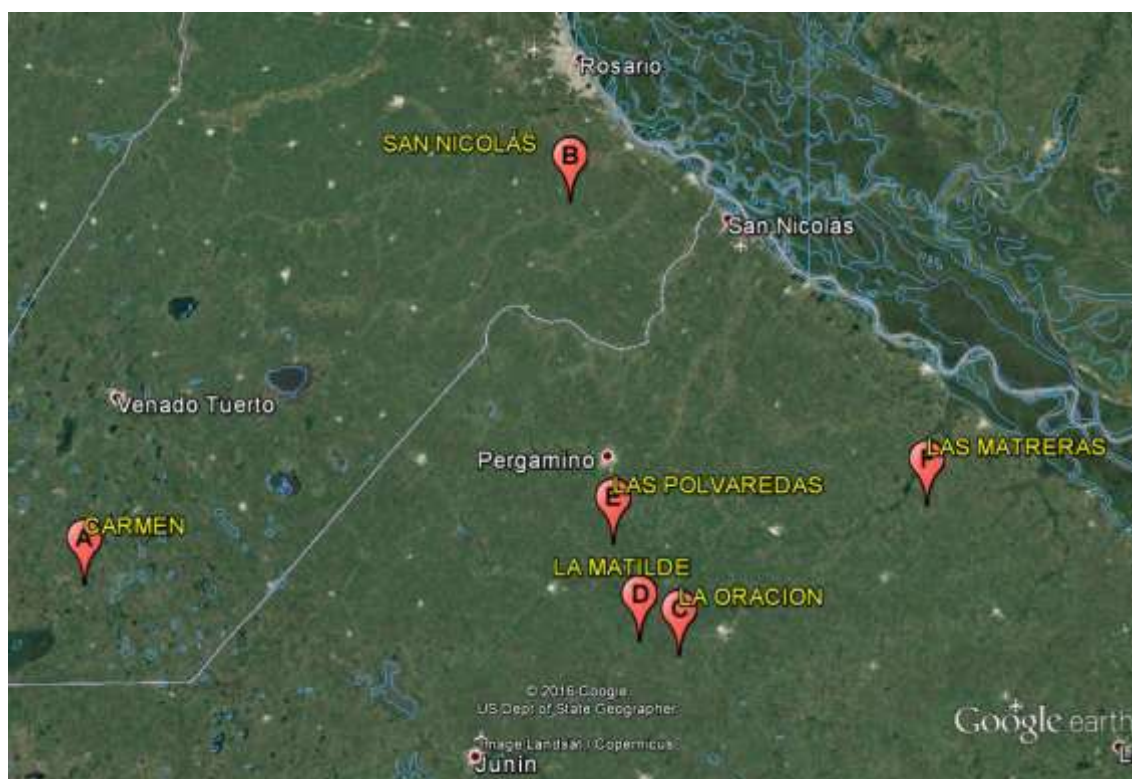


Figura 4.1.1. Ubicación de los sitios experimentales de *Vicia villosa* en la Campaña 2016-17.

El manejo agronómico de cada lote de producción fue el habitualmente realizado por cada establecimiento. En la Tabla 4.2.2 se describen las fechas de siembra y secado, los kg ha^{-1} de semilla utilizados y la fertilización fosforada realizada. Parte del lote 14 de La Oración se consoció con avena y el lote 23L de La Matilde se consoció con trigo.

Tabla 4.4.2. Fecha de siembra y secado, días desde siembra a secado (DDS), densidad de siembra ($\text{kg ha de semilla}^{-1}$) y fertilización fosforada (kg ha P^{-1}) en cada lote y establecimiento.

Establecimiento	Lote	Siembra	Secado	DDS	Densidad ($\text{kg ha de semilla}^{-1}$)	Fósforo (kg ha^{-1})
A- Carmen	12	9-mar.	2-nov.	238	16,4	11,9
	31	5-mar.	14-ago.	162	7	10,4
B- San Nicolás	20 R1	24-may.	18-nov.	178	25	11,8
	20 R4	8-ago.	30-nov.	114	38	0
	36	1-abr.	18-nov.	231	24	11,3
	15-16	19-may.	17-nov.	182	27	11,3
C- La Oración	5	17-jun.	8-nov.	144	14,6	20,1
	14	19-jun.	11-nov.	145	14,6	12,0
	14*	19-jun.	11-nov.	145	14,6	12,0
D- La Matilde	23 R3	31-ago.	24-nov.	85	25	26,1
	23 L*	11-may.	24-nov.	197	25	26,1
E- Las Polvaredas		23-jun.	5-nov.	135	12	20,9
F- Las Matreras	21	18-ago.	22-nov.	96	21,4	10,5

* Lotes donde la vicia se consoció con gramíneas.

Determinaciones

Durante el ciclo del cultivo de vicia se registraron las precipitaciones diarias en cada establecimiento. De manera de poder registrar las lluvias durante el ciclo de vicia (siembra-secado).

Luego de secada la vicia, se extrajeron muestras de cada lote para estimar producción de materia seca. Se recolectaron 3 repeticiones de 2m² en cada tratamiento con vicia. Las muestras fueron llevadas a estufa a 60°C por 48 hs para determinar peso seco y obtener la producción de materia seca (kg ha⁻¹).

RESULTADOS

Los ciclos que exploraron las vicias en la campaña 2016-17 fueron muy diferentes entre lotes debido a la gran variabilidad de fechas de siembras (Figura 4.1.2). Hubo siembras otoñales (de marzo a junio) e invernales (agosto). Se logró establecer el cultivo de vicia dentro de todo el rango de siembras explorado (5 meses), lo que determinó una amplia variabilidad de duraciones de ciclos. Los días de siembra a secado variaron de 85 a 238 días. Esto mostró la gran plasticidad del cultivo para adaptarse a sistemas de producción muy distintos, pudiéndose incluir después de maíz silo, soja de primera y segunda (siembras tempranas), como así también luego de maíces o sorgos de segunda, que liberan los lotes mucho más tarde (siembras tardías).

Establecimiento	Lote	Ciclo	Días S-S
Carmen	12 R5	9 Mar - 2 Nov	238
San Nicolás	36	1 Abr - 18 Nov	231
San Nicolás	15-16	19 May - 17 Nov	182
San Nicolás	20 R1	24 May - 18 Nov	178
La Matilde	23	11 May - 24 Nov	197
La Oración	5	17 Jun - 8 Nov	144
La Oración	14	19 Jun - 11 Nov	145
Las Polvaredas		23 Jun - 5 Nov	135
San Nicolás	20 R4	8 Ago - 30 Nov	114
La Matilde	23 R3	31 Ago - 24 Nov	85
Las Matreras	21 R5	18 Ago - 22 Nov	96

Figura 4.1.2. Ciclos (siembra-secado) de distintos lotes de vicias sembrados en la campaña 2016-16. Se incluye también la duración en días desde siembra a secado (Días S-S).

Las lluvias durante el ciclo de vicia fueron variables entre establecimientos y entre lotes, debido a la variabilidad de las lluvias como así también por las distintas duraciones de los ciclos. Hubo una fuerte relación positiva entre las lluvias ocurridas durante el ciclo de vicia y la duración del ciclo (Figura 4.1.3). La mayoría de los lotes tuvieron desde la siembra al secado de la vicia entre 190 y 270mm acumulados de lluvias. Sumando muchos más mm los lotes de Carmen (514mm) y San Nicolás (532mm), sembrados en marzo y abril, los cuales tuvieron abundantes precipitaciones al inicio del otoño.

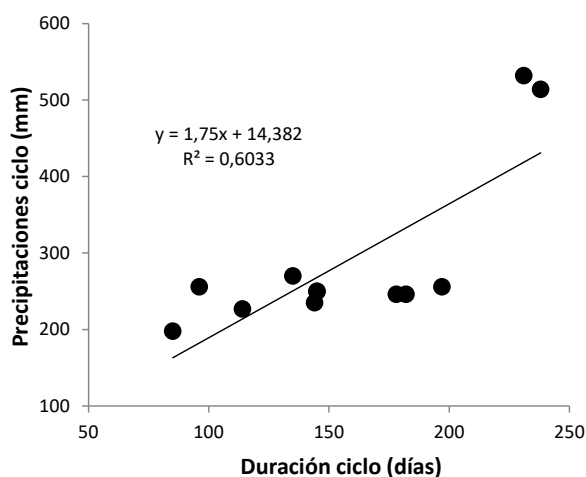


Figura 4.1.3. Relación entre las precipitaciones acumuladas durante el ciclo de vicia (siembra-secado) y la duración del ciclo (días desde siembra a secado). Se incluyen todos los lotes de la Campaña 2016-17.

Incluyendo todos los lotes y establecimientos de la campaña 2016-17, la producción de materia seca estuvo entre 2.000 a 7.000 kg ha⁻¹ (Figura 4.1.4). Las menores producciones de MS correspondieron a los lotes sembrados en primavera (SN16R4, LME16R3 y LMS16R5), cuyos ciclos de crecimiento fueron acotados. Hubo dos lotes con consociaciones de gramíneas, uno con trigo (LME16L23V+T) y otro con avena (LO1616V+A), que en esta campaña no produjeron mucha más materia seca que los lotes sembrados únicamente con vicia. En Carmen, a pesar de haber sido una vicia sembrada temprano y con un ciclo de crecimiento prolongado (238 días), la producción de MS medida fue relativamente baja. Se podría pensar que la baja producción en este caso se debe a que parte de la MS producida se fue descomponiendo durante el ciclo de la cobertura y no fue captada con los muestreos.

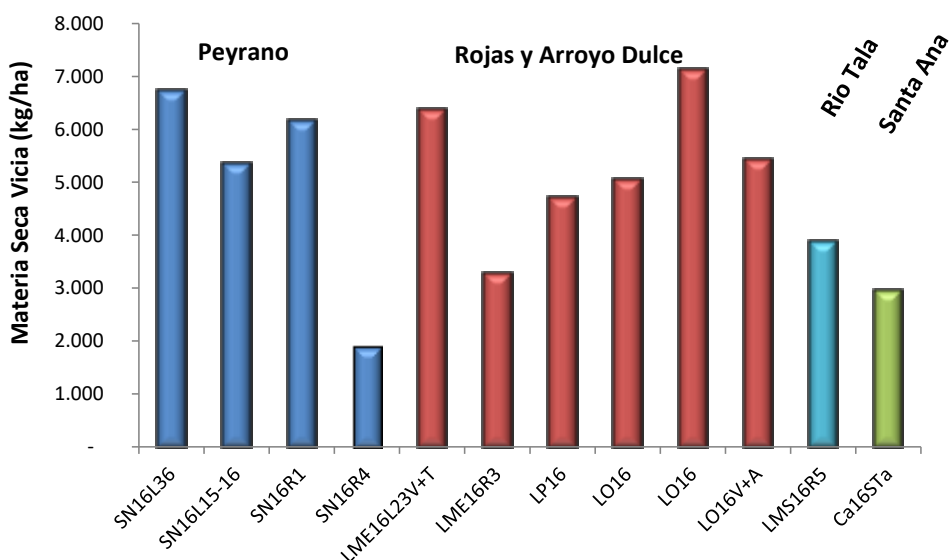


Figura 4.1.4. Producción de materia seca (kg ha⁻¹) de cada lote de la Campaña 2016-17. Los colores diferentes de las columnas indican distintas series de suelo.

Observaciones a campo

En esta campaña, se dieron varias particularidades en los lotes de producción que merecen ser tenidas en cuenta porque algunas pueden abrir futuras líneas de trabajo dentro de la Chacra Pergamino.

Siembras aéreas: hubo dos experiencias de siembras con avión en San Nicolás, en los lotes 36 y 20R4. El lote 36 venía de soja y la siembra de la vicia se realizó en R6, antes de la caída de las hojas de soja (1/4). Es importante destacar que fue una siembra muy exitosa a pesar de la intensa cantidad de lluvia ocurrida a la siembra (en las zonas encharcadas las plantas no prosperaron). Se observó presencia de malezas al inicio del ciclo de la vicia pero la misma fue capaz de competir exitosamente cuando comenzó la etapa de máximo crecimiento. Este establecimiento obtuvo la más alta producción de MS con valores de 6.700 kg ha⁻¹.

Siembra marzo

Resultado muy buena, a pesar de haber tenido abundantes precipitaciones luego de la siembra (297mm en abril). Se generó mucha MS y desde muy temprano.



La siembra del lote 20R4 fue muy tardía y sobre sorgo (8/8) realizada de manera aérea debido a una falta de piso para entrar al lote a causa de las abundantes precipitaciones invernales. Se debió hacer un picado del sorgo luego de la siembra para poder tapar la semilla. La implantación fue lenta, un tanto despereja y los resultados se reflejaron en la poca producción de MS (1.900 kg ha⁻¹) comparada con otras vicias sembradas en igual fecha con sembradora (LMs 3.900 kg ha⁻¹, LMe 3.300 kg ha⁻¹).

Siembra agosto

Tuvo el inconveniente que después de la siembra, no llovió por tres semanas, con lo cual se demoró mucho la emergencia. Fue muy importante haber pasado con una cortadora para tapar la semilla con el rastrojo de sorgo, sino se hubiese dificultado aún más la emergencia.

De todos modos, se produjo buena cantidad de MS ya que se seco lo más tarde que se pudo (30/11).



Pareciera ser que la siembra aérea de vicia es muy buena alternativa para lotes que vienen de soja de 1° o 2°, para adelantar la siembra antes de la cosecha de la soja. Como no se realizó ninguna aplicación de herbicidas pre siembra de la vicia, se deberá considerar que el nivel de malezas del lote no sea tan elevado como para permitir una baja competencia inicial que le permita un buen establecimiento a la vicia. Esta estrategia podría ser muy interesante para establecimientos que siguen realizando maíces tempranos, donde la siembra aérea temprana permitiría adelantar el secado resignando menos MS que con siembras más tardías.

Inoculación: este año tuvimos el caso de un lote de vicia sin inocular (LP) en el cual nunca se había sembrado vicia o arveja. Si bien las raíces presentaron nódulos, la falta de inoculación causó un efecto negativo ya que produjo menos MS (4.700 kg ha^{-1}) que campos cercanos con siembras similares pero inoculadas (lote 14 LO 7.100 kg ha^{-1}). Por el bajo costo que implica, la inoculación de la vicia en lotes sin historia de vicia o arveja, se recomienda como practica para asegurar una buena producción de MS.



Movimiento de rastrojo de vicia: nuevamente esta campaña, luego de secada la vicia hubo abundantes lluvias que generaron un importante corrimiento de rastrojo en campos con pendiente como San Nicolás. Al igual que hace dos campañas donde ocurrió algo similar, surge como alternativa interesante la consociación de vicia con alguna gramíneas que permita un mejor anclaje de las plantas luego de secadas. Esta ventaja de la consociación con gramíneas se observó esta campaña en

el lote 20R4 de San Nicolás, donde la presencia del rastrojo del sorgo anterior favoreció el anclaje reduciendo el movimiento de la vicia.



Integración de resultados

Si se integran todos los lotes y campañas en los que se tiene información de lotes de producción dentro de la Red de Vicia ($n=26$), se pueden establecer algunas relaciones que permiten explicar los cambios en la producción de MS. La duración del ciclo explicó parte de la variación con una relación polinómica (Figura 4.1.5), donde las mayores producciones se obtuvieron entre 120 y 220 días desde siembra a secado. Duraciones menores determinaron caídas de la MS por menor tiempo de acumulación de biomasa, mientras que la caída ocurrida a en los ciclos más largos puede estar asociada a una menor cuantificación debido a la descomposición de parte del rastrojo.

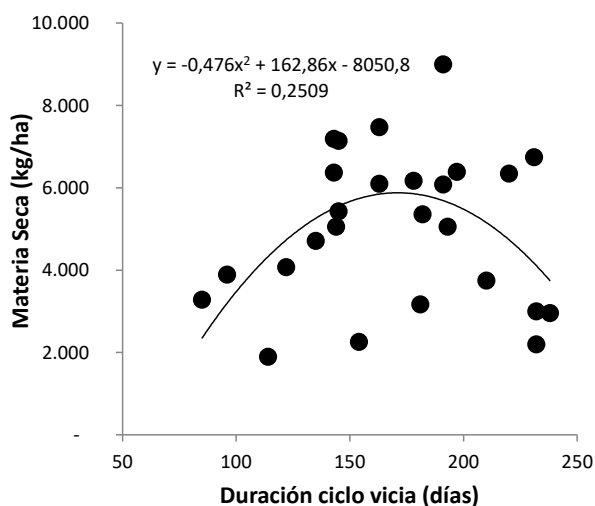


Figura 4.1.5. Relación entre la producción de materia seca (kg ha^{-1}) y la duración del ciclo de vicia (días desde siembra a secado). Se incluyen todos los lotes de las Campañas 2012-13, 2013-14, 2014-15, 2015-16 y 2016-17 ($n=26$).

Tanto la fecha de siembra como la de secado se asociaron con la MS (Figura 4.1.6). La fecha de siembra mostró una respuesta similar a la duración del ciclo, con máximos de MS en siembras de mediados de abril a fines de junio (Figura 4.1.6. A), ya que el momento de siembra determina fuertemente la duración del ciclo. Las caídas en MS en las siembras tempranas pueden estar asociadas a mayor tiempo para descomponerse la MS generada al inicio del ciclo, no pudiendo cuantificarse al momento de muestreo de la MS (luego del secado químico). La fecha de secado se

asoció linealmente con la MS, con aumentos de producción en la medida que se retrasó el momento de secado (Figura 4.1.6 B). Solo se escaparon de la relación las siembras primaverales, ya que por más que se retrasó el momento de secado, no fue suficiente para compensar el gran atraso en siembra.

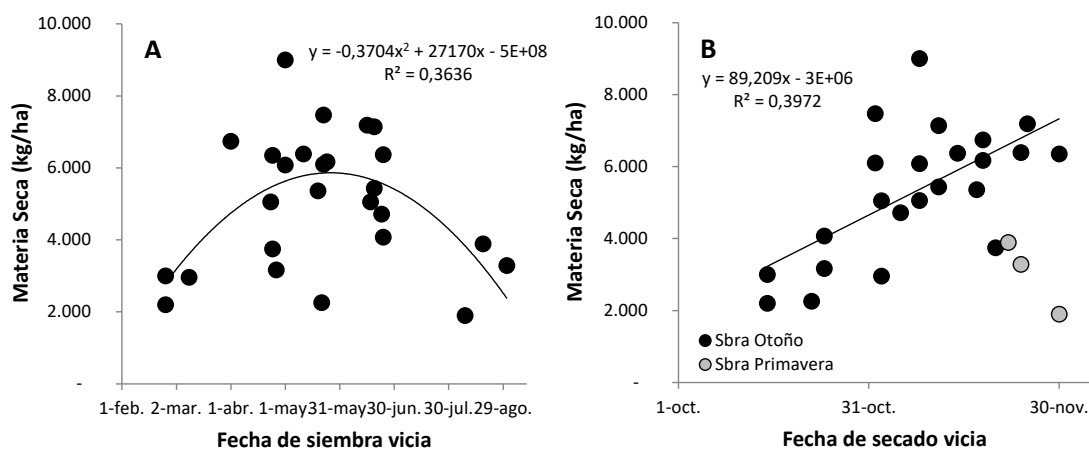


Figura 4.1.6. Relación entre la producción de materia seca (kg ha^{-1}) y la fecha de siembra de vicia (A) y la fecha de secado (B). Se incluyen todos los lotes de las Campañas 2012-13, 2013-14, 2014-15, 2015-16 y 2016-17 ($n=26$).

CONCLUSIONES

- ✓ El cultivo de vicia presenta una **gran plasticidad** permitiendo la siembra del mismo desde marzo (antecesor maíz para silo o soja) a agosto (antecesor maíz 2° o sorgo 2°) en sistemas de producción muy diferentes.
- ✓ Con **siembras otoñales** se produjo la mayor producción de MS: entre 4.700 y 6.700 kg ha^{-1} , dependiendo de la zona.
- ✓ En **siembras casi primaverales** (agosto), la producción de MS se reduce, pero retrasando el secado a fines de noviembre, se puede lograr entre 2.000 y 4.000 kg de MS ha^{-1} , con tan sólo 3 meses y medio de ciclo de crecimiento.
- ✓ La **producción de MS se maximizó** con duraciones de ciclos de 120 a 220 días desde siembra a secado, con siembras entre mediados de abril y fines de junio, y con fechas de secado tardías (fines de noviembre).

CAPÍTULO 4.2

RESPUESTA DEL MAÍZ AL N CON ANTECESOR DE VICIA

M.B. Agosti

INTRODUCCIÓN

En el Capítulo 3.1 se mostró información generada en ensayos en parcelas sobre la respuesta a la fertilización nitrogenada del maíz con distintos antecesores, incluyendo vicia. La información generada para el antecesor vicia fue de mucha relevancia para el grupo, porque abre la posibilidad de hacer maíz tardío luego de una vicia sin necesidad de aplicar N, lo que implica un ahorro importante de costos. Sin embargo, surgió la necesidad de hacer una validación a campo de esa información, incluyendo más años y otras zonas.

En relación a esta temática, el objetivo de la Chacra Pergamino fue **validar la información generada en parcelas sobre la no respuesta del maíz al N con antecesor vicia**. Para ello se recopiló información de lotes de producción de vicia en distintas campañas y zonas, y se evaluó el efecto en rinde del maíz con y sin agregado de N.

METODOLOGÍA

Se recopiló información de lotes de producción de respuesta la fertilización nitrogenada de maíces antecedidos por vicia. Se utilizaron lotes de producción dentro de la Regional Pergamino-Colon de AAPRESID, incluyendo casos con y sin fertilización nitrogenada, en las campañas 2016-17 y 2017-18. Las situaciones incluidas fueron seis lotes: uno del establecimiento Las Polvaredas (Rojas) y tres de La Oración (Salto). Se registró la MS generada por la vicia (kg MS ha^{-1}), el N del suelo a la siembra del maíz (N-NO_3 a 0-60cm), el N aplicado por fertilización en N_0 y N_1 (kg ha^{-1}) y el rendimiento obtenido en tratamientos N_0 y N_1 . En la Tabla 4.2.1 se resume el manejo agronómico de las vicias y maíces siguientes. En todos los casos se evaluaron dos niveles de N: N_0 (solo agregando algo de N con la fuente fosforada) y N_1 (fertilizando con distintos niveles de N según lo que había en el suelo en cada campo). Según el establecimientos cambiaron las fuentes de N utilizadas (solmix o urea), pero en la tabla 3.2 se incluyen los kg N ha^{-1} aplicados en ambas situaciones.

Tabla 4.2.1. Manejo agronómico de las vicias y maíces siguientes en los diferentes lotes de producción durante la campaña 2016-17 y 2017-18. Se incluyen los kg N ha^{-1} aplicado en los tratamientos N_0 y N_1 .

Establecimiento	Vicia		Genotipo	Maíz 2°	
	F. Siembra	F. Secado		N_0 (kg ha^{-1})	N_1 (kg ha^{-1})
Las Polvaredas L1	23/06/16	05/11/16	Ax7822	7	63
La Oración L14 V	19/06/16	11/11/16	Dk7210	11	97
La Oración L5 V	17/06/16	08/11/16	Dk7210	11	194
Las Matreras R5	18/08/16	22/11/16	LT719	10	94
San Nicolás R4	08/08/16	10/11/16	Dk7310	9	116
Los Nogales L10	25/05/17	16/11/17	Dk7210	10	80

RESULTADOS

Se acoplaron todos los lotes de producción en un gráfico de rendimiento relativo del maíz, donde el 100% fue el tratamiento N_1 , en función de la MS generada por la vicia de cobertura (Figura 4.2.1). Se obtuvo una respuesta bi-lineal del rendimiento de maíz y la MS de vicia. Marcándose un umbral de 4.700 kg ha^{-1} de MS de vicia, a partir del cual no hay respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz.

Por debajo de ese nivel de MS comienza a caer el rendimiento de maíz al no fertilizar. Los valores por arriba del umbral, corresponden a vicias sembradas temprano (junio), con mayor ciclo de crecimiento y producción de MS, donde luego los maíces no respondieron a la fertilización nitrogenada. Esto es similar a lo mostrado en el Capítulo 3.1, donde los maíces atrás de vicia no responden a la fertilización nitrogenada en ningún nivel de aplicación. En las vicias sembradas tarde, con ciclos de 95 a 115 días (vs. ciclos de 135 a 145 días en siembras tempranas) y baja producción de MS, si hubo respuesta a la fertilización, con aumentos del 31 al 42% en los rindes del maíz. Estos corresponden a los puntos de la izquierda de la figura, donde los rindes relativos fueron menores al 100%.

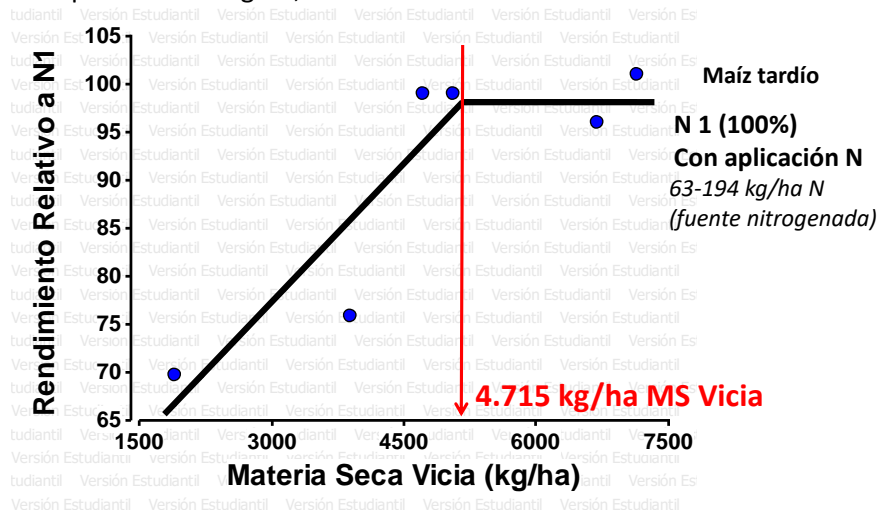


Figura 4.2.1. Rendimiento Relativo del maíz (%) en relación al tratamientos N1 (con aplicación de N) en seis lotes de producción de la Regional Pergamino-Colon de AAPRESID. Campañas 2016-17 y 2017-18.

CONCLUSIONES

- ✓ Es importante **poder lograr al menos 5.000 kg ha⁻¹ de MS de vicia** para prescindir de la fertilización para el maíz siguiente.
- ✓ Esta respuesta fue observada en **maíces de siembras tardía (diciembre)**, por lo que sería necesario evaluar esta respuesta para maíces sembrados temprano (septiembre-octubre).
- ✓ Es fundamental que la producción de MS de la vicia este acompañada por una **buena nodulación** para una buena fijación de N y así asegurar el aporte de N en el sistema.

CAPÍTULO 4.3

INTENSIFICACIÓN EN REGIONAL PERGAMINO-COLÓN

M.B. Agosti

INTRODUCCIÓN

A pesar de estar realizando ensayos de intensificación agrícola desde el año 2011, el nivel de intensificación de algunas empresas de la Regional Pergamino-Colon no es muy alto. La rotación testigo Tr/Sj-Mz-Sj sigue siendo la más frecuentemente utilizada.

Además, estos últimos años surgieron algunas problemáticas dentro de los sistemas de producción que necesitan ser resueltos: creciente presión de malezas, excesos hídricos asociados a ascenso de napa y a ciclos más húmedos, presencia de estructuras laminares y masivas en los primeros centímetros de suelo, entre otras. El impacto negativo de estas problemáticas puede ser reducido con una mayor intensificación de las rotaciones. Entre los beneficios de la intensificación podemos nombrar: competencia de cultivos por malezas (control biológico y menor uso de herbicidas); mayor consumo de agua (reducirá los excesos hídricos en el perfil); mayor aporte de rastrojo y por lo tanto C al sistema (mejorará el aporte de C y la estructura del suelo).

En relación a estas temáticas, el objetivo de la Chacra Pergamino fue **cuantificar el nivel de intensificación de las empresas que participan**. Esta caracterización servirá en el futuro como medida del grado de adopción de la información generada en la Chacra Pergamino.

METODOLOGÍA

Se realizó un análisis del nivel de intensificación de las empresas que participan de la Regional Pergamino-Colón y otro a nivel del partido de Pergamino. Para el análisis de la Regional, se recopiló información de que cultivos se realizaron por lote en las últimas seis campañas en cada establecimiento. Para cada lote se estimó el tiempo de ocupación de cada cultivo (de emergencia a madurez fisiológica). Se tomó como base la información generada en el ensayo de rotaciones de la Chacra Pergamino (Capítulo 2) para establecer las duraciones promedio de ciclos (Tabla 4.3.1.). Luego se estimó el IIR de cada lote sumando los tiempos de ocupación de los distintos cultivos en la rotación y se lo dividió por el tiempo total de la rotación (6 años = 72 meses). Algunos lotes, durante los años evaluados, tuvieron años de pastura, para estos casos se consideró que en esos años los 12 meses estuvieron ocupados con cultivo. Estos lotes fueron incluidos en ciertos análisis mientras que en otros solo se consideraron lotes agrícolas puros en las 6 campañas. Se estimó el IIR de cada establecimiento como el promedio de todos los lotes evaluados. También se determinó el % de gramíneas de cada lote, como el número de gramíneas sobre el número total de cultivos de la rotación. Al igual que el IIR, se calculó el % Gram promedio de cada establecimiento. Para este análisis quedaron excluidos los lotes con pastura.

Tabla 4.3.1. Tiempo de ocupación promedio de cada cultivo (expresado en meses desde emergencia a madurez fisiológica) estimado a partir de datos del ensayo de rotaciones.

Cultivo	Ocupación (meses)
Trigo	4,7
Cebada	4,7
Arveja	3,8
Vicia	4,7
Soja 1°	4,2
Soja 2°	3,7
Maíz 1° Temprano	4,0

Maíz 1° Tardío	4,0
Maíz 2°	4,0

Para el análisis a nivel Partido de Pergamino se tomaron datos de INTA Pergamino (Javier Portillo, comunicación personal) de la superficie ocupada por cultivo en la campaña 2016-17. Esta información surgió del análisis de imágenes de índice verde (NDVI). Se pudo discriminar lotes con soja de 1°, maíz de 1°, maíz tardío y cultivo de 2°. Debido a la presencia de nubosidad en las imágenes al momento de determinar entre cultivos de segunda, no pudo hacerse una distinción precisa entre cultivos estivales, de todo modos se estimó que los cultivos sembrados eran mayormente soja de 2° sobre trigo o en una menor proporción maíz de 2° sobre arveja.

RESULTADOS

Nivel de intensificación de la Regional Pergamino-Colon

Para evaluar la intensificación de la Regional, se utilizó información de 9 establecimientos ubicados en norte de Bs. As., sur de Santa Fe y sur-oeste de Entre Ríos (Figura 4.3.1). Comprenden un total de 14.164ha, de las cuales la mayoría es agrícola (90,5%) y solo una pequeña proporción incluyo pasturas en las últimas seis campañas (Tabla 4.3.2).



Figura 4.3.1. Mapa con la ubicación de cada establecimiento incluido en el análisis de la Regional Pergamino-Colon.

Tabla 4.3.2. Superficie total (ha), ganadera y agrícola, y número de lotes de cada establecimiento evaluado de la Regional Pergamino-Colón.

Establecimiento	Superficie Total (ha)	Sup. Ganadera (ha)	Sup. Agricultura (ha)	N° lotes
A	3.355	-	3.355	36
B	1.124	-	1.124	18
C	1.186	75	1.111	22
D	2.569	1.077	1.492	28
E	119	-	119	2
F	660	104	556	16
G	1.562	-	1.562	19
H	163	-	163	5
I	3.426	87	3.339	59
Total	14.164	1.343	12.821	

Incluyendo sólo los lotes agrícolas durante las últimas seis campañas, el IIR promedio de todos los establecimientos fue de 0,49 (Figura 4.3.2). Valor por encima del que se puede estimar de la rotación testigo (Tr/Sj-Mz-Sj IIR=0,46). Sin embargo, hay establecimientos con IIR muy bajos (0,41-0,44), donde muchos lotes solo incluyen cultivos estivales (sin cultivos invernales). Es en estos establecimientos donde existe una mayor posibilidad de intensificar las rotaciones. En el otro extremo hay establecimientos con IIR muy altos, de 0,63, similares a los máximos alcanzados en las rotaciones evaluadas en el ensayo de rotaciones de la Chacra Pergamino. Incluyendo los lotes con ganadería (1.343 ha en cuatro establecimientos), el IIR promedio asciende a 0,51.

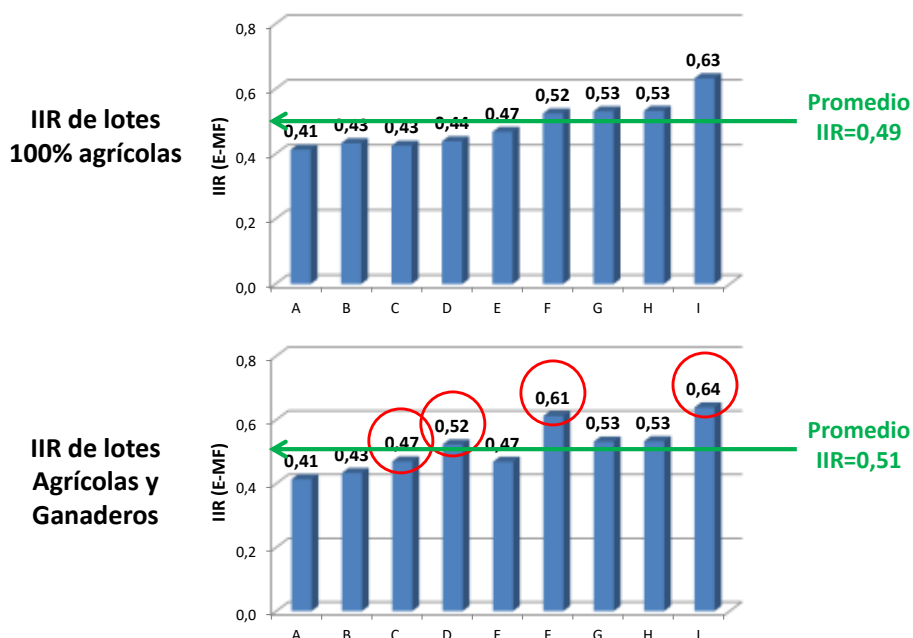


Figura 4.3.2. Índice de intensificación promedio (IIR en meses/meses desde emergencia a madurez fisiológica) para cada establecimiento de la Regional Pergamino-Colón. La línea verde muestra el promedio general.

Los porcentajes de gramíneas van desde 35% a 50%, con un promedio general de 46% (Figura 4.3.3). Estos valores están todos por debajo de la proporción de gramíneas de la rotación testigo (tr/Sj-Mz-Sj

%Gram=50%). En general asociado a que varios establecimientos con alta intensidad (los ubicados a la derecha del gráfico) realizan legumbres de invierno (arveja, lenteja, garbanzo y vicia).

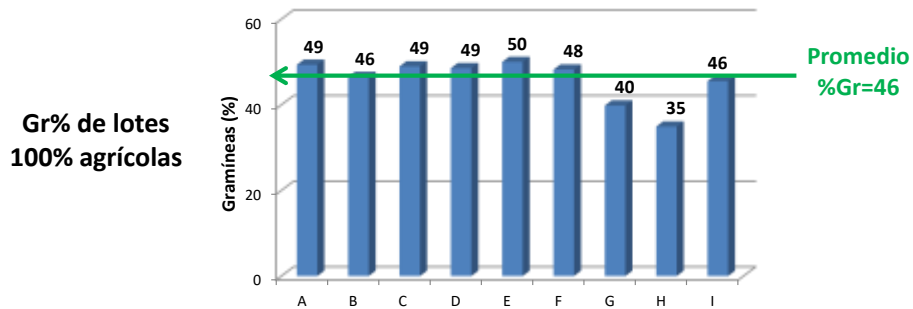


Figura 4.3.3. Porcentaje de gramíneas promedio (Gr%) para cada establecimiento de la Regional Pergamino-Colón. La línea verde muestra el promedio general.

Contrastando con las rotaciones evaluadas en la Chacra Pergamino, los establecimientos evaluados se ubican a la izquierda en el eje de IIR y por debajo en el eje de % de gramíneas (Figura 4.3.4). Los IIR de la Regional van de 0,35 a 0,72 y los % de gramíneas de 30 a 70%. Se observa que a medida que se reduce la intensidad de los lotes, también se reduce la diversidad de las rotaciones, con un rango de % de gramíneas mucho menor.

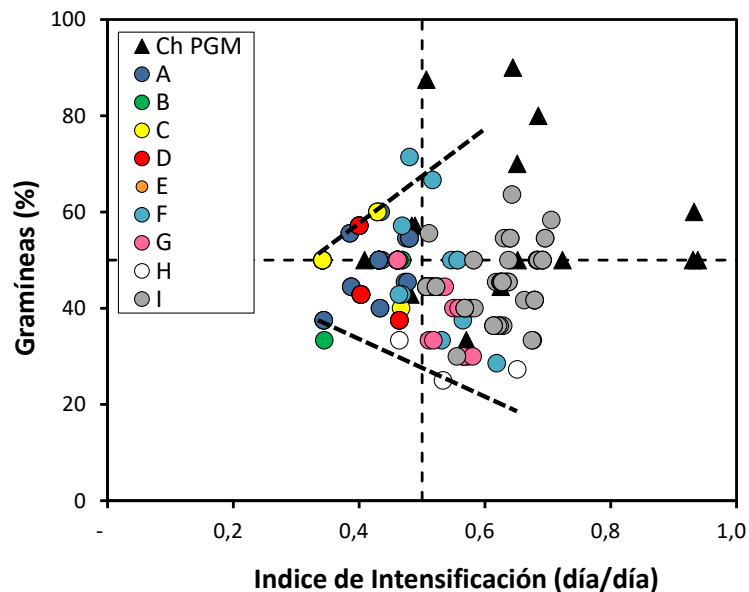


Figura 4.3.4. Caracterización de las rotaciones realizadas en los establecimientos de la Regional Pergamino-Colón (círculos) y en los ensayos de la Chacra Pergamino (triángulos). De cada establecimiento se colocaron todos los lotes.

Nivel de intensificación del Partido de Pergamino

La intensificación de las rotaciones en el partido de Pergamino es mucho menor a la de la Regional Pergamino-Colon. En la Figura 4.3.5 se observa una imagen de NDVI de octubre de 2016, con una altísima proporción en color rojo, indicando zonas sin cultivos durante el invierno. Estas son posibles zonas para intensificar, incluyendo cultivos invernales a la rotación, por lo que el potencial de intensificación en la zona es muy alto.

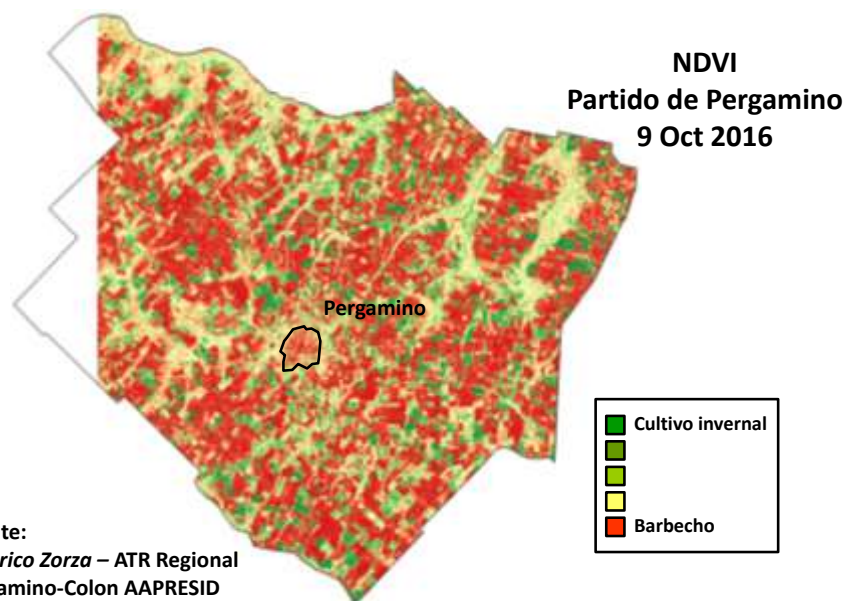


Figura 4.3.5. Imagen de NDVI del partido de Pergamino del 9/10/16. El área en rojo indica campos en barbecho y los distintos tonos de verde con cultivos. Los verdes más intensos corresponden a lotes con trigo, cebada o legumbres de invierno.

Para la misma campaña (2016-17), se analizó la información que genera el INTA Pergamino sobre la superficie ocupada por cultivo dentro del partido (Figura 4.3.6). El 63% de la superficie tuvo soja de primera, el 12% maíz de primera y un 1,5% maíz tardío sobre barbecho (sembrado en diciembre). Para estas tres situaciones podemos estimar el IIR cercano a 0,35. Es decir que un 76% de la superficie agrícola del partido solo tuvo cultivo vivo un tercio del año. Sólo un 23% tuvo dobles cultivos, pudiendo estimar un IIR cercano a 0,68; pero hay que tener en cuenta que los lotes que esta campaña tuvieron dobles cultivos, difícilmente tengan esa misma intensidad en la campaña siguiente.

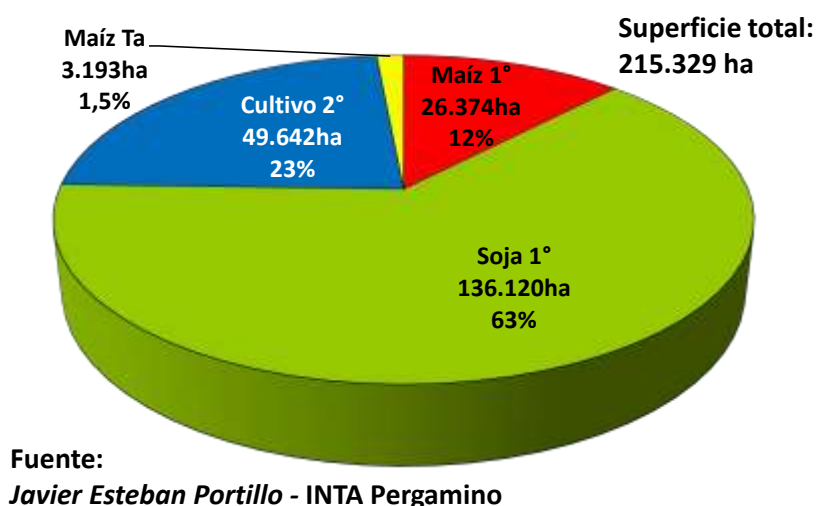


Figura 4.3.6. Distribución de superficie con distintos cultivos en la campaña 2016-17 en el partido de Pergamino (superficie total de 215.329 ha). Soja de 1° en verde, maíz de 1° en rojo, maíz tardío en amarillo y cultivos de 2° en azul (sojas y maíces de 2°).

CONCLUSIONES

- ✓ El partido de Pergamino, ubicado en la zona núcleo pampeana, tiene un enorme **potencial para intensificar las rotaciones agrícolas**.
Por ejemplo, la incorporación de rotaciones como Tr/Sj-Mz-Sj lograría aumentar el nivel de intensificación logrando un mayor tiempo de ocupación. En la actualidad, las rotaciones están dominadas sólo por soja de primera.
- ✓ Las **empresas de la Regional Pergamino-Colón están por encima del promedio zonal de intensificación de sus rotaciones**, pero aún es posible incorporar más cultivos invernales e incrementar el IIR.
- ✓ La **existencia de empresas que tienen IIR promedios de sus rotaciones mayores a 0,53** muestra que es factible incorporar los sistemas intensificados a los actuales modelos de producción.

CAPÍTULO 5

TRANSFERENCIA DEL CONOCIMIENTO

M.B. Agosti

Durante los 9 años que duró el proyecto de trabajo de la Chacra Pergamino, se realizaron diferentes actividades de transferencia, tanto interna (hacia los miembros) como externa (hacia otros técnicos/productores, científicos, alumnos de grado y postgrado, público en general). Las instancias de transferencia fueron tanto a través de charlas en jornadas y congresos, posters en congresos, publicaciones escritas en congresos y revistas, dirección de tesis de grado, etc. A continuación se presenta un detalle de las distintas actividades realizadas, con fecha y lugar.

Presentaciones orales

- Agosti, MB. 2019. ¿Cómo mi posgrado en agronomía potenció mi trabajo en el Sistema Chacras de AAPRESID?. *Expo Postgrado UBA 2019*. Lugar: Bs. As. Fecha: 1 de Noviembre de 2019.
- Agosti, MB. 2019. Efecto de rotaciones y cultivos de servicio. Oportunidad de mejora o problema?. *Congreso Maíz Tardío 2019*. Lugar: Rosario. Fecha: 10 de Octubre de 2019.
- Agosti, MB. 2019. Intensificación Agrícola... ¿cómo afecta la producción, el suelo y el ambiente?. *Sistema Chacras viene a FAUBA*. Bs. As. Fecha: 18 de julio de 2019.
- Agosti, MB. 2019. Sistemas Intensificados Sustentables. *Jornada INTA-AIANBA*. Lugar: INTA Pergamino. Fecha: 27 de Marzo de 2019.
- Agosti, MB. 2019. Chacra Regional AAPRESID Pergamino-Colon. *Reunión NODO Centro AAPRESID*. Lugar: Pergamino. Fecha: 12 de Marzo de 2019.
- Agosti, MB. 2018. Intensificación agrícola con Cultivos de Servicio. *Curso FUNDACREA - AACREA*. Lugar: Bs. As. Fecha: 28 de agosto de 2018.
- Agosti, MB. 2018. Chacra Pergamino. *Sistema Chacras viene a FAUBA*. Lugar: Bs. As. Fecha: 3 de julio de 2018.
- Agosti, MB. 2018. Chacra Pergamino. Intensificación agrícola: claves para una adopción exitosa. *UPA Venado Tuerto – APPRESID*. Lugar: Venado Tuerto. Fecha: 8 de marzo de 2018.
- Agosti, MB. 2017. Intensificación de las rotaciones agrícolas - Chacra Pergamino. *Visita D. Beck*. Lugar: Uranga. Fecha: 7 de diciembre de 2017.
- Agosti, MB. 2017. Intensificación agrícola: claves para una adopción exitosa. *JAT CREA Norte – AACREA*. Bs. As. Lugar: Pergamino. Fecha: 9 de noviembre de 2017.
- Agosti, MB. 2017. Intensificación agrícola: claves para una adopción exitosa. *Jornada AAPRESID*. Lugar: Pergamino. Fecha: 11 de octubre de 2017.
- Agosti, MB. 2017. Intensificación de las rotaciones agrícolas. Chacra Pergamino. *Jornada Agrícola Ganadera UNR*. Lugar: Zavalla. Fecha: 5 de octubre de 2017.
- Agosti, MB. 2017. Intensificación de las rotaciones agrícolas. Chacra Pergamino. *UPA Rosario – AAPRESID*. Lugar: Uranga. Fecha: 7 de julio de 2017.
- Agosti, MB. 2017. Intensificación de las rotaciones agrícolas. Chacra Pergamino. *Jornada Intensificación Agrícola Sustentable*. INTA Oliveros. Lugar: Acebal. Fecha: 26 de abril de 2017
- Agosti, MB. 2016. El hombre en el sistema de producción agrícola. Individuos, equipos motivaciones y nuevas habilidades. Chacra Pergamino – AAPRESID. *Curso FUNDACREA - AACREA*. Lugar: Bs. As. Fecha: 25 de octubre de 2016.
- Agosti, MB. 2016. El rol de la arveja en la intensificación de las rotaciones agrícolas. *3er Jornada Nacional de Legumbres*. Lugar: Rosario. Fecha: 3 de junio de 2016.

Talleres Congreso AAPRESID

- Agosti, MB. 2012. Intensificación de las rotaciones agrícolas, el caso de la Chacra Pergamino. *XX Congreso AAPRESID*. Lugar: Rosario. Fecha: 10 de agosto de 2012.
- Agosti, MB. 2013. ¿Cómo producir más en buenos ambientes?. *XXI Congreso AAPRESID*. Lugar: Rosario. Fecha: 8 de agosto de 2013.
- Agosti, MB. 2014. ¿Se puede intensificar la agricultura y ser más eficiente en el uso de recursos?. *XXII Congreso AAPRESID*. Lugar: Rosario. Fecha: 7 de agosto de 2014.
- Agosti, MB. 2015. La Intensificación agrícola, la productividad y la salud del suelo. *XXIII Congreso AAPRESID*. Lugar: Rosario. Fecha: 7 de agosto de 2015.
- Agosti, MB. 2016. ¿Cómo fertilizar con N los maíces en sistemas intensificados?. *XXIV Congreso AAPRESID*. Lugar: Rosario. Fecha: 3 de agosto de 2016.
- Agosti, MB. 2017. CHACRA PERGAMINO - Intensificación agrícola: claves para una adopción exitosa. *XXV Congreso AAPRESID*. Lugar: Rosario. Fecha: 3 de agosto de 2017.
- Agosti, MB. 2018. Intensificación con cultivos de cobertura. *XXVI Congreso AAPRESID*. Lugar: Córdoba. Fecha: 8 de agosto de 2018.
- Agosti, MB. 2019. 6 campañas intensificando en zona núcleo... ¿cómo afectaron la producción, el suelo y el ambiente?. *XXVII Congreso AAPRESID*. Lugar: Rosario. Fecha: 8 de agosto de 2019.

Publicaciones escritas

- Enrico, J.M.; C.F. Piccinetti, M.R. Barraco, M.B. Agosti, R.P. Ecclesia, F. Salvagiotti. 2020. Biological nitrogen fixation in field pea and vetch, response to inoculation and residual effect on maize in the pampean region. *EJA* 115 (in press).
- Agosti, M.B.; E. de la Fuente, A. Lenardis, F. Oreja, M. Torcat, M. Marzetti, E. Niccia, S. Barberis y J. Robredo. 2019. Impacto de la intensificación y diversificación de las rotaciones sobre la comunidad de malezas y el uso de agroquímicos. *Red de Innovadores AAPRESID* Número 178. Páginas 46-50.
- Agosti, M.B.; Enrico, J.; Kehoe, E.; Salvagiotti, F. 2018. ¿Cómo fertilizar con N maíces de siembra tardía en secuencias con distintos antecesores invernales?. *Red de Innovadores AAPRESID – Revista Técnica de Maíz*. Julio 2018. Páginas 80-86.
- Ruiz, A.; Agosti, M.B.; Accame, M.F.; Coyos, T. 2018. Competitividad de maíces de siembras tardías; impacto del cultivo antecesor y ajuste de la fertilización nitrogenada. *Red de Innovadores AAPRESID – Revista Técnica de Maíz*. Julio 2018.
- Agosti, M.B. y Coyos, T. 2018. En busca de cultivos de servicio alternativos. *Red de Innovadores AAPRESID* Número 163. Páginas 32-37.
- Madias A.; I. Alzueta; M.B. Agosti. 2016. Intensificación agrícola: Vicia como cultivo de cobertura. *Red de Innovadores AAPRESID – Revista Técnica de Cultivos de Invierno*. Abril 2016. Páginas 93-98.
- Agosti M.B.; G.E. Peralta y R. Gil. 2014. El uso de Vicia villosa como cultivo de cobertura en región pampa húmeda: aporte de rastrojo, disponibilidad de N, consumo de agua y eficiencia de barbecho. *Siembra Directa AAPRESID - Revista Técnica Cultivos Invernales*. Abril 2014. Páginas 82-89.

Posters Congresos

- Kehoe E., Agosti M.B., Enrico J., Prieto G. y Salvagiotti F. 2017. Respuesta a la fertilización con N según cultivos invernales previos en una secuencia Maíz tardío-Trigo. *Simposio de Fertilidad 2017*. Fertilizar Asociación Civil. 17 y 28 de Mayo de 2017. Rosario. Argentina.

- Agosti, M.B.; Peralta, G.E. Gil, R. 2014. Vicia villosa como cultivo de cobertura en el sur de Santa Fe. *XXIV Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo*. 5 al 9 de Mayo de 2014. Bahía Blanca. Argentina

Notas diarios/revistas/radio

- Nota radial en radio La Red “La Red Rural”. Febrero 2017.
- Chacra Pergamino: un ejemplo de aprender produciendo. Portal digital Agrofy News. Octubre 2014.
- El entierro de las recetas estrictas. Diario Clarín Rural. Noviembre 2014.

Dirección de tesis de grado de la carrera de Agronomía (UNNOBA)

- Devito, I.A. 2017. Caracterización de la porosidad de aireación bajo diferentes tipos y manejos de suelo en el sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires. Trabajo final para optar por el título de Ingeniero Agrónomo. UNNOBA. 26 de Abril de 2017.
- Buchaca, I. 2016. Caracterización del estado de salud del suelo en situaciones con diferentes manejos agronómicos en la zona de Inés Indart. Trabajo final para optar por el título de Ingeniero Agrónomo. UNNOBA. 22 de Marzo de 2016.

Visitas alumnos de grado de la carrera de Agronomía (UNLZ)

- Marzo 2012: alumnos de la materia Oleaginosas. Docente: Ing. Agr. D. Rondanini
- Abril 2013: alumnos de la materia Oleaginosas. Docente: Ing. Agr. D. Rondanini
- Noviembre 2013: alumnos de la materia Oleaginosas. Docente: Ing. Agr. D. Rondanini
- Abril 2014: alumnos de la materia Oleaginosas. Docente: Ing. Agr. D. Rondanini
- Noviembre 2014: alumnos de la materia Oleaginosas. Docente: Ing. Agr. D. Rondanini

CAPÍTULO 6

INTEGRACIÓN DE RESULTADOS Y PROSPECTIVA

M.B. Agosti

INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

El proyecto de trabajo de la Chacra Pergamino fue evolucionando a medida que fueron surgiendo nuevos interrogantes y respondiendo otros por parte de los miembros del grupo. Esta evolución generó el esquema final de este informe, donde en la primera parte se mostraron los resultados generados en torno al estudio de sistemas intensificados (SI). En una segunda parte los ensayos necesarios para generar información sobre el manejo de ciertos cultivos dentro de los sistemas intensificados. Y por último, los resultados a mayor escala (lotes de producción) y como se estaba adoptando el conocimiento generado dentro de los miembros del grupo.

A continuación se resumen los resultados de más “impacto” para el grupo y para otros técnicos y productores. Este impacto generalmente tiene que ver con mejoras en los márgenes económicos y/o la posibilidad de solucionar problemáticas de una manera sustentable.

- ✓ Los SI generaron más cantidad de grano por superficie, aun cuando se incorporaron cultivos de cobertura.
- ✓ La incorporación de vicia en SI mejoró los rendimientos, el aportes de C y el stock de C del suelo.
- ✓ El consumo de agua y la captura de agua de lluvia fue mayor en los SI, aprovechándose mejor este recurso que en las rotaciones con períodos de barbecho prolongados.
- ✓ La estructura laminar del suelo mejoró en los SI. Sin embargo tendió a incrementar la densidad aparente superficial, seguramente asociado al mayor tránsito de maquinaria y mayor cantidad de grano transportado.
- ✓ Los indicadores biológicos del suelo fueron sensibles a cambios en la intensidad de las rotaciones en un plazo de tiempo menor que otros indicadores clásicos (físicos y químicos).
- ✓ Es posible reducir el uso de herbicidas y la toxicidad de las rotaciones en los SI, reduciendo el impacto ambiental.
- ✓ No es necesario fertilizar con nitrógeno el maíz tardío antecedido por vicia, siempre que se logre una vicia de más de 5.000 kg/ha de MS y bien nodulada.
- ✓ Luego de la cosecha del maíz tardío, queda N remanente de la vicia que puede ser aprovechado por el cultivo invernal siguiente.
- ✓ La fecha de secado de la cobertura de vicia es la variable más importante en la definición de la cantidad de MS generada. Cuanto más tarde sequemos la cobertura, más MS y N se aportará al sistema.
- ✓ Serán necesarios más ensayos para buscar otros cultivos de cobertura alternativos a la vicia, ante posibles problemas de enfermedades.

PROSPECTIVA

Durante el desarrollo del plan de trabajo fueron generándose nuevos interrogantes, muchos de los cuales fueron incluidos en nuevas líneas de trabajo. Si bien se ha generado mucha información, aún quedan algunas dudas que requerirán ser resueltas en el futuro. A continuación se presentan algunos interrogantes que surgieron en los últimos talles y otros que se desprenden de la lectura general del informe de los 9 años de trabajo.

Sistemas intensificados

Se generó información de los efectos positivos de los SI en ensayos en 3 campos de la zona núcleo, por lo que es necesario preguntarse si ¿esta información es trasladable a otras zonas de la pampa húmeda?.

En los 6 años del ensayo de rotaciones se ha evaluado la intensificación a nivel del tiempo de ocupación del suelo, pero queda el interrogante si ¿no estará limitando el uso de insumos?. Por lo que será necesario incorporar al estudio de los sistemas intensificados la “intensificación de insumos”, como ser uso de genotipos de mayor potencial, aumentos en la densidad de siembra, mayores umbrales de N y P, uso de micronutrientes, entre otros.

La información generada sobre el mayor consumo de agua de los SI nos genera la duda de ¿cómo funcionarán los SI en zonas con más restricciones hídricas? ¿la mejora en la eficiencia de captura de agua de los SI compensará en otras zonas la menor disponibilidad de precipitaciones?.

Los indicadores biológicos resultaron ser muy sensibles al intensificar las rotaciones y en un plazo de tiempo mucho menor al evaluado en este ensayo. Se generó información sobre los cambios en muchas variables, pero ¿cuál será la utilidad a nivel de producción de la información generada?, ¿se podrá en un futuro cercano enviar muestras a un laboratorio para saber el estado de ciertos indicadores biológicos? ¿cuáles? ¿en qué rangos debe estar para que el suelo sea saludable?.

Los SI redujeron la toxicidad y el número de aplicaciones de herbicidas, mejorando la sustentabilidad del sistema. Pero falta generar información sobre ¿cuáles son los ahorros en plata que implica una reducción en el uso de herbicidas?. Esto resulta esencial para lograr una mayor difusión de los SI, ya que la problemática de malezas está complicando mucho la producción en varias zonas del país.

Manejo agronómico en SI

Se estudió como mejorar la fertilización nitrogenada en maíz y trigo en SI, y con la franja de fertilización extra se evaluó el efecto de agregar un plus de N-P-S, pero queda la duda si ¿no será necesario incorporar a estos SI fertilizaciones con micronutrientes, que pueden estar limitando hoy la producción?

Dentro de los cultivos de cobertura evaluados la vicia siguió siendo la alternativa más beneficiosa por su aporte de MS, N y control de malezas. Pero resulta esencial contar con alternativas a esta cobertura para poder rotar y evitar posibles problemas de enfermedades o resistencia a herbicidas. ¿Qué otros cultivos de cobertura podemos usar? ¿Qué mezclas y en que proporciones son beneficiosas según el fin de la cobertura? Son preguntas que estaban presentes al realizar los ensayos y que aún no hemos podido responder.

Asimismo, hay una gran deuda para los productores argentinos en relación a los cultivos de cobertura. Y tiene que ver con la necesidad de contar con “genotipos” diferenciados por ciclos o alguna otra propiedad, para cada uno de los cultivos utilizados. Será necesario ampliar la disponibilidad de materiales disponibles contando con información comparativa de ciclos, producción de MS, aporte de N, etc. Esta información debería surgir del ámbito privado, de las empresas que hoy están comercializando esta semilla.

Aplicación de los SI

Si bien hay ejemplos de éxitos de introducción de los SI en distintas empresas de zona núcleo, quedan algunos interrogantes por responder: ¿es factible una introducción más masiva de los SI? ¿el efecto de los SI será el mismo en zonas más marginales?

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a los miembros de la Regional Pergamino-Colon, que financiaron este proyecto durante 9 años, participaron en la generación del conocimiento, alimentaron con inquietudes este proyecto y renovaron su compromiso de realizar un manejo sustentable de sus sistemas de producción.

A los establecimientos en donde se realizaron los diferentes ensayos, por la predisposición realizar los trabajos asociados a los ensayos y la disponibilidad de personal para ayudar en las tareas de campo.

Al equipo del Sistema Chacras de AAPRESID que coordinó y acompañó la ejecución del plan de trabajo de la Chacra Pergamino.

A las instituciones como el INTA, a empresas e instituciones educativas (UNNOBA, FAUBA, UNR, UNQ, UNRC) que trabajaron en conjunto para llevar adelante muchas de las líneas de trabajo.



 Tomas Coyos Rodolfo Gil <i>Gerente General</i> <i>Director Académico</i> Alejo Ruiz-Florencia Accame <i>Coordinador Zonal</i>	
--	--

ANEXO 1

En la Tabla A1 se describen todos los cultivos realizados desde el inicio del ensayo (2012/13) hasta la campaña 2017-18 en todas las rotaciones en los tres establecimientos.

Tabla A1. Cultivos realizados por campaña en cada rotación y establecimiento de la Chacra Pergamino (campañas 2012/13 a 2017/18).

Est.	Rotación	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
LMS	1- Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Trigo/Soja	Arveja/Maíz
LMS	2- Tr/Sj-Mz-Sj	Soja	Trigo/Soja	Maíz	Soja	Trigo/Soja	Maíz
LMS	3- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	Arveja/Soja	Trigo/Maíz	Arveja/Soja	Soja	Trigo/Soja	Arveja/Maíz
LMS	4- Mz-Tr/Sj	Maíz	Trigo/Soja	Maíz	Soja	Trigo/Soja	Maíz
LMS	5- Tr/Mz-Vic/Mz	Trigo/Maíz	Sorgo	Trigo/Maíz	Sorgo	Vicia/Maíz	Trigo/Maíz
SN	1- Tr/Sj-Vic/Mz	Vicia/Maíz	Trigo/Soja	Vicia/Maíz	Trigo/Soja	Vicia/Maíz	Trigo/Soja
SN	2- Tr/Sj-Mz-Sj	Maíz	Soja	Trigo/Soja	Maíz	Soja	Trigo/Soja
SN	3- Tr/Sj-Ar/Mz	Trigo/Soja	Arveja/Maíz	Trigo/Soja	Arveja/Maíz	Trigo/Soja	Arveja/Maíz
SN	4- Tr/Mz-Vic/Mz	Trigo/Maíz	Cebada/Sorgo	Trigo/Maíz	Cebada/Sorgo	Vicia/Maíz	Trigo/Maíz
SN	5- Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Trigo/Soja	Arveja/Maíz
LMe	1- Tr/Sj-Mz-Sj	Sorgo	Arveja/Maíz	Sorgo	Arveja/Maíz	Soja	Trigo/Soja
LMe	2- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	Trigo/Soja	Arveja/Maíz	Trigo/Soja	Arveja/Maíz	Soja	Trigo/Soja
LMe	3- Tr/Mz-Vic/Mz	Vicia/Maíz	Trigo/Sorgo	Vicia/Maíz	Trigo/Sorgo	Vicia/Maíz	Trigo/Maíz
LMe	4- Tr/Sj-Cb/Mz	Cebada/Maíz	Trigo/Soja	Cebada/Maíz	Trigo/Soja	Cebada/Maíz	Trigo/Soja
LMe	5- Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Cebada/Maíz	Trigo/Soja

A continuación, se muestra el manejo agronómico de cada cultivo en cada establecimiento de la Chacra Pergamino durante las campañas 2012-13 (Tablas A2 y A3), 2013-14 (Tablas A4 y A5), 2014-15 (Tablas A6 y A7), 2015-16 (Tablas A8 y A9), 2016-17 (Tablas A10 y A11) y 2017-18 (Tablas A12 y A13). En la Tabla A14 se muestra el manejo agronómico de las pasturas de cada establecimiento.

Tabla A2. Fecha de siembra, genotipos y fertilización realizada en cada rotación durante la **Campaña de invierno 2012-13** en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Cultivo	Rotación	Fecha Sbra.	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg/ha-l/ha)	Momento
LMS	Arveja	3- Ar/Sj-Tr/Mz	31-Jul-12	Vipper	SPS	70 kg/ha	Siembra
	Trigo	5- Sg-Tr/Mz	23-Jul-12	Chajá	MAP y Urea	100 y 200 kg/ha	Siembra y 15-Sep
SN	Vicia	1- Tr/Sj-Cob/Mz	26-Abr-12	Guasch	MAP	80 kg/ha	Siembra
	Trigo	3- Ar/Mz-Tr/Sj y 4- Cb/Sg-Tr/Mz	19-Jul-12	Cronox	MAP y Urea	128 y 240 kg/ha	Siembra
LMe	Trigo	2- Ar/Mz-Tr/Sj	28-Jun-12	Cronox	Mezcla Urea	140 kg/ha 150 y 150 kg/ha	Siembra 25-Jul y 13-Sep
	Vicia	3- Tr/Sg-Cob/Mz	23-Abr-12	Guasch	PDA	120 kg/ha	Siembra
	Cebada	4- Tr/Sj-Cb/Mz	20-Jun-12	Scarlett	Mezcla y Urea	140 y 150 kg/ha	Siembra y 25-Jul

Tabla A3. Fecha de siembra, genotipos y fertilización realizada en cada rotación durante la Campaña de verano 2012-13 en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Cultivo	Rotación	Fecha Sbra.	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg/ha-l/ha)	Momento
LMs	Soja 1º	2- Tr/Sj-Mz-Sj	18-Nov-12	DM 3700	SPS	70 kg/ha	Siembra
	Soja 2º	3- Ar/Sj-Tr/Mz	13-Dic-12	DM 4670	-	-	-
	Maíz 1º	4- Mz-Tr/Sj	27-Sep-12	31Y05	MAP y Urea	110 y 170 kg/ha	Siembra
	Maíz 2º	5- Sg-Tr/Mz	24-Dic-12	31Y05	MAP y Urea	110 y 200 kg/ha	Siembra
SN	Maíz	1- Tr/Sj-Cob/Mz y 2- Tr/Sj-Mz-Sj	21-Dic-12	DK 747	MAP y Urea	100 y 202 kg/ha	Siembra y 19/1
	Soja 2º	3- Ar/Mz-Tr/Sj	26-Dic-12	SPS 5x9	-	-	-
	Maíz 2º	4- Cb/Sg-Tr/Mz	26-Dic-12	DK 700	MAP y Urea	100 y 292 kg/ha	Siembra y 20/1
LMe	Sorgo 1º	1- Ar/Mz-Sg	13-Dic-12	Ad 422	PDA y Urea	150 y 150 kg/ha	Siembra
	Soja 2º	2- Ar/Mz-Tr/Sj	18-Dic-12	DM 3810	-	-	-
	Maíz 2º	3- Tr/Sg-Cob/Mz	20-Dic-12	NK 860	PDA y Urea	150 y 150 kg/ha	Siembra y 10/1
	Maíz 2º	4- Tr/Sj-Cb/Mz	20-Dic-12	NK 860	PDA y Urea	150 y 250 kg/ha	Siembra y 10/1

Tabla A4. Fecha de siembra, genotipos y fertilización realizada en cada rotación durante la Campaña de invierno 2013-14 en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Cultivo	Rotación	Fecha Sbra.	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg/ha-l/ha)	Momento
LMs	Trigo	2- Tr/Sj-Mz-Sj	12-jun-13	Baguette 11	SPS	100 kg/ha	Siembra
		3- Ar/Sj-Tr/Mz y 4- Mz-Tr/Sj			MAP Urea	100 kg/ha 145 kg/ha	Siembra incorp. Siembra voleo
SN	Trigo	1- Tr/Sj-Cob/Mz	25-jul-13	Arex	MAP y Urea	102 y 227 kg/ha	Siembra
	Arveja	3- Ar/Mz-Tr/Sj y	1-jul-13	Facon	MAP	100 kg/ha	Siembra
	Cebada	4- Cb/Sg-Tr/Mz	30-jul-13	Scarlett	MAP y Urea	98 y 223 kg/ha	Siembra
LMe	Arveja	1- Ar/Mz-Sg y 2- Ar/Mz-Tr/Sj	27-jun-13	Viper	Sausor	200 kg/ha	Siembra
	Trigo	3- Tr/Sg-Cob/Mz y 4- Tr/Sj-Cb/Mz	23-jun-13	Cronox	DAP y Urea	140 y 170 kg/ha	Siembra y Macollaje

Tabla A5. Fecha de siembra, genotipos y fertilización realizada en cada rotación durante la Campaña de verano 2013-14 en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Cultivo	Rotación	Fecha Sbra.	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg/ha-l/ha)	Momento
LMs	Soja 2º	2- Tr/Sj-Mz-Sj	3-Dic-13	DM4212	SPS	70 kg/ha	Siembra
	Maíz 2º	3- Ar/Sj-Tr/Mz	15-Dic-13	P31Y05RH	MAP y Urea	110 y 150 kg/ha	Siembra y V6
	Soja 2ºº	4- Mz-Tr/Sj	3-Dic-13	DM4212	SPS	70 kg/ha	Siembra
	Sorgo 1º	5- Sg-Tr/Mz	28-Oct-13	P84G62	MAP y Urea	110 y 200 kg/ha	Siembra
SN	Soja 2º	1- Tr/Sj-Cob/Mz	4-Dic-13	P 94 M 40	-	-	-
	Soja 1º	2- Tr/Sj-Mz-Sj	14-Nov-13	NA 5009	MAP	92 kg/ha	Siembra
	Maíz 2º	3- Ar/Mz-Tr/Sj	11-Dic-13	DK 7210	MAP y Urea	47 y 135 kg/ha	Siembra y V4
	Sorgo 2º	4- Cb/Sg-Tr/Mz	17-Dic-13	Adv314	MAP y Urea	48 y 230 kg/ha	Siembra y V3
LMe	Maíz 2º	1- Ar/Mz-Sg y 2- Ar/Mz-Tr/Sj	30-Dic-13	DK 7210	DAP y Urea	150 y 250 kg/ha	Siembra y V4
	Sorgo 2º	3- Tr/Sg-Cob/Mz	4-Dic-13	M102	DAP y Urea	150 y 250 kg/ha	Siembra y V4
	Soja 2º	4- Tr/Sj-Cb/Mz	10-Dic-13	DM 3810	DAP	70 kg/ha	Siembra

Tabla A6. Fecha de siembra, genotipos y fertilización realizada en cada rotación durante la Campaña de invierno 2014-15 en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Cultivo	Rotación	Fecha Sbra.	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg/ha)	Momento
LMs	Arveja	3- Ar/Sj-Tr/Mz	8-Ago-14	Viper	SPS	90	Siembra
	Trigo	5- Sg-Tr/Mz	1-Jul-14	Buck 300	MAP y Urea	100 y 260	Siembra (Inc)
SN	Vicia	1- Tr/sj-Cob/Mz	1-May-14	Vicia villosa	PMA	52	Siembra
	Trigo	2- Tr/Sj-Mz-Sj	13-Jun-14	B601	PMA y Urea	113 y 216	Siembra (Inc)
	Trigo	3- Ar/Mz-Tr/Sj y	4-Jul-14	Cronox	PDA y Urea	106 y 263	Siembra (Inc)
	Trigo	4- Cb/Sg-Tr/Mz	4-Jul-14	Cronox	PDA y Urea	109 y 261	Siembra (Inc)
LMe	Trigo	2- Ar/Mz-Tr/Sj	1-Jul-14	Cronox	Mezcla y UAN	120 y 300	Siembra (Inc) y Macollaje
	Vicia	3- Tr/Sg-Cob/Mz	5-Jul-14	Vicia villosa	Mezcla	120	Siembra (Inc)
	Cebada	4- Tr/Sj-Cb/Mz	18-Jun-14	Scarlett	Mezcla y UAN	130 y 225	Siembra (Inc) y Macollaje

Tabla A7. Fecha de siembra, genotipos y fertilización realizada en cada rotación durante la Campaña de verano 2014-15 en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Cultivo	Rotación	Fecha Sbra.	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg/ha-l/ha)	Momento
LMs	Maíz 1°	2- Tr/Sj-Mz-Sj	4-Oct-14	DK7210	MAP y Urea	120 y 180 kg/ha	Siembra incorporados
	Soja 2°	3- Ar/Sj-Tr/Mz	18-Dic-14	DM3700	SPS	160 kg/ha	Siembra incorporado
	Maíz 1°	4- Tr/Sj-Mz	4-Oct-14	DK7210	MAP y Urea	120 y 180 kg/ha	Siembra incorporados
	Maíz 2°	5- Sg-Tr/Mz	20-Dic-14	DK692	MAP y Urea	120 y 260 kg/ha	Siembra incorporados
SN	Maíz 2°	1- Tr/sj-Cob/Mz	18-Dic-14	DK7210	MAP y UAN	95 kg/ha y 220 l/ha	Siembra-V8
	Soja 2°	2- Tr/Sj-Mz-Sj	27-Nov-14	DM4670	-		
	Soja 2°	3- Ar/Mz-Tr/Sj	28-Nov-14	DM4670	-		
	Maíz 2°	4- Cb/Sg-Tr/Mz	18-Dic-14	DK7210	MAP y UAN	95 kg/ha y 365 l/ha	Siembra-V8
LMe	Sorgo 1°	1- Ar/Mz-Sg	27-Nov-14	Ad1200	Mezcla y Nitrodoble	170 y 400 kg/ha	Pre-siembra incorporados
	Soja 2°	2- Ar/Mz-Tr/Sj	6-Dic-14	DM3810	Sausor	80 kg/ha	Siembra
	Maíz 2°	3- Tr/Sg-Cob/Mz	12-Dic-14	DK7210	Mezcla y Urea	170 y 280 kg/ha	Siembra y V4 incorporados
	Maíz 2°	4- Tr/Sj-Cb/Mz	27-Nov-14	DK7210	Mezcla y Urea	140 y 280 kg/ha	Siembra y V6 incorporados

Tabla A8. Fecha de siembra, genotipos y fertilización realizada en cada rotación durante la Campaña de invierno 2015-16 en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Cultivo	Rotación	Fecha Sbra.	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg/ha)	Momento
SN	Trigo	1- Tr/Sj-Cob/Mz	17-Jul-15	ACA906	MAP y Urea	88 y 217	Siembra incorporada
	Arveja	3- Ar/Mz-Tr/Sj	13-Jul-15	Blue Star	MAP	100	Siembra incorporada
	Cebada	4- Cb/Sg-Tr/Mz	16-Jul-15	Scarlet	MAP y Urea	63 y 229	Siembra incorporada
LMe	Arveja	1- Ar/Mz-Sg	26-jun-15	Viper	Mezcla	160	Siembra incorporada
	Arveja	2- Ar/Mz-Tr/Sj	26-jun-15	Viper	Mezcla	160	Siembra incorporada
	Trigo	3- Tr/Sg-Cob/Mz	10-Jul-16	Cronox	Mezcla y Urea	160 y 200	Siembra y macollaje
	Trigo	4- Tr/Sj-Cb/Mz	10-Jul-16	Cronox	Mezcla y Urea	160 y 220	Siembra y macollaje

Tabla A9. Fecha de siembra, genotipos y fertilización realizada en cada rotación durante la Campaña de verano 2015-16 en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Cultivo	Rotación	Fecha Sbra.	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg/ha-l/ha)	Momento
LMs	Soja 1°	2- Tr/Sj-Mz-Sj	28-Oct-15	DM4314-ST5	SPS	70	Siembra
	Soja 1°	3- Ar/Sj-Tr/Mz	28-Oct-15	DM4314-ST5	SPS	70	Siembra
	Soja 1°	4- Tr/Sj-Mz	28-Oct-15	DM4314-ST5	SPS	70	Siembra
	Sorgo 1°	5- Sg-Tr/Mz	16-Nov-15	Adv1200	MAP y Urea	120 y 220	Siembra incorporados
SN	Soja 2°	1- Tr/Sj-Cob/Mz	13-Dic-15	NA5009	-	-	-
	Maíz 1°	2- Tr/Sj-Mz-Sj	18-Dic-15	Dk7210	MAP y Urea	80 y 234	Siembra y V6
	Maíz 2°	3- Ar/Mz-Tr/Sj	18-Dic-15	Dk7210	MAP y Urea	80 y 180	Siembra y V6
	Sorgo 2°	4- Cb/Sg-Tr/Mz	14-Dic-15	Adv314	MAP y Urea	91 y 234	Siembra y V6
LMe	Maíz 2°	1- Ar/Mz-Sg	10-Dic-15	Dk7210	MAP y Urea	150 y 230	Siembra y V3
	Maíz 2°	2- Ar/Mz-Tr/Sj	10-Dic-15	Dk7210	MAP y Urea	150 y 230	Siembra y V3
	Sorgo 2°	3- Tr/Sg-Cob/Mz	29-Dic-15	Adv1200	MAP y Nitrodoble	150 y 300	Siembra y V6
	Soja 2°	4- Tr/Sj-Cb/Mz	29-Dic-15	LD 4.7	SPT	150	Siembra

Tabla A10. Fecha de siembra, genotipos y fertilización realizada en cada rotación durante la Campaña de invierno 2016-17 en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Cultivo	Rotación	Fecha Sbra.	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg/ha)	Momento
LMs	Trigo	1- Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	28-Jun-16	Chaja	MAP y Urea	182 y 230	Siembra y Macollaje
	Trigo	2- Tr/Sj-Mz-Sj	28-Jun-16	Chaja	MAP y Urea	82 y 190	Siembra y Macollaje
	Trigo	3- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	28-Jun-16	Chaja	MAP y Urea	82 y 190	Siembra y Macollaje
	Trigo	4- Tr/Sj-Mz	28-Jun-16	Chaja	MAP y Urea	82 y 190	Siembra y Macollaje
	Vicia	5- Tr/Sg-Vic/Mz	18-Ago-16	<i>V. villosa</i>	MAP	50	Siembra
SN	Vicia	1- Tr/Sj-Cob/Mz	24-May-16	<i>V. villosa</i>	MAP	52	Siembra
	Trigo	3- Ar/Mz-Tr/Sj	22-Jul-16	ACA 906	MAP y Urea	98 y 234	Siembra
	Vicia	4- Cb/Sg-Tr/Mz	8-Ago-16	<i>V. villosa</i>	-	-	-(siembra aerea)
	Trigo	5- Pastura-Ar/Mz-Tr/Sj	18-Jul-16	ACA 906	MAP y Urea	52 y 245	Siembra
LMe	Vicia	3- Tr/Sg-Cob/Mz	31-Ago-11	<i>V. villosa</i>	SPT	130	Siembra
	Cebada	4- Tr/Sj-Cb/Mz	18-Jul-16	Scarlet	MAP y Urea	150 y 220	Siembra y Macollaje
	Cebada	5- Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	18-Jul-16	Scarlet	MAP y Urea	150 y 290	Siembra y Macollaje

Tabla A11. Fecha de siembra, genotipos y fertilización realizada en cada rotación durante la Campaña de verano 2016-17 en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Cultivo	Rotación	Fecha Sbra.	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg/ha-l/ha)	Momento
LMS	Soja 2°	1- Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	12-Dic-16	A4913	-	-	-
	Soja 2°	2- Tr/Sj-Mz-Sj	12-Dic-16	A4913	-	-	-
	Soja 2°	3- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	12-Dic-16	A4913	-	-	-
	Soja 2°	4- Tr/Sj-Mz	12-Dic-16	A4913	-	-	-
	Maíz 2°	5- Tr/Sg-Vic/Mz	13-Dic-16	LT719VT3P	MAP y Urea	100 y 183	Siembra
SN	Maíz 2°	1- Tr/Sj-Cob/Mz	5-Ene-17	Dk692	MAP	83	Siembra
	Soja 1°	2- Tr/Sj-Mz-Sj	11-Nov-16	LDC 4.7	MAP	110	Siembra
	Soja 2°	3- Ar/Mz-Tr/Sj	5-Dic-16	DM4210	-	-	-
	Maíz 2°	4- Cb/Sg-Tr/Mz	5-Ene-17	Dk7310	MAP y Urea	83 y 232	Siembra y V4
	Soja 2°	5- Pastura-Ar/Mz-Tr/Sj	5-Dic-16	DM4210	-	-	-
LMe	Soja 1°	1- Tr/Sj-Mz-Sj	5-Nov-16	DM3815	Sausor	140	Siembra
	Soja 1°	2- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	5-Nov-16	DM3815	Sausor	140	Siembra
	Maíz 2°	3- Tr/Sg-Cob/Mz	21-Dic-16	Dk7210	MAP y Solmix	150 y 390	Siembra y V3
	Maíz 2°	4- Tr/Sj-Cb/Mz	11-Dic-16	Dk7210	MAP y Solmix	150 y 460	Siembra y V4
	Maíz 2°	5- Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	11-Dic-16	Dk7210	MAP y Solmix	150 y 460	Siembra y V4

Tabla A12. Fecha de siembra, genotipos y fertilización realizada en cada rotación durante la Campaña de invierno 2017-18 en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Cultivo	Rotación	Fecha Sbra.	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg/ha)	Momento
LMS	Arveja	1- Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	30-Jul-17	Viper	MAP	80	Siembra
	Arveja	3- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	30-Jul-17	Viper	MAP	80	Siembra
	Trigo	5- Tr/Sg-Vic/Mz	3-Jul-17	Fuste	MAP y Urea	50 y 230	Siembra
SN	Trigo	1- Tr/Sj-Cob/Mz	20-Jul-17	Cambium	MAP y Urea	112 y 206	Siembra
	Trigo	2- Tr/Sj-Mz-Sj	2-Jun-17	Algarrobo	MAP y Urea	105 y 235	Siembra
	Arveja	3- Ar/Mz-Tr/Sj	21-Jun-17	Blue Start	MAP	94	Siembra
	Trigo	4- Cb/Sg-Tr/Mz	20-Jul-17	Cambium	MAP y Urea	95 y 253	Siembra
	Arveja	5- Pastura-Ar/Mz-Tr/Sj	21-Jun-17	Blue Start	MAP	95	Siembra
LMe	Trigo	1- Tr/Sj-Mz-Sj	6-Jun-17	Algarrobo		140, 170 y 200	Siembra y Macollaje
	Trigo	2- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	6-Jun-17	Algarrobo		140, 190 y 200	Siembra y Macollaje
	Trigo	3- Tr/Sg-Cob/Mz	6-Jun-17	Algarrobo	MAP, Urea y Nitrodoble	140, 120 y 200	Siembra y Macollaje
	Trigo	4- Tr/Sj-Cb/Mz	6-Jun-17	Algarrobo		140, 230 y 200	Siembra y Macollaje
	Trigo	5- Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	6-Jun-17	Algarrobo		140, 140 y 200	Siembra y Macollaje

Tabla A13. Fecha de siembra, genotipos y fertilización realizada en cada rotación durante la Campaña de verano 2017-18 en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Cultivo	Rotación	Fecha Sbra.	Genotipo	Fertilizante	Dosis (kg/ha-l/ha)	Momento
LMS	Maíz 2°	1- Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	23-Dic-17	Dk7210	MAP y Urea	100 y 180	Siembra
	Maíz 1°	2- Tr/Sj-Mz-Sj	10-Oct-17	Dk7210	MAP y Urea	110 y 170	Siembra
	Maíz 2°	3- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	23-Dic-17	Dk7210	MAP y Urea	100 y 180	Siembra
	Maíz 1°	4- Tr/Sj-Mz	10-Oct-17	Dk7210	MAP y Urea	130 y 200	Siembra
	Maíz 2°	5- Tr/Sg-Vic/Mz	28-Dic-17	Next22.6	MAP y Urea	110 y 300	Siembra
SN	Soja 2°	1- Tr/Sj-Cob/Mz	8-Dic.17	LDC 4.7	MAP	85	Siembra
	Soja 2°	2- Tr/Sj-Mz-Sj	8-Dic.17	LDC 4.7	MAP	85	Siembra
	Maíz 2°	3- Ar/Mz-Tr/Sj	10-Dic-17	Dk7210	MAP y Urea	90 y 158	Siembra y V6
	Maíz 2°	4- Cb/Sg-Tr/Mz	16-Dic-17	Dow507	MAP y Urea	92 y 340	Siembra y V6
	Maíz 2°	5- Pastura-Ar/Mz-Tr/Sj	10-Dic-17	Dk7210	MAP y Urea	94 y 158	Siembra y V6
LMe	Soja 2°	1- Tr/Sj-Mz-Sj	15-Dic-17	DM3815	Sausor	100	Siembra
	Soja 2°	2- Tr/Sj-Ar/Mz-Sj	15-Dic-17	DM3815	Sausor	100	Siembra
	Maíz 2°	3- Tr/Sg-Cob/Mz	21-Dic-17	Next22.6	MAP y Urea	120 y 300	Siembra y V6
	Soja 2°	4- Tr/Sj-Cb/Mz	15-Dic-17	DM3815	Sausor	100	Siembra
	Soja 2°	5- Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	15-Dic-17	DM3815	Sausor	100	Siembra

Tabla A14. Fecha de siembra y fertilización de las diferentes pasturas en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

E.A.	Rotación	Fecha Sbra.	Fertilizante	Dosis N-P-S (kg/ha)	Fecha Fertilización
LMS	Pastura	1-Ago-12	SPS	0-6-8	Ago-12
			Urea, MAP y SPS	72-30-12	Jul-13
			SPS	0-18-24	Ago-14
			SPS	0-11-14	Sep-15
SN	Pastura	17-Mar-12	Urea, MAP y yeso	79-18-27	Mar-12
			Mezcla	46-20-0	Jul-13
			PDA y yeso	25-28-29	Ago-14
			MAP	10-21-0	Jul-15
LMe	Pastura	17-Mar-12	Mezcla	0-26-5	Mar-12
			Urea	55-0-0	May-12
			Mezcla	11-21-4	Jul-13
			Mezcla	8-21-6	Ago-14
			Mezcla	0-20-8	Ago-15

ANEXO 2

En la Tabla A15 se presenta la georreferenciación de las 5UM por rotación en cada uno de los establecimientos de la Chacra Pergamino.

Tabla A15. Georreferenciación de las 5 UM por rotación en cada establecimiento de la Chacra Pergamino.

Campo	Tratamiento	Rotación	UM	Coordenada (grados decimales)
LMs	R1	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	1	-59.65849698521196842 -34.00506500154733658
LMs	R1	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	2	-59.65877995826303959 -34.00529198348522186
LMs	R1	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	3	-59.65907902456820011 -34.005443025380373
LMs	R1	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	4	-59.65968579053878784 -34.0057228971272707
LMs	R1	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	5	-59.6594617422670126 -34.00542114861309528
LMs	R2	Tr/Sj-Mz-Sj	1	-59.65866663493216038 -34.00444440543651581
LMs	R2	Tr/Sj-Mz-Sj	2	-59.65844082646071911 -34.00425095111131668
LMs	R2	Tr/Sj-Mz-Sj	3	-59.65816665440797806 -34.00369447655975819
LMs	R2	Tr/Sj-Mz-Sj	4	-59.65840947814285755 -34.00351393036544323
LMs	R2	Tr/Sj-Mz-Sj	5	-59.65877157635986805 -34.00415455922484398
LMs	R3	Tr/Sj-Ar/Mz	1	-59.65663888491690159 -34.00163889862596989
LMs	R3	Tr/Sj-Ar/Mz	2	-59.6569166611880064 -34.00202781893312931
LMs	R3	Tr/Sj-Ar/Mz	3	-59.65722218155860901 -34.00233333930373192
LMs	R3	Tr/Sj-Ar/Mz	4	-59.65724690817296505 -34.00192279368638992
LMs	R3	Tr/Sj-Ar/Mz	5	-59.6570881549268961 -34.00162029080092907
LMs	R4	Tr/Sj-Mz	1	-59.65569441206753254 -34.00074999779462814
LMs	R4	Tr/Sj-Mz	2	-59.65525000356137753 -34.00036107748746872
LMs	R4	Tr/Sj-Mz	3	-59.6548610832542181 -34.00013887323439121
LMs	R4	Tr/Sj-Mz	4	-59.65529283508658409 -34.00003803893923759
LMs	R4	Tr/Sj-Mz	5	-59.6556827612221241 -34.0003686212003231
LMs	R5	Tr/Mz-Vic/Mz	1	-59.65424995869398117 -33.99950000457465649
LMs	R5	Tr/Mz-Vic/Mz	2	-59.65411107055842876 -33.99927780032157898
LMs	R5	Tr/Mz-Vic/Mz	3	-59.65377780608832836 -33.99936111643910408
LMs	R5	Tr/Mz-Vic/Mz	4	-59.65426110662519932 -33.99895182810723782
LMs	R5	Tr/Mz-Vic/Mz	5	-59.65420612134039402 -33.9996329415589571
SN	R1	Tr/Sj-Vic/Mz	1	-60.68788890726864338 -33.29805557616055012
SN	R1	Tr/Sj-Vic/Mz	2	-60.68861109204590321 -33.29825003631412983
SN	R1	Tr/Sj-Vic/Mz	3	-60.68933336064219475 -33.29836109653115273
SN	R1	Tr/Sj-Vic/Mz	4	-60.68879658356308937 -33.29795021563768387
SN	R1	Tr/Sj-Vic/Mz	5	-60.68827103823423386 -33.29771728254854679
SN	R2	Tr/Sj-Mz-Sj	1	-60.68730552680790424 -33.29980554990470409
SN	R2	Tr/Sj-Mz-Sj	2	-60.6878961157053709 -33.30011056736111641
SN	R2	Tr/Sj-Mz-Sj	3	-60.68802779540419579 -33.29947220161557198
SN	R2	Tr/Sj-Mz-Sj	4	-60.68823130801320076 -33.29905671067535877
SN	R2	Tr/Sj-Mz-Sj	5	-60.68777256645262241 -33.29879486002027988
SN	R3	Tr/Sj-Ar/Mz	1	-60.68627773784101009 -33.30072219483554363
SN	R3	Tr/Sj-Ar/Mz	2	-60.68697226233780384 -33.30136114731431007
SN	R3	Tr/Sj-Ar/Mz	3	-60.68697226233780384 -33.30049999058246613
SN	R3	Tr/Sj-Ar/Mz	4	-60.68638946861028671 -33.30020704306662083
SN	R3	Tr/Sj-Ar/Mz	5	-60.68594162352383137 -33.30036487430334091
SN	R4	Tr/Mz-Vic/Mz	1	-60.68549998104572296 -33.30280551686882973
SN	R4	Tr/Mz-Vic/Mz	2	-60.68497225642204285 -33.30230553634464741
SN	R4	Tr/Mz-Vic/Mz	3	-60.6845559201538563 -33.3020000159740448
SN	R4	Tr/Mz-Vic/Mz	4	-60.68498315289616585 -33.30191493965685368
SN	R4	Tr/Mz-Vic/Mz	5	-60.68557885475456715 -33.30224158242344856

Campo	Tratamiento	Rotación	UM	Coordenada
SN	R5	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	1	-60.68388889543712139 -33.30280551686882973
SN	R5	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	2	-60.6841110996901989 -33.30313886515796185
SN	R5	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	3	-60.68486111238598824 -33.30361110158264637
SN	R5	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	4	-60.68437915295362473 -33.30345762893557549
SN	R5	Pastura-Tr/Sj-Ar/Mz	5	-60.68374539725482464 -33.30312528647482395
LMe	R1	Tr/Sj-Mz-Sj	1	-60.47833336517214775 -34.31677775457501411
LMe	R1	Tr/Sj-Mz-Sj	2	-60.47713886015117168 -34.31619445793330669
LMe	R1	Tr/Sj-Mz-Sj	3	-60.47611107118427753 -34.31691664271056652
LMe	R1	Tr/Sj-Mz-Sj	4	-60.47659043222665787 -34.31713532656431198
LMe	R1	Tr/Sj-Mz-Sj	5	-60.47642203979194164 -34.31752609089016914
LMe	R2	Tr/Sj-Ar/Mz	1	-60.47688891179859638 -34.31822220794856548
LMe	R2	Tr/Sj-Ar/Mz	2	-60.47797218896448612 -34.31772222742438316
LMe	R2	Tr/Sj-Ar/Mz	3	-60.4788891771435738 -34.31786111555993557
LMe	R2	Tr/Sj-Ar/Mz	4	-60.47867400571703911 -34.31730497628450394
LMe	R2	Tr/Sj-Ar/Mz	5	-60.47707641497254372 -34.31889871135354042
LMe	R3	Tr/Mz-Vic/Mz	1	-60.48016665503382683 -34.31950002908706665
LMe	R3	Tr/Mz-Vic/Mz	2	-60.47919443808495998 -34.31902779266238213
LMe	R3	Tr/Mz-Vic/Mz	3	-60.47775501385331154 -34.31976363994181156
LMe	R3	Tr/Mz-Vic/Mz	4	-60.47724053263664246 -34.31991610676050186
LMe	R3	Tr/Mz-Vic/Mz	5	-60.47746826894581318 -34.32027535513043404
LMe	R4	Tr/Sj-Cb/Mz	1	-60.47834568656980991 -34.32107389904558659
LMe	R4	Tr/Sj-Cb/Mz	2	-60.47943340614438057 -34.32064985856413841
LMe	R4	Tr/Sj-Cb/Mz	3	-60.48038885928690434 -34.32091665454208851
LMe	R4	Tr/Sj-Cb/Mz	4	-60.48078523948788643 -34.32058808393776417
LMe	R4	Tr/Sj-Cb/Mz	5	-60.48051274381577969 -34.32023386470973492
LMe	R5	Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	1	-60.4814179999999979 -34.31993200000000144
LMe	R5	Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	2	-60.48127776011824608 -34.31944445706903934
LMe	R5	Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	3	-60.4801752045750618 -34.31763136759400368
LMe	R5	Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	4	-60.47992642968893051 -34.31719131767749786
LMe	R5	Pastura-Tr/Sj-Cb/Mz	5	-60.47963549382984638 -34.31678907014429569

ANEXO 3

En la Figura A1 se muestran los perfiles texturales de las series de suelo que dominan en los tres establecimientos: Rojas (LMe), Rio Tala (LMs) y Peyrano (SN).

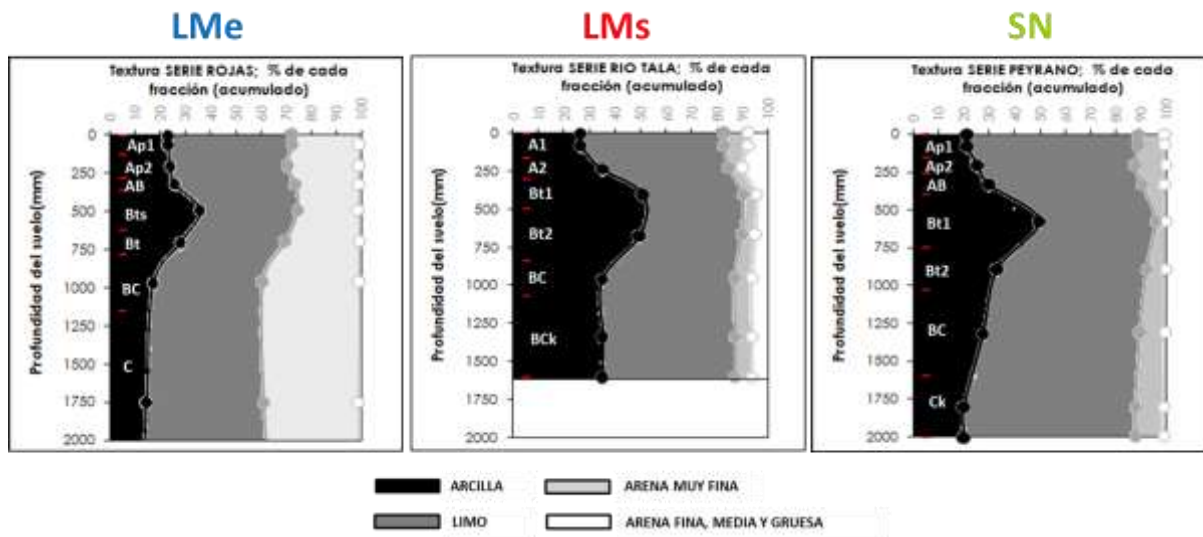


Figura A1. Perfiles texturales expresados como proporción de arcilla, limo, arena muy fina y arena fina, media y gruesa en las series Rojas (LMe), Rio Tala (LMs) y Peyrano (SN).