



Sistemas de producción y sustentabilidad de la agricultura en la región Norte de Bs As.

Indicadores de Sustentabilidad productiva en el Crea Norte de BsAs. Resultados Proyecto Rotaciones 2014-15 a 2019-20

Resumen:

El avance que sufrió la región pampeana del sistema de producción basado en un cultivo simple de verano (soja) bajo una secuencia de monocultivo produjo pérdidas importantes en los contenidos de MO y deterioro en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Rotaciones con más cantidad y diversidad de especies permiten incrementar la productividad de los sistemas de cultivo, aportando mayores volúmenes de rastrojos aéreos y biomasa subterránea, que podría repercutir como una mejora de las condiciones edáficas para los cultivos siguientes. Para evaluar esta hipótesis, durante seis años (2014/15 a 2019/20) se llevó adelante una red experimental (cuatro sitios) evaluando tres rotaciones de cultivos durante dos ciclos de rotación: i) monocultura soja, ii) trigo/soja-maíz-soja (tercios) y iii) trigo/soja-arveja/maíz-soja (intensificada). En el segundo ciclo (2017/18-2019/20), además, se evaluaron cada una de las rotaciones bajo dos manejos (el del productor y otro de alta producción). En la campaña 2019/20 se evaluó el efecto de la historia de manejo diferencial cultivándose soja en todos los tratamientos y sitios. Previo a la siembra de la soja en esta última campaña, se detectaron diferencias marcadas en las condiciones edáficas entre las diferentes rotaciones. El stock de carbono disminuyó en la monocultura y aumentó o se mantuvo solo en la rotación intensificada debido a la gran diferencia encontrada en los niveles de aportes de rastrojos entre tratamientos. Respecto a parámetros físicos vinculados como densidad aparente, porosidad total y resistencia al crecimiento de raíces, las texturas finas amortiguaron el efecto rotación mientras que en suelos arenosos se observaron marcados deterioros bajo monocultura. Estos cambios mencionados determinaron diferencias en la productividad de las sojas cultivadas en 2019-20. El costo de la monocultura alcanzó como promedio los 330 kg/ha siendo más importante en los ambientes menos productivos (600kg/ha); mientras que el plus por intensificar tuvo un aumento de 220kg/ha consistente entre los distintos ambientes explorados. El efecto sobre rinde del manejo de alta producción (mayor nivel de fertilización en años previos) alcanzó los 150-200kg/ha. Estas diferencias de productividad se explican mediante cambios en la captura y la eficiencia de uso de la radiación fotosintéticamente activa. En tres de los cuatro sitios, la rotación intensificada aumentó la captura y en todos los sitios aumentó la EUR. El manejo de la fertilización no modificó la captura pero sí la EUR (consistente entre sitios). En el informe, además, se presentan resultados de los seis años en su conjunto en términos de productividad comparada, balance nutricional, margen económico e interacciones con componentes bióticos del sistema de producción.

1) Introducción:

El proceso de intensificación agrícola que sufrió la región pampeana en los últimos 20 años extendiendo la superficie agrícola y relegando a la actividad ganadera estuvo dominado por la expansión del cultivo de soja, consolidándose como cultivo dominante en la rotación de los sistemas productivos en todas las regiones productivas del país. Más del 60% de la superficie agrícola es cultivada con soja (www.datos.magyp.gob.ar). Estos cambios en el uso de la tierra expusieron a las regiones (incluyendo la región pampeana más productiva) a amenazas entre las que se destacan (i) reducción de la superficie con pastura, (ii) reducción de la producción de materia seca (Carbono/ha/año) y deterioro en los contenidos de materia orgánica, crucial para el mantenimiento de las propiedades y funcionalidad de los suelos, (iii) la erosión y degradación de los suelos iv) reducción en los consumos de agua y ascensos de napas, y v) la pérdida de efectividad de tecnologías contra adversidades bióticas.

Este cambio en el uso de la tierra, ha generado agro-ecosistemas que presentan una baja diversidad de cultivos, con períodos de barbechos largos que determinan una baja producción de materia seca aérea y de raíces y que requieren altas dosis de insumos agrícolas para sostener la productividad (Frasier et al. 2016; Pinto et al. 2017). Esta situación ha llamado la atención en muchas regiones de AACREA y particularmente en la región Crea Norte de Bs. As., siendo discutida con frecuencia en la mesa de asesores. Este interés se pone aún más de manifiesto frente a los nuevos escenarios tecnológicos que avanzan hacia la intensificación de los sistemas productivos de la mano de un mayor uso de insumos para sostener la productividad de los sistemas. Si bien, la disponibilidad de tecnologías ha tenido un valioso aporte en el proceso de crecimiento e intensificación de la agricultura, su capacidad para sostener su potencial productivo en el tiempo está dando muestras de su inviabilidad. Por otra parte, en los próximos años será necesario el incremento en la producción agropecuaria para satisfacer la demanda creciente de alimentos. La mayor parte de ese incremento deberá lograrse en tierras que actualmente se encuentran en producción y, el mayor desafío será ser capaces de sostener altos niveles de producción en el tiempo sobre esa superficie. Para ello, además de desarrollar y adoptar nuevas tecnologías, será necesario aplicar enfoques integrales para diseñar sistemas agrícolas más productivos, pero que simultáneamente sean estables y sustentables (Satorre, 2001; Rodriguez & Sadras, 2011).

En este informe, presentamos los resultados de una línea de trabajo experimental llevada a cabo durante seis campañas por CREA NBA basada en la estrategia de intensificar el uso de la tierra, secuenciando un mayor número de cultivos diversos por unidad de tiempo (Andrade et al., 2017). Esta práctica ha demostrado incrementar la productividad de los sistemas de cultivo mediante la captura de una mayor proporción de los recursos disponibles en el ambiente y su uso más eficiente (Andrade et. al., 2015). Esta vía, a su vez, permite trabajar sobre la estabilidad y la sustentabilidad de los sistemas productivos a mediano y largo plazo mediante la rotación de las especies cultivadas (Bullock, 1992; Seymour et al., 2012; Andrade et al., 2017).

2) Propuesta de trabajo:

Esta propuesta tiene como objetivo general la detección de cambios que se produzcan en los sistemas de producción como resultado de la intensificación productiva, haciendo foco en el funcionamiento de los cultivos como indicador y cuantificando el impacto de dichos cambios sobre la trayectoria productiva y la rentabilidad de los sistemas productivos analizados

Objetivos específicos:

- I. Evaluar cambios en la productividad de sistemas agrícolas como consecuencia de cultivar más y diferentes especies y mayores niveles de uso de insumos.
- II. Identificar los cambios en la productividad de esos sistemas agrícolas en función de la captura y eficiencia de uso de recursos (radiación, agua y nutrientes).
- III. Analizar las interacciones de los sistemas de cultivos con el suelo (parámetros físicos y químicos) y otros componentes del sistema, como malezas, enfermedades y hongos de suelo.

Hipótesis:

- I. Las rotaciones con mayor nivel de intensificación generada a partir de mayor cantidad y diversidad de cultivos en la secuencia junto con el mayor uso de insumos, capturarán más recursos disponibles y de forma más eficiente aumentando la productividad total de la rotación de cultivos.
- II. La productividad de los distintos tratamientos de intensificación (basados en una mayor cantidad de cultivos/año o cantidad de insumos) tendrán interacción con la productividad del sitio, siendo más claro en los ambientes de menor productividad.
- III. El impacto relativo de los dos componentes de la Intensificación sobre la productividad total será distinto, siendo más relevante el aporte de los cultivos respecto a la de los insumos.

3) Metodología y determinaciones:

La propuesta de trabajo se apoyó en un fuerte trabajo de la mesa de asesores y técnicos de la zona en interacción con otros proyectos del movimiento CREA. Además se integraron al proyecto a otras instituciones extra CREA como la Facultad de Agronomía de la UBA y de Lomas de Zamora.

Se continuó el proyecto de rotaciones de cultivos sobre los 4 ensayos que habían sido conducidos durante la primera etapa (14-15, 15-16 y 16-17). En la nueva etapa (17-18, 18-19 y 19-20) se realizaron las mismas secuencias de cultivos sobre las mismas parcelas, pero incorporando un nuevo factor al análisis: nivel de uso de insumos. Las parcelas originales fueron cortadas en mitades a lo largo y manejadas bajo dos modelos de fertilización: i) el del productor medio, MP y ii) un escenario de alta tecnología, MAP (Cuadro 1 y 2).

Campaña	Monoc Soja		Tercios		Intensific	
2014-15	Soja 1°		Trigo/soja2°		Trigo/soja2°	
2015-16	Soja 1°		Maíz		Arveja/maíz	
2016-17	Soja 1°		Soja 1°		Soja1°	
Nuevo Factor	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP
2017-18	Soja 1°	Soja 1°	Trigo/sj	Trigo/sj	Trigo/sj	Trigo/sj
2018-19	Soja 1°	Soja 1°	Maíz	Maíz	Arveja/mz	Arveja/mz
2019-20	Soja 1°	Soja 1°	Soja 1°	Soja1°	Soja1°	Soja1°

Cuadro 1 1: Esquema del dispositivo experimental utilizado durante la primer y segunda etapa del proyecto Rotaciones y Sustentabilidad.

Nutriente	MODELO FREC PROD	MODELO ALTA PROD
Nitrógeno	N Modelo Rta Econ Triguero/MaiceroCurva P50%	N Modelo Sat Rta Triguero/MaiceroCurva P80%
Fósforo	120 Map (Tr y Mz) 50 SPT (S1°)	Reposición +10% Reposición +10%
Azufre	Aporte mín/Sin S	Reposición+10%

Cuadro 2: manejo de los modelos de fertilización evaluados durante el segundo ciclo experimental: i) modelo más frecuente de producción según ambiente productivo (MP) y ii) Modelo de alta producción (MAP) que apuntó a reponer nutrientes a partir de un rendimiento objetivo más un 10%.

Se realizaron las determinaciones (muestreos) sobre el suelo al inicio de la evaluación a fin de contar con un diagnóstico completo de la situación de partida, y se repitieron en el invierno en todas las campañas para algunas variables y para otras en el 3° año como punto intermedio en la duración del experimento y en el 6° año al momento de finalizar (Cuadro 3).

1. Historia de los cultivos: Se llevó el registro de la fecha de siembra, fecha de emergencia, de los distintos estados vegetativos y reproductivos y de madurez fisiológica. Se registró la distancia entre hileras de siembra y se determinó la densidad de plantas logradas a través del recuento del número total de plantas en 6 segmentos de 1 m² cada uno para trigo y soja y de 10m² para maíz.
2. Previo la siembra se llevó a cabo el muestreo y análisis de suelo. Se tomaron muestras de 0-20 sobre las que se determinarán, contenido de N-NO₃, P extractable (K&B I), S-SO₄ (turbidimetría o acetato de amonio), pH y Cond eléctrica. MO y carbono liviano fueron evaluados en 0-10 cm profundidad. En profundidad (20-40 y 40-60) sólo se hicieron determinaciones de N-NO₃. Las muestras siempre fueron enviadas a mismo laboratorio para unificar.
3. En este mismo momento, se determinaron las propiedades físicas del suelo: densidad aparente (método de cilindro), textura (método de pipeta), resistencia a la penetración (con penetrómetro de impacto), y se midió la estabilidad de los agregados (método de Le Bissonnais), la infiltración (cálculo IN.FI. INTA Castelar) y conductividad hidráulica (permeámetro de disco) y fue estimada la porosidad total.
4. Se llevó el registro de labores e insumos utilizados.

5. A madurez de los cultivos, fue cortada toda la biomasa aérea de 1m² para trigo y soja y 4 plantas al azar en el caso de maíz, con tres repeticiones para la determinación de materia seca total y estimar el índice de cosecha. Los surcos muestreados correspondieron a diferentes cuerpos de la sembradora. Las muestras fueron secadas hasta peso constante y pesadas en balanzas de precisión.
6. A la madurez de los cultivos se midió el rendimiento a partir de cosecha mecánica y se tomó una muestra de grano para ajustar humedad y determinar los componentes del rendimiento (P1000 y número de granos).
7. Una muestra de grano de las sojas del 6° año fue guardada para medir la concentración de nutrientes (N, P, S)
8. Además se realizaron relevamientos para medir la interacción de las distintas secuencias de rotación con otros componentes bióticos del sistema. Todos los inviernos se realizó un relevamiento de especies de la comunidad de malezas y determinación de la frecuencia relativa de las mismas. También fue cuantificada la cantidad y calidad de hongos de suelo (protocolo FAUBA) y el nivel de enfermedades foliares sobre las sojas comunes del tercer y sexto año.
9. Para poder cuantificar la captura y la eficiencia de uso de los recursos más importantes para la producción (agua y radiación) en las sojas del tercer y último año **fue medido el contenido de agua a la siembra y madurez fisiológica y estimado por el método de balance el consumo de agua**. Para el caso de radiación, cada 10-15 días fue medido el porcentaje de intercepción con una barra cuántica y a partir de los datos de radiación del SMN calculada la cantidad de radiación interceptada por los cultivos. Estas determinaciones fueron realizadas sobre los dos niveles de intensificación, rotación y manejo de la fertilización.

En rojo, pendiente de determinación.

	Mediciones en el Suelo	Frecuencia	Observaciones
Parámetros Químicos	Materia Orgánica	Inicio y Final	Muestreo 0 -10 cm. en laboratorio de referencia
	Carbono liviano	Inicio y Final	Muestreo 0 -10 cm. en laboratorio de referencia
	Nitrógeno	Anual	Muestreo 0 -20, 20-40 y 40-60 cm. en laboratorio de referencia
	Azufre	Anual	Muestreo 0 -20 cm. en laboratorio de referencia
	Fósforo	Anual	Muestreo 0 -20 cm. en laboratorio de referencia
	PH	Anual	Muestreo 0 -20 cm. en laboratorio de referencia
	Cond. Eléctrica	Anual	Muestreo 0 -20 cm. en laboratorio de referencia
Parámetros Físicos	Densidad aparente	Anual	Muestreo 0 -20 cm Cilindro. Fac. Agr. Lomas Zamora
	Resistencia penetración	Anual	Muestreo 0-40 cm Penetrómetro golpe Fac. Agr. Lomas Zamora
	Textura	Inicio	Método pipeta Fac. Agr. Lomas Zamora
	Porosidad Total	Inicio, 3° y 6°	Muestreo 0-10 cm Fac. Agr. Lomas Zamora
	Estabilidad agregados	Inicio, 3° y 6°	Horizonte A Fac. Agr. Lomas Zamora
	Infiltración	Inicio, 3° y 6°	Permeámetro de disco Fac. Agr. Lomas Zamora
Parám Biológicos	Hongos detritívoros de suelo	2° y 6°	Respiración y actividad metabólica. Laboratorio FAUBA
	Hongos patógenos en planta	3° y 6°	Altura mancha marrón sobre 10 plantas soja
	Malezas	Anual	Frecuencia 80 marcos al azar
	Mediciones en los cultivos	Frecuencia	Observaciones
Product	Rendimiento y componentes	Cosecha	Cosecha mecánica
	Materia Seca	Pre cosecha	3 muestras de 1 m ² en trigo y soja 4 plantas/muestra maíz
	Índice de Cosecha	Pre cosecha	3 muestras de 1 m ² en trigo y soja 4 plantas/muestra maíz

Cuadro 3: determinaciones llevadas a cabo en los cultivos de cada módulo de rotación con detalle de frecuencia temporal.

4) Resultados:

4.1) Rendimientos y aporte rastrojos:

	Tratamiento	Campaña 14-15		Campaña 15-16		Camp 16-17	Campaña 17-18				Campaña 18-19			
		M Productor		M Productor		M Productor	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP
		Invier	Verano	Invier	Verano	Verano	Invierno		Verano		Invierno		Verano	
El Ranchito (San Pedro)	Monocultura		4452		2743	3649			1746	1938			4563	4811
	Tercios	4059	2564		9046	3649	4047	4373	708	683			10304	10995
	Intensificada	4059	2571	810	8569	3717	4558	4719	764	740	1050	1030	10540	11087
La Lucila (Pergamino)	Monocultura		5408		5268	4586			4596	4667			4794	4960
	Tercios	3475	3675		11215	4420	4149	4423	3635	3627			11343	12124
	Intensificada	3354	3663	3015	9890	4483	4826	4990	3333	3382	2598	2859	10436	12007
San Felipe (Bragado)	Monocultura		5293		4778	4806			5930	5953			5712	5798
	Tercios	5470	3546		12990	4558	6700	6822	3523	3495			14480	15068
	Intensificada	5526	3547	790	10627	4623	6829	7016	3645	3615	4016	4061	12536	12998
San Felipe Degr (Bragado)	Monocultura		5485		4185	4046			2766	2808			4094	4192
	Tercios	5420	3686		10840	4039	4814	5873	1804	1731			9394	9850
	Intensificada	5420	3694	1298	10975	4188	5244	5971	1901	1796	2850	2952	9480	10103

Cuadro 4: rendimiento de los cultivos de invierno (trigo 1° año y arveja 2° en cada vuelta de rotación) y verano en las primeras cinco campañas diferenciado entre tratamientos y sitios. La segunda vuelta de rotación se diferencia entre manejos de fertilización.

Marcadas diferencias productivas se observaron entre sitios y campañas. El sitio de alta productividad de Bragado presentó rendimientos altos y estables entre campañas, con excepción de la arveja en el primer ciclo. El sitio de Pergamino le siguió en productividad con más variabilidad en sus resultados al igual que el ambiente deteriorado de Bragado y, el ambiente de San Pedro con los menores y más variables rendimientos (Cuadro 4).

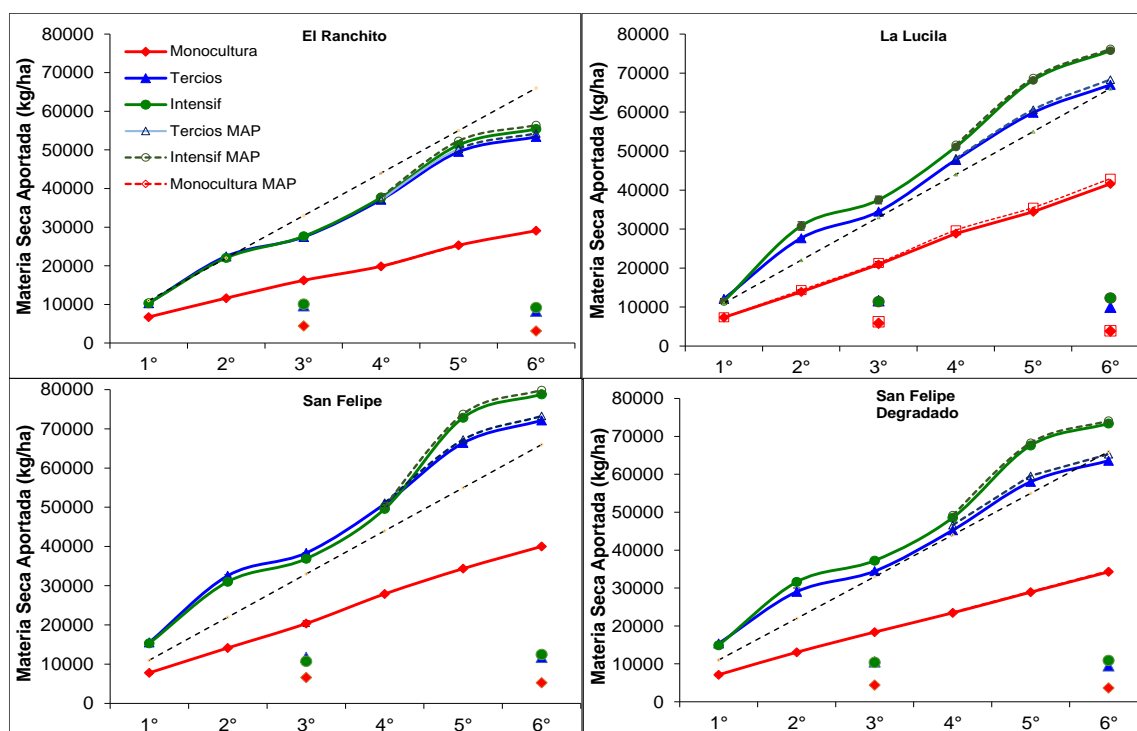


Figura 1: materia seca aérea aportada y acumulada durante las seis campañas diferenciada entre tratamientos y sitios (líneas llenas MP, líneas punteadas MAP) y valores de rastrojo en cobertura en tercera y sexta campaña medida en el mes de junio (puntos). La línea punteada representa el valor teórico promedio de 11Tn de aporte de rastrojos anual para estabilizar MO.

En todos los ambientes, la secuencia bajo monocultura de soja no sólo aportó la mitad de la materia seca (MS) aérea que las rotaciones evaluadas sino que además se degradó una mayor parte de lo aportado mostrando un marcado balance negativo y una pérdida importante en el stock de carbono en superficie. Por su parte, la rotación intensificada, aumentó el aporte de MS respecto a la rotación de tercios en todos los sitios permitiendo sostener e incluso aumentar (según productividad del sitio) el stock de carbono en superficie revelando un balance positivo de esta secuencia con excepción del sitio de San Pedro. Aquí, con bajos rendimientos asociado a la baja cantidad de MS producida, presentó pérdidas de MS en superficie bajo las tres rotaciones evaluadas. En Pergamino y el ambiente deteriorado de Bragado, sólo bajo rotación intensificada la MS en superficie se encuentra estabilizada aportando por sobre el valor de referencia de 11Tn/año de MS promedio. Y en el sitio de mayores rendimientos asociado a la alta cantidad de MS producida, las rotaciones de tercios e intensificada que superaron el valor de referencia de requerimientos de MS anual, se encuentran en equilibrio, incluso aumentando el stock de carbono en superficie (Figura 1).

4.2) Parámetros químicos:

Materia orgánica y carbono liviano

La secuencia bajo monocultura de soja afectó en todos los sitios el stock de carbono orgánico en suelo mientras que, bajo la secuencia de tercios los valores se mantuvieron similar o levemente inferiores y sólo bajo rotación intensificada se registraron leves incrementos en el stock de carbono orgánico (Figura 2). El manejo de la fertilización no modificó los valores de carbono orgánico (datos no presentados).

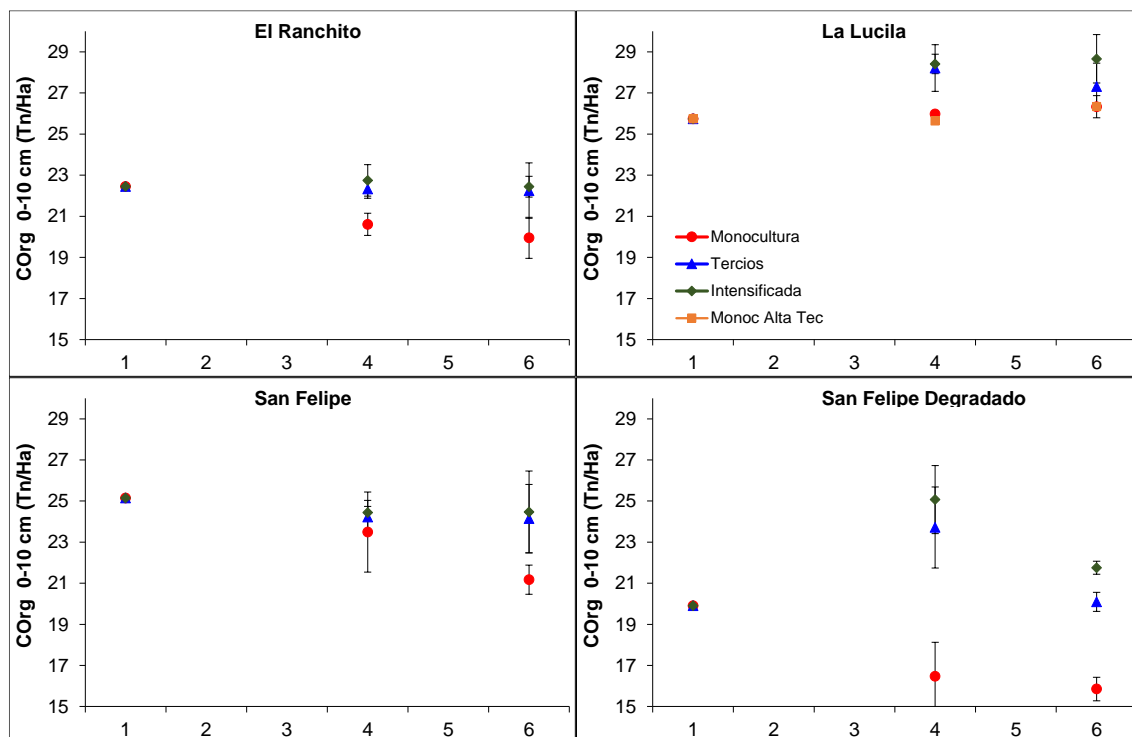


Figura 2: stock de carbono orgánico medido en los meses de junio al inicio del experimento, en el cuarto y sexto año.

Luego de cinco campañas, las diferencias en stock de C orgánico total como en su fracción joven entre secuencias de cultivos fue muy marcada. En este sentido, existió una tendencia a mayores valores de esta variable sensible al manejo a favor de la rotación intensificada respecto a la rotación de tercios consistente en ambas campañas evaluadas aumentando el stock de carbono orgánico y liviano en un 3 y 12% respectivamente (Figura 3). El manejo de la fertilización no modificó los valores de carbono liviano (datos no presentados).

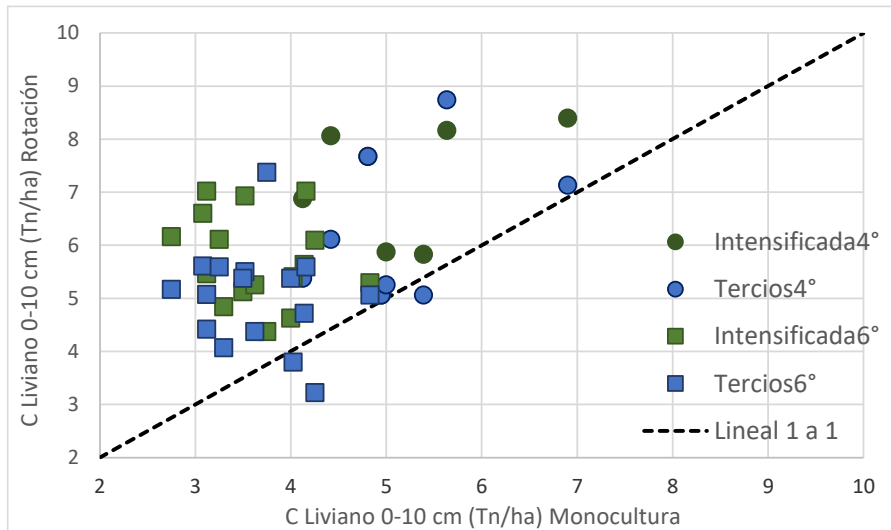


Figura 3: valores de stock de carbono liviano medidos en suelo bajo monocultura de soja y bajo las secuencias de tercios e intensificadas (datos de cuarta y sexta campaña).

Conductividad eléctrica y Ph:

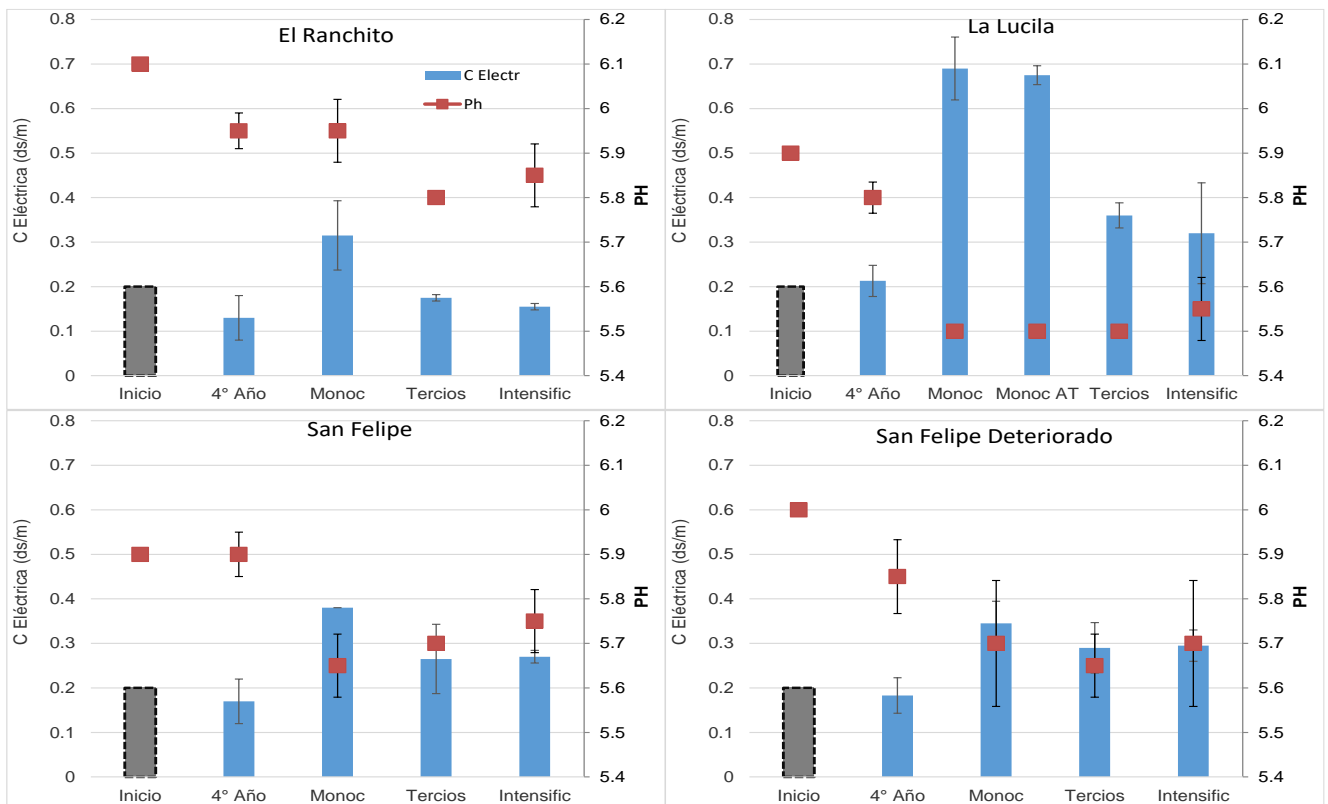


Figura 4: valores de conductividad eléctrica y pH en 0-20 cm diferenciado entre tratamientos y sitios.

En tres de los cuatro experimentos, los valores de conductividad eléctrica medidos en el sexto año aumentaron respecto al valor inicial del experimento bajo las tres rotaciones evaluadas, pero bajo la secuencia de monocultura este aumento fue más marcado. Entre los manejos de MP y MAP no hubo diferencias significativas (datos no presentados). Respecto del pH, todos los tratamientos acidificaron sin encontrar diferencias entre secuencia de cultivos. Entre los manejos MP y MAP tampoco hubo diferencias significativas en el valor de pH (datos no presentados). Las mediciones de CE y pH en el cuarto año no habían mostrado diferencias marcadas entre rotaciones pero sí la tendencia general a acidificar el suelo (Figura 4).

4.3) Parámetros físicos:

Densidad aparente, porosidad total y resistencia a la penetración:

Sobre los dos suelos con más contenido de arcillas, la secuencia de monocultura de soja no tuvo efectos sobre la Dap y porosidad total hasta el último año, mientras que sobre los dos suelos más arenosos el efecto se observó a partir del tercer año. Respecto a la resistencia para el crecimiento de raíces y con excepción del sitio planteado sobre el suelo más arcilloso, bajo monocultura se observaron aumentos en los valores, llegando incluso en el suelo más arenoso a alcanzar niveles que limitan el crecimiento radicular (Figura 5, 6 y 7). Seguramente las diferencias en composición textural explican estas diferencias entre sitios. Por su lado, la rotación intensificada presentó leves mejoras en los valores de Dap, Porosidad y Resistencia respecto a la secuencia de tercios.

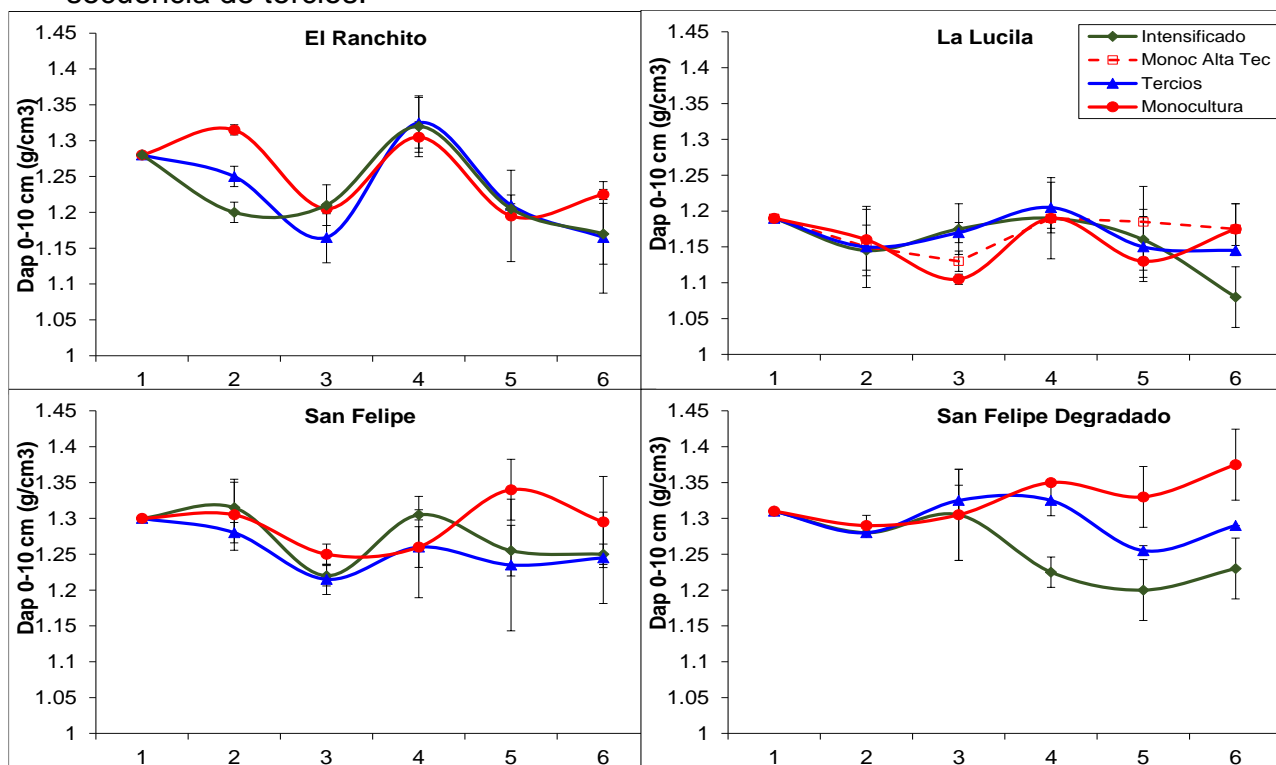


Figura 5: evolución de la densidad aparente 0-10 cm durante las seis campañas diferenciado entre sitios y tratamientos

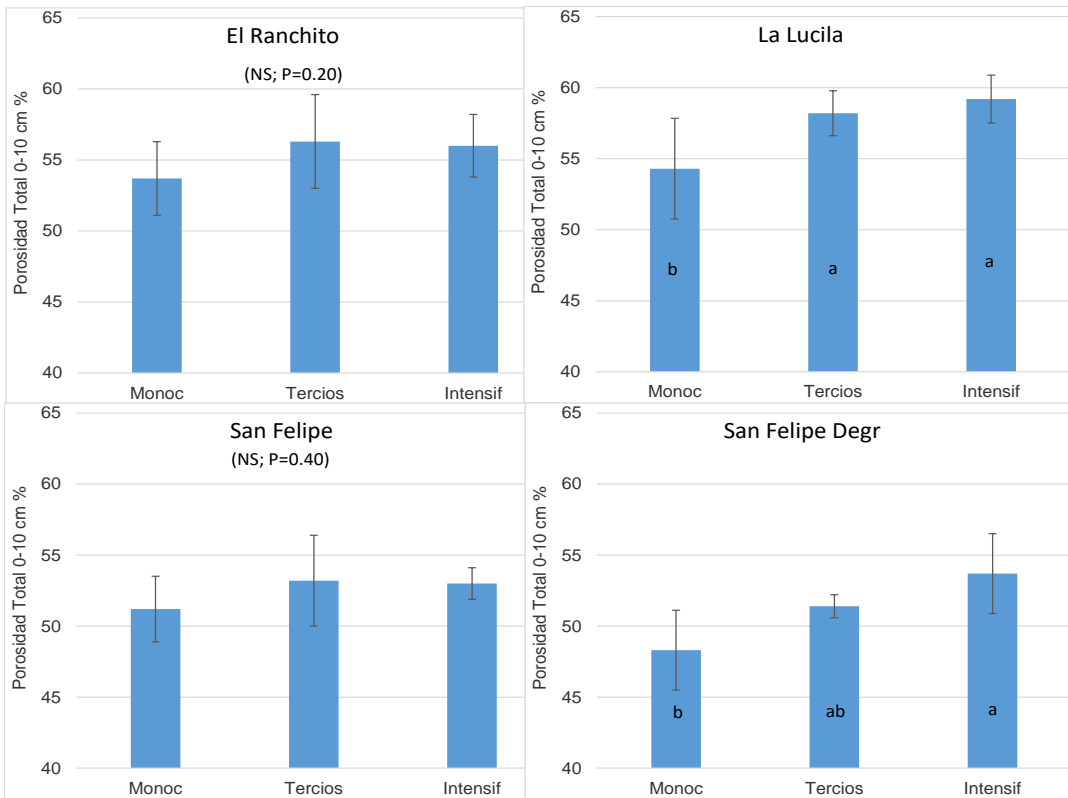


Figura 6: porosidad total (0-10 cm) en el sexto año diferenciado entre sitios y tratamientos

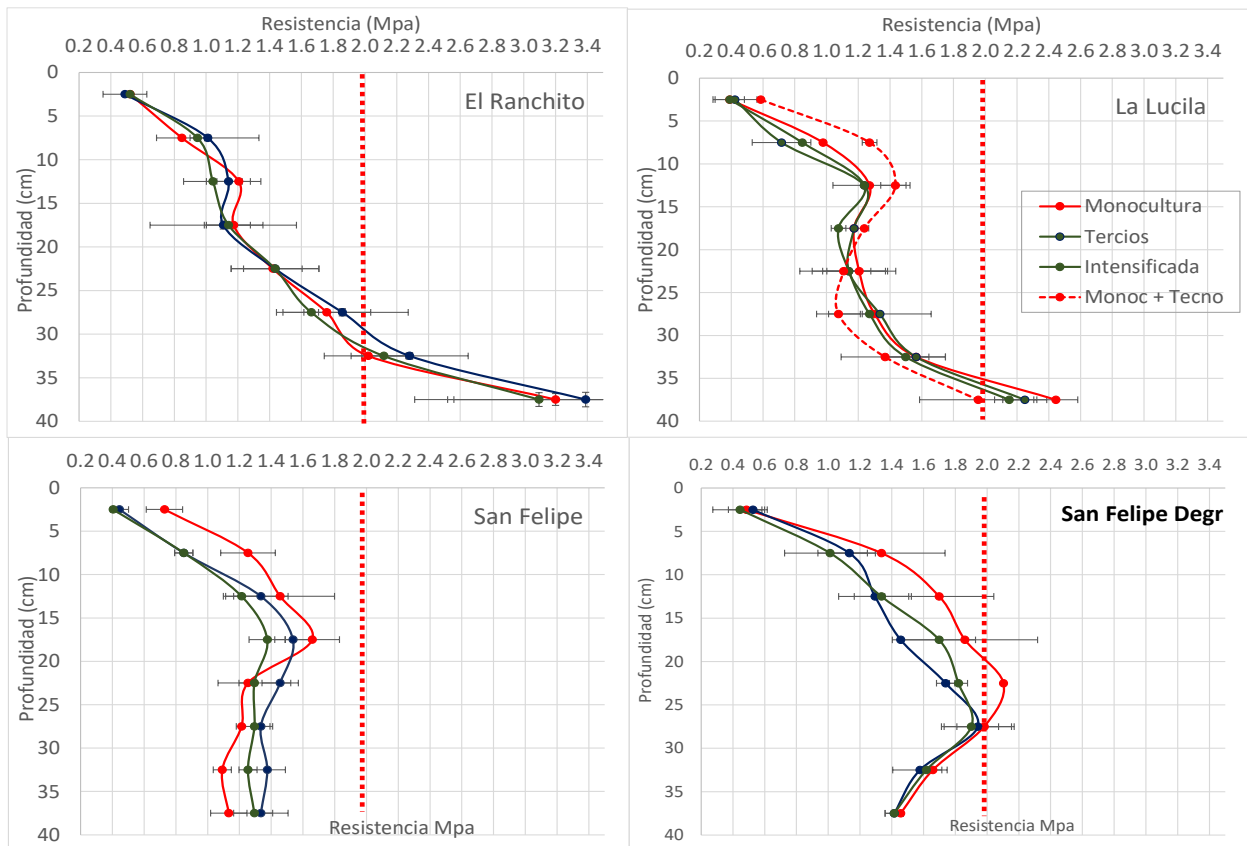


Figura 7: resistencia al crecimiento radicular en los primeros 40 cm de profundidad diferenciado entre tratamientos y sitios. Método de golpe.

Infiltración y estabilidad de agregados:

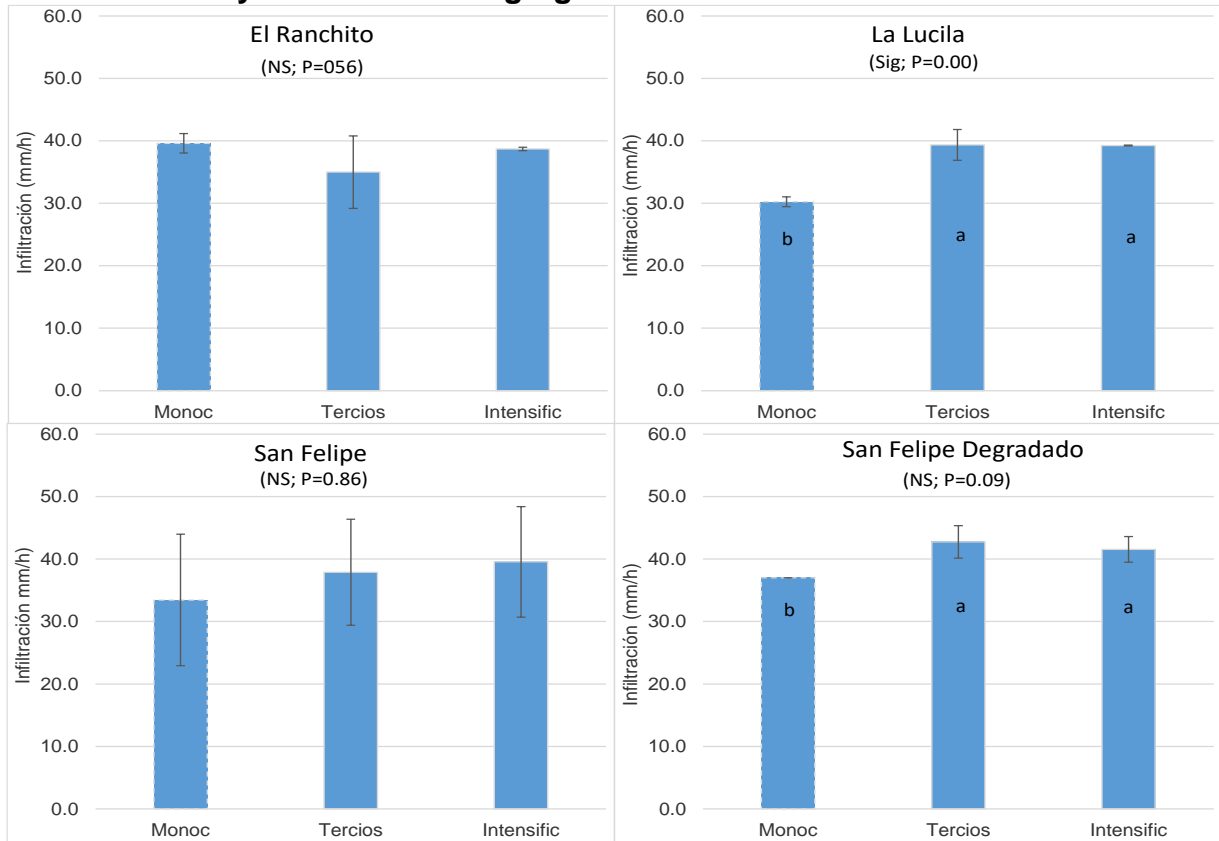


Figura 8: valores de infiltración en mm/hora cálculo IN.FI. (INTA Castelar) diferenciado por sitio y tratamiento.

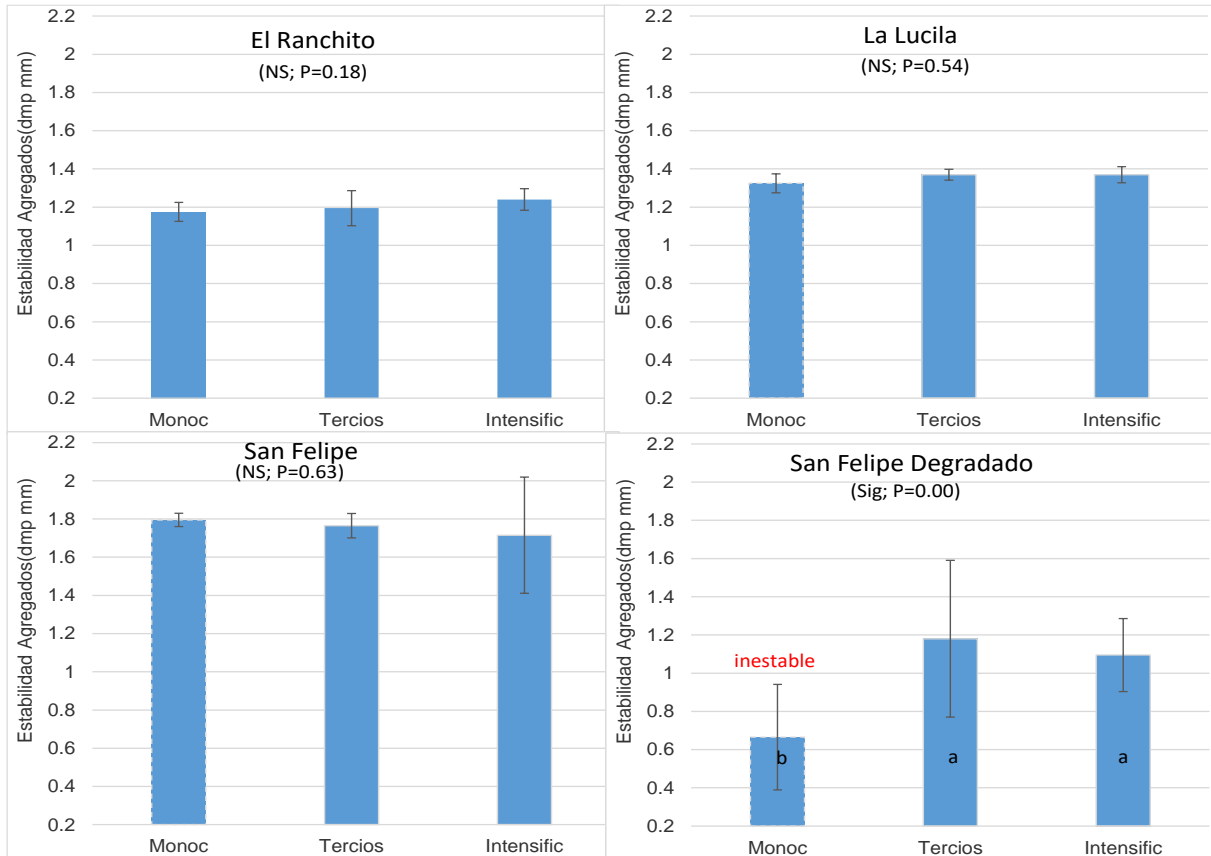


Figura 9: valores de estabilidad de agregados expresados en diámetro promedio en mm calculados con el método de Le Bissonnais, diferenciado entre sitios y tratamientos.

Variables integradoras como infiltración y estabilidad de agregados muy sensibles a la rodadura del tránsito y a la textura del suelo mostraron tendencias a afectar sus valores sin alcanzar diferencias significativas bajo monocultura de soja con excepción de infiltración en La Lucila y estabilidad agregados en el ambiente más arenoso donde el efecto alcanzó a ser categórico (Figura 8 y 9).

5) Resultados Campaña 2019-20. Cultivos de Soja 1° sobre las distintas secuencias de rotaciones.

5.1) Lluvias en el barbecho y durante el ciclo de los cultivos:

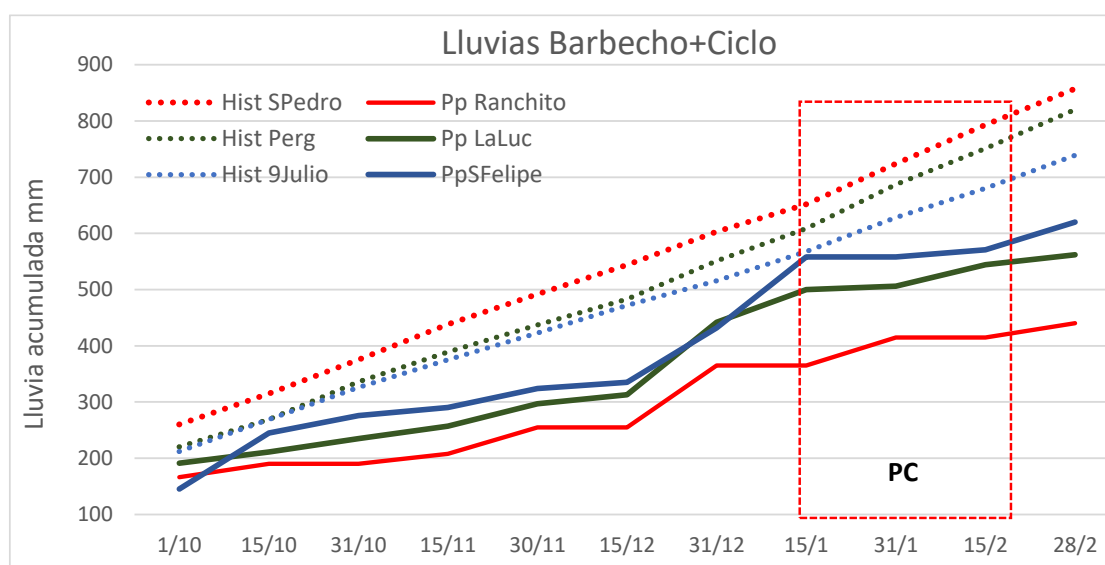


Figura 10: Lluvias acumuladas en barbecho (1/5 al 1/10) y lluvias en el ciclo de la campaña (líneas llenas) y de la histórica de la localidad de referencia (1979 a 2019)

Las lluvias de barbecho durante la campaña fueron inferiores a la histórica en todos los sitios, entre 30 y 90 mm menos, seguido de una primavera seca interrumpida por eventos de lluvia previo al período crítico que, igualmente marcaron un déficit de lluvias acumuladas al comienzo de R3 de 300 y 110 mm en El Ranchito y La Lucila, respectivamente. Sólo en los experimentos de Bragado se pudo reponer la condición hídrica. Luego el PC (R3-R6) se caracterizó en todos los sitios por las escasas lluvias (15 a 40 mm) (Figura 10).

5.2) Uso de recursos: agua, radiación y nutrientes

Nota: los datos de agua y nutrientes aun no han podido ser procesadas

Radiación

Los cultivos de soja bajo la secuencia de monocultura alcanzaron menores porcentajes de interceptación de radiación en el período crítico respecto a las secuencias rotadas con diferencias muy importantes en el sitio de San Pedro y en menor medida en el ambiente deteriorado de Bragado y Pergamino. En el ambiente de alta productividad de Bragado los cultivos no mostraron diferencias. En dos de los cuatro sitios la secuencia intensificada acumuló mayor cantidad de RFA respecto de la de tercios especialmente desde R6.1 (principios llenado) hasta madurez fisiológica (Figuras 11 y 12). No hubo

diferencias significativas entre los dos manejos de fertilización ($P=0.10$) sin interacción con el sitio y rotación.

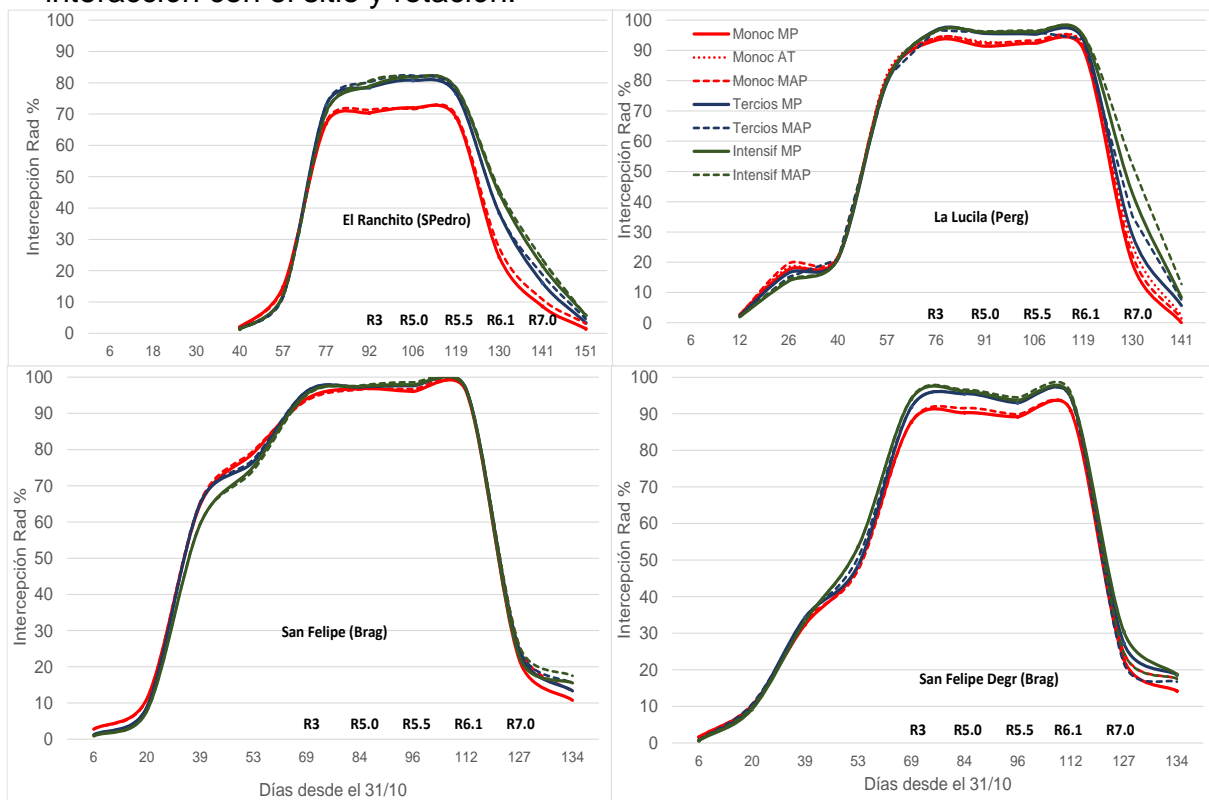


Figura 11: intercepción de radiación en porcentaje durante el ciclo de los cultivos diferenciado entre sitio y tratamientos. Se remarcan los estados fenológicos relevantes.

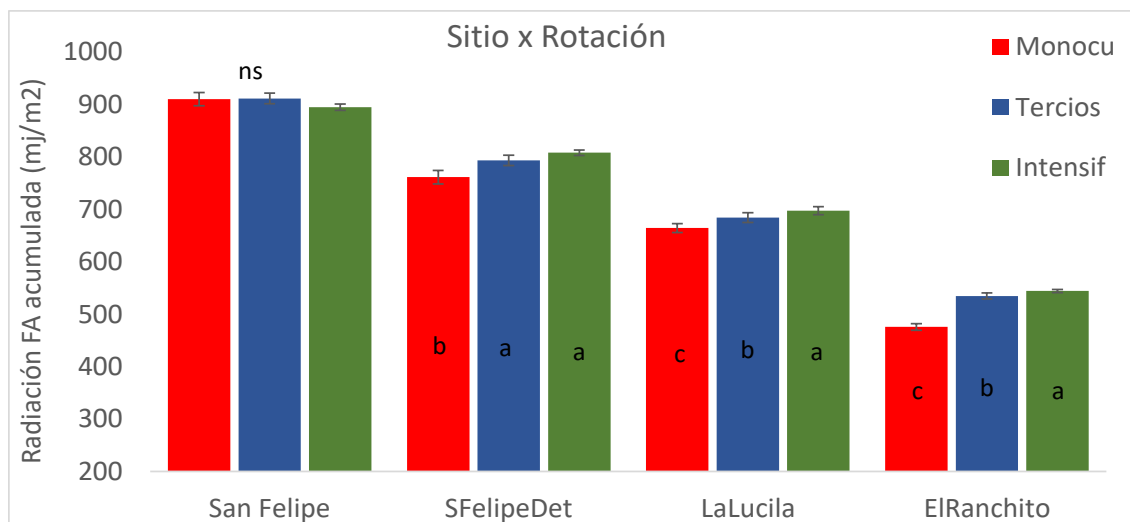


Figura 12: valores de radiación fotosintéticamente activa acumulada en el ciclo de los cultivos diferenciado entre sitios y tratamientos.

Respecto a la eficiencia con que los cultivos usaron este recurso, las sojas bajo secuencia de monocultura también fue afectada en todos los sitios (con interacción de magnitud) mientras que, bajo rotación intensificada mejoraron la eficiencia (Figura 13). Se observaron diferencias significativas entre los dos manejos de fertilización ($P=0.01$) sin interacción con el sitio y rotación.

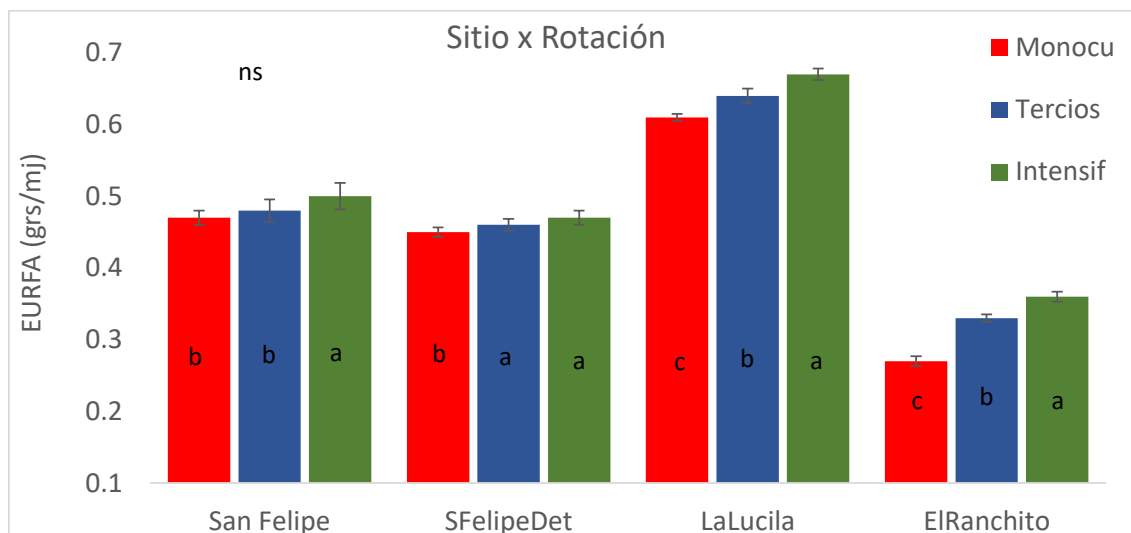


Figura 13: eficiencia en el uso de radiación fotosintéticamente activa para rendimiento diferenciado entre sitios y tratamientos.

5.3) Rendimiento y componentes:

Peso relativo de las variables por sitio

Variable	Rotación		Fertiliz		RotacxFerf		Error
	%SCT	Sig	%SCT	Sig	%SCT	Sig	%SCT
El Ranchito	99	0.00	0	0.55	1	0.11	0
LaLucila	92	0.00	7	0.00	0	0.17	1
San Felipe	36	0.11	27	0.07	3	0.76	34
S Felipe Det	83	0.00	10	0.03	0	0.99	7
Promedio	78		11		1		11

Cuadro 5: porcentaje suma cuadrados totales y significancia estadística para las variables Rotación, Fertilización y su interacción entre sitios.

Se observaron diferencias significativas entre rotaciones y manejo de la fertilización, en interacción con el sitio (de magnitud y no de orden). Analizando por sitio, la variable más importante fue rotación, sin interacción con el manejo de la fertilización (Cuadro 5).

Rotación	Rinde (kg/ha)	Plantas/m ²	Granos/m ²	P1000 (grs)	Mat Seca(kg/ha)	IC (%)
Intensificada	4299 a	32.8 c	2917 a	146.3 a	9631 a	38.3 a
Tercios	4099 b	35.5 b	2807 b	144.5 b	9264 b	37.5 b
Monocultura	3771 c	38.7 a	2637 c	140.4 c	8798 c	35.7 c
Probabilidad	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DMS (5%)	52	0.5	33	1.5	182	0.3
RotacxFert	0.73	0.47	0.9	0.98	0.32	0.03

Cuadro 6: datos de rendimiento, componentes, materia seca fijada e índice de cosecha promedio de los cuatro sitios diferenciado entre Rotaciones.

Los cultivos de soja bajo las tres secuencias de cultivos evaluadas se diferenciaron en la cantidad de materia seca fijada y particionada a rendimiento. Esto explicó la mayor cantidad de granos fijados y de mayor peso.

Este comportamiento fue consistente entre los cuatro sitios, cambiando la magnitud de las diferencias pero no el orden, tanto de los componentes como de los sub componentes del rendimiento (Cuadro 6).

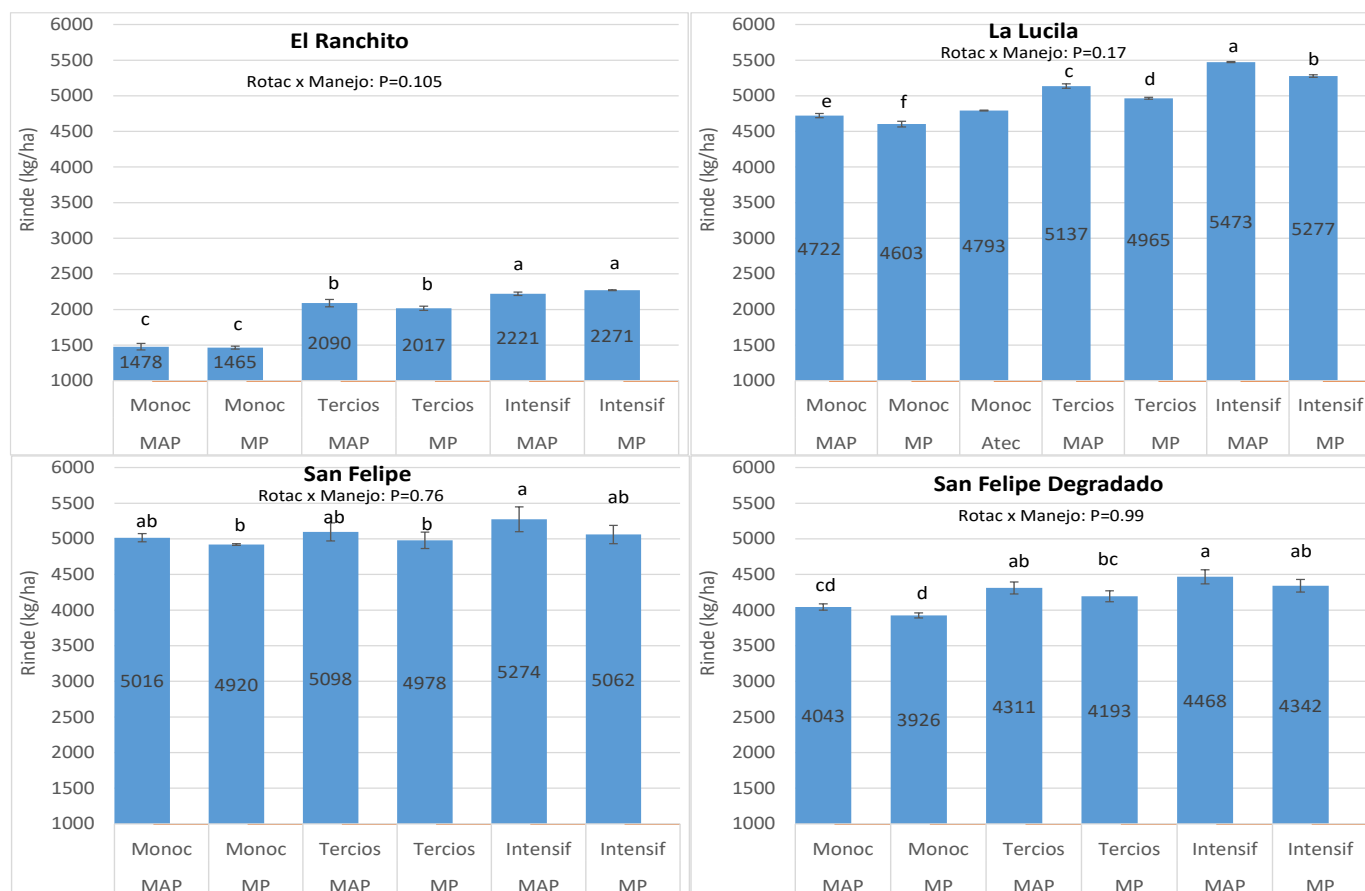


Figura 14: rendimiento de las sojas diferenciado entre sitios, rotaciones y manejo de la fertilización

Respecto de la rotación de tercios, en promedio, el plus por intensificar la rotación alcanzó los 200 kg/ha de soja mientras que el costo de la monocultura alcanzó los 330 kg/ha con valores extremos de 600 kg/ha mientras que, el efecto de la fertilización alcanzó los 150 a 200 kg/ha. Los efectos positivos de la secuencia intensificada se observaron en todo el rango de productividad con una magnitud similar. Mientras que, el costo de la monocultura también se observó en todo el rango de productividad pero fue mayor en los ambientes de menor productividad. Tanto en términos absolutos como relativos se observa el impacto de las secuencias en interacción con la productividad del sitio. Los ambientes más frágiles en términos de productividad son los más afectados por la monocultura (Cuadro 6; Figura 14).

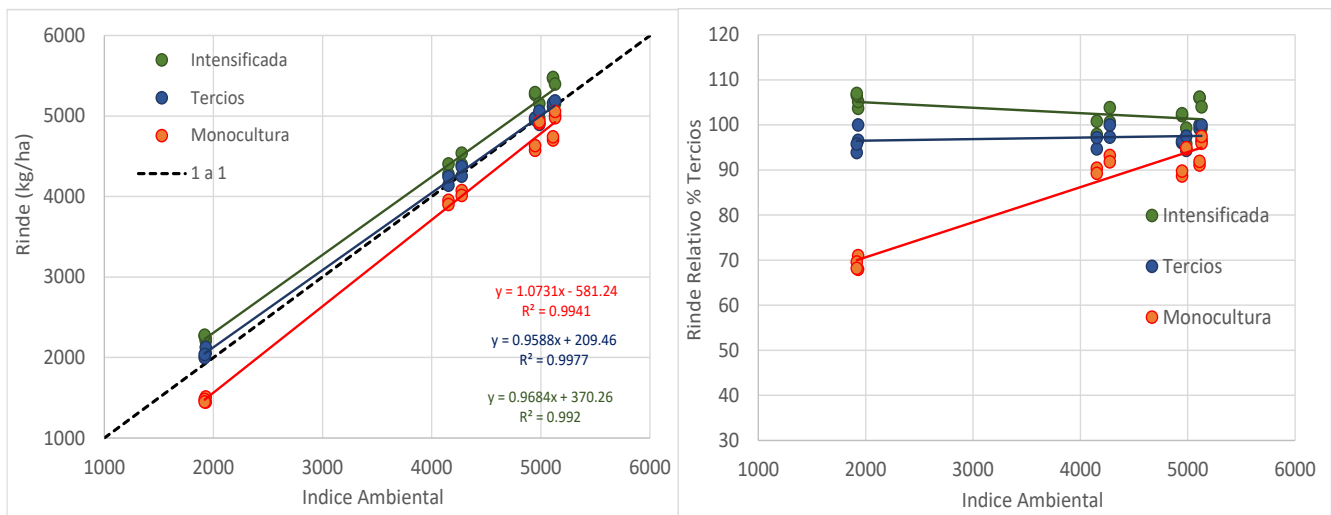


Figura 15: rendimiento absoluto (izq) y relativo (der) en función de la productividad ambiental del sitio diferenciado entre secuencias de rotación (datos MP y MAP).

Rendimiento energético. Datos 6 campañas:

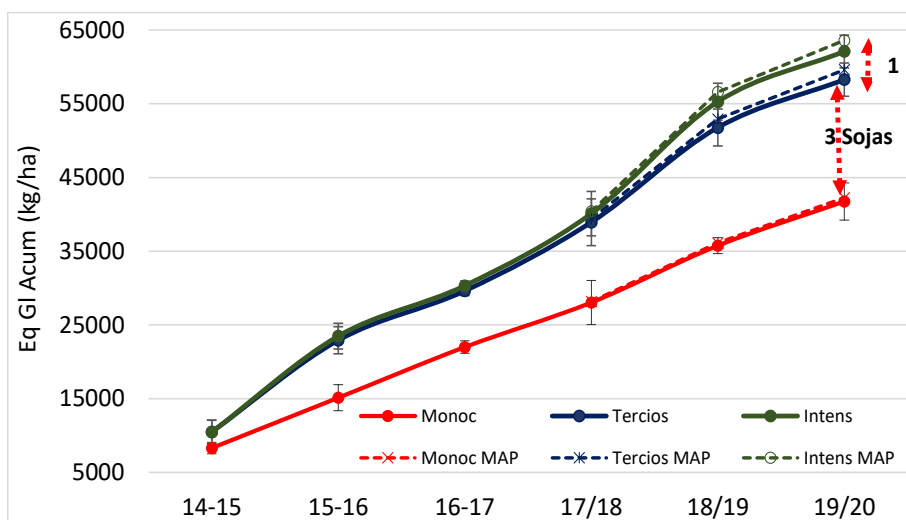


Figura 16: valores de equivalente glucosa por campaña (izq) y acumulado durante las 6 campañas (der) diferenciado entre rotaciones y manejo de la fertilización.

Para comparar rendimientos de cultivos energéticamente diferentes se comparan en valor equivalente energético de glucosa. La secuencia de cultivos intensificada generó un plus equivalente a una soja adicional mientras que, el costo de la monocultura alcanzó a un equivalente de tres cosechas de soja, media cosecha/año de pérdida respecto a la rotación de tercios (Figura 16).

Impacto del manejo de la fertilización sobre los rindes del segundo ciclo:

Teniendo en cuenta el efecto acumulado sobre los rendimientos, la práctica de cambiar el paquete de fertilización tradicional del productor por el de alta producción, incrementó los rendimientos bajo las tres secuencias de rotación evaluadas de manera consistente en todos los sitios (con interacción de magnitud). Bajo monocultura el incremento fue del 3% mientras que para tercios e intensificada fue del 5%. (Figura 17)

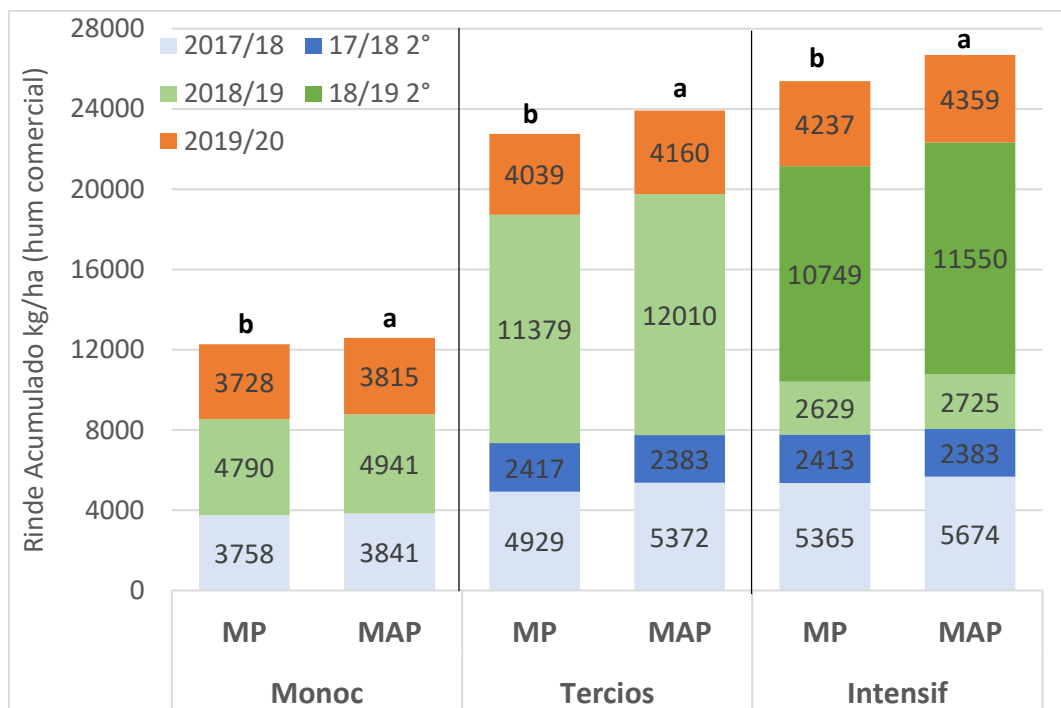


Figura 17: rendimiento acumulado (kg/ha) y contribución parcial de cada campaña durante el segundo ciclo de experimentación. Datos promedio de los sitios diferenciados entre manejos de fertilización (MP y MAP) para cada secuencia de cultivos.

6) Balance parcial de fósforo, nitrógeno y azufre en la rotación:

A continuación se presenta el balance acumulados de P, N y S a lo largo de seis años en los tres tratamientos. Los balances son parciales, solo consideran fertilización y fijación biológica (en soja y arveja) como entradas, y nutrientes cosechados como salidas. Respecto al balance de fósforo, bajo monocultura de soja fueron muy negativos mientras que en rotaciones de tercios e intensificadas fueron neutros a levemente positivos. El salto del manejo en la fertilización (MAP) mejoró significativamente los balances (Figura 17). Respecto al balance de nitrógeno, todas las rotaciones presentaron valores negativos especialmente bajo monocultua, incluso bajo el supuesto de 80% de fijación de N. El aumento de la fertilización (MAP) redujo levemente dicha pérdida (Figura 18).

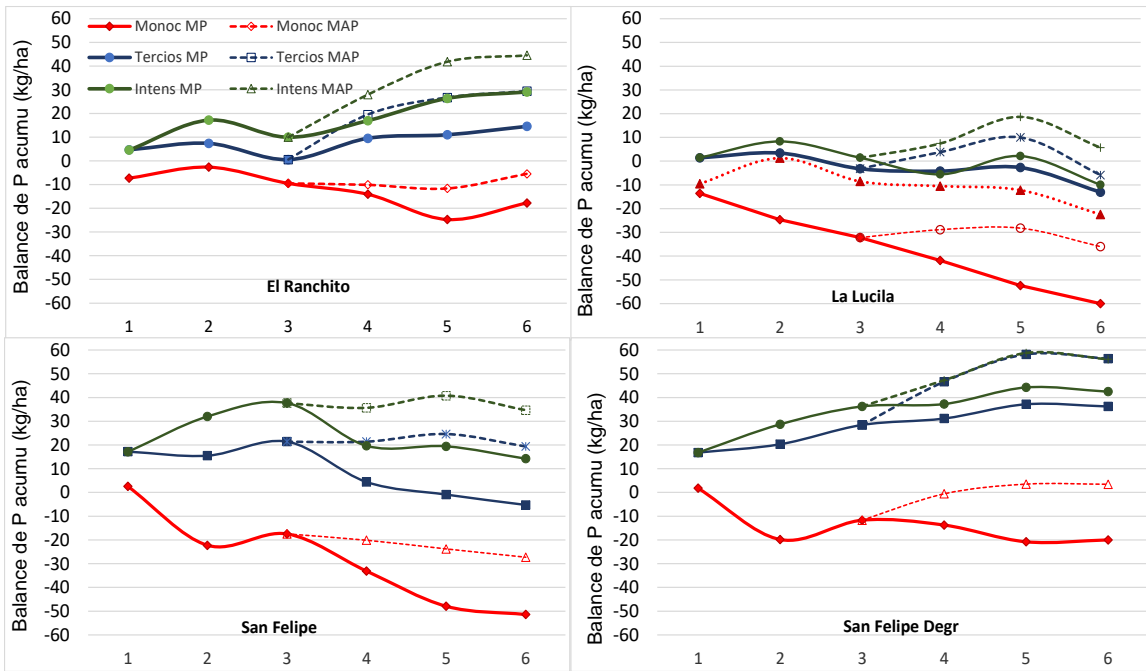


Figura 17: balance acumulado aparente de fósforo durante las seis campañas en los cuatro experimentos diferenciado entre tratamientos.

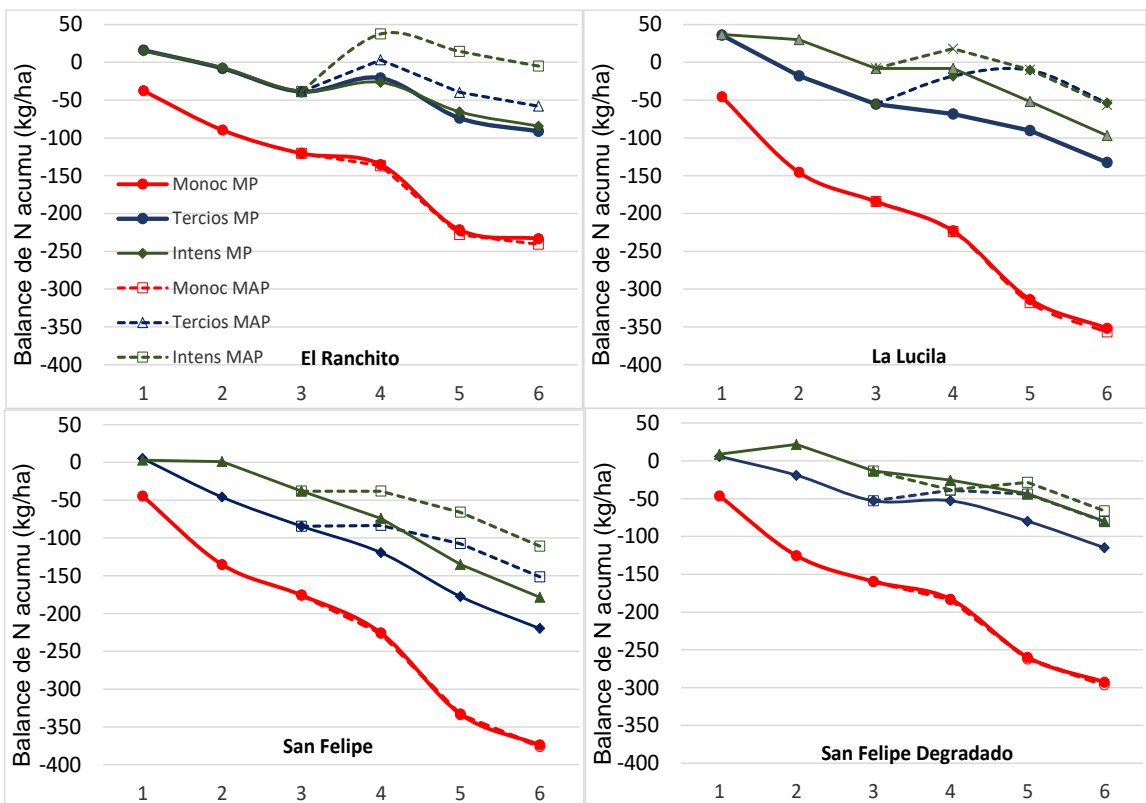


Figura : balance acumulado aparente de nitrógeno durante las tres campañas en los cuatro experimentos diferenciado entre tratamientos. Para el caso de Monocultura se graficaron supuestos de 40 y 80% de fijación de N (líneas punteadas).

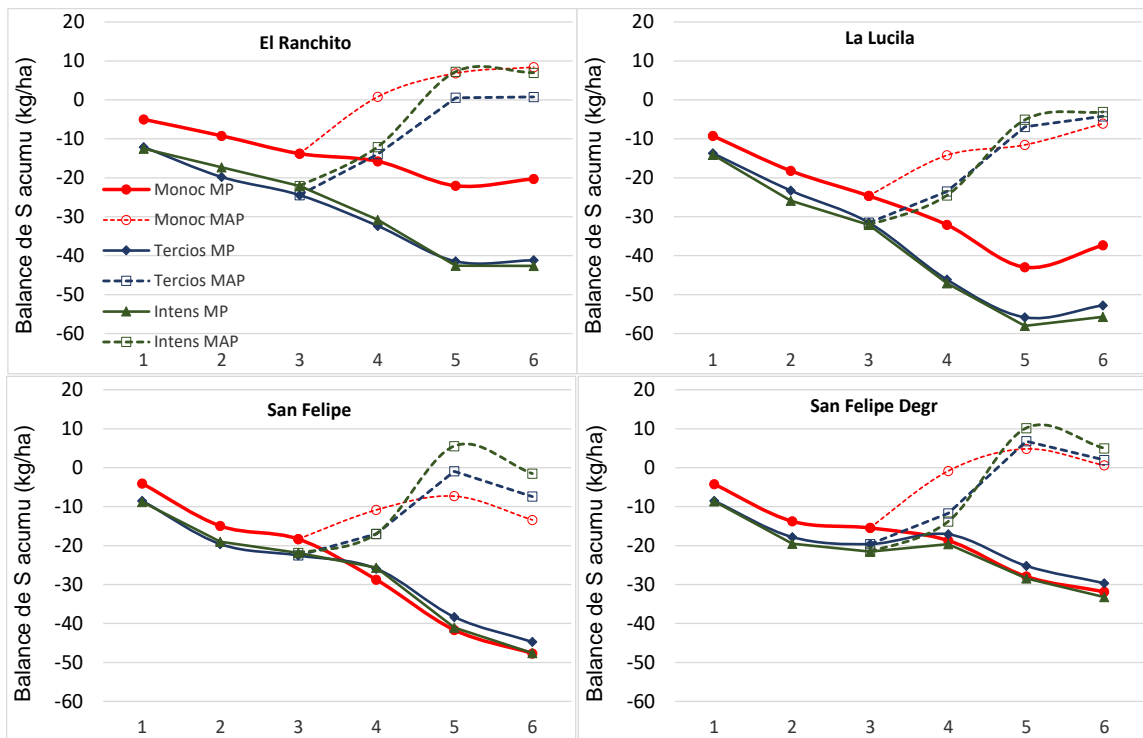


Figura 19: balance acumulado aparente de azufre durante las tres campañas en los cuatro experimentos diferenciado entre tratamientos

En azufre y bajo el manejo tradicional de producción, los balances fueron muy negativos en todas las rotaciones y pudieron mejorarse y estabilizarse bajo el manejo de alta producción (MAP) (Figura 19).

7) Cambios en otros componentes del sistema.

7.1) Evolución de malezas:

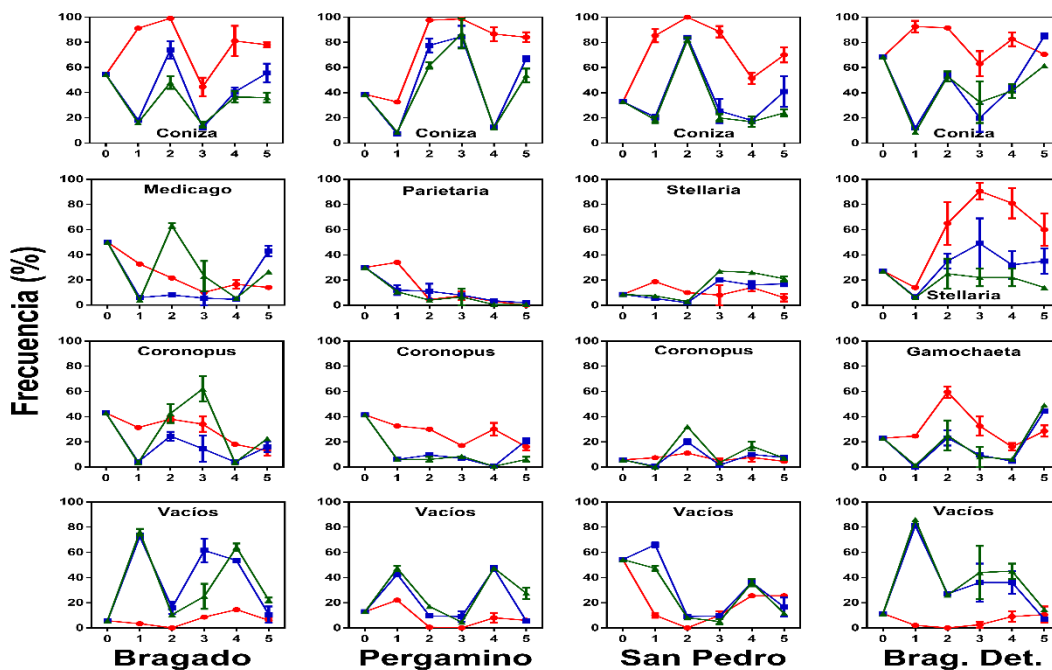


Figura 20: evolución de la frecuencia de malezas más importantes y de cuadros vacíos por sitio y tratamiento de rotación evaluadas en mayo de las campañas correspondientes.

Rotaciones con mayor cantidad de cultivos limitaron la expresión de malezas sensibles a estas señales como rama negra, siendo el aporte de trigo el más relevante (Figura 20). La secuencia bajo monocultura fue más demandante de controles químicos específicos en tiempos y productos. En este sentido, la aparición de malezas resistentes a glifosato como Rye grass y *Amarantus spp* se dio bajo dicha secuencia.

7.2) Evolución de Septoria Sojina:

Otro componente afectado por la secuencia de rotación fue el complejo de las enfermedades foliares, en especial mancha marrón, donde se pudieron cuantificar diferencias importantes en la altura de la planta alcanzada por la enfermedad durante todo el ciclo del cultivo para la secuencia de soja continua sin diferencias entre rotaciones de tercios e intensificada. También se observaron diferencias en los valores de abscisión (nudos sin hojas/nudos totales) asociados a dicha enfermedad (datos no presentados) (Figura 21).

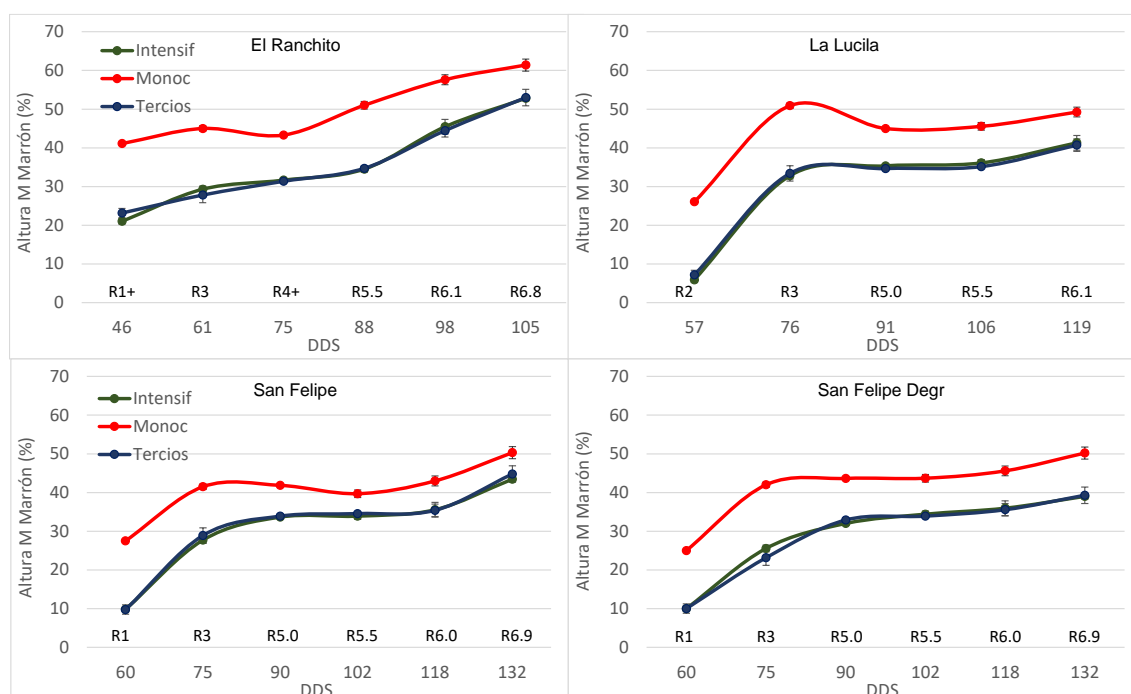


Figura 21: dinámica de la incidencia (altura de planta) de mancha marrón por sitio y tratamiento de rotación durante gran parte del ciclo del cultivo (R1 a R6).

7.3) Efectos sobre microorganismos de suelo. María Semmartín FAUBA-CONICET

Como promedio de sitios, la tasa de respiración de suelos bajo monocultura cayó un 25% respecto a las secuencias de Tercios e Intensificada coincidente con los trabajos previos de Dacunto et al 2018. Sin embargo y a diferencia con lo visto por Dacunto en el segundo año del experimento, el agregado de un sustrato rico en carbono aumentó la tasa de respiración en un orden de magnitud sin diferencias significativas entre tratamientos pero mostrando la misma tendencia (menor tasa bajo monocultura).

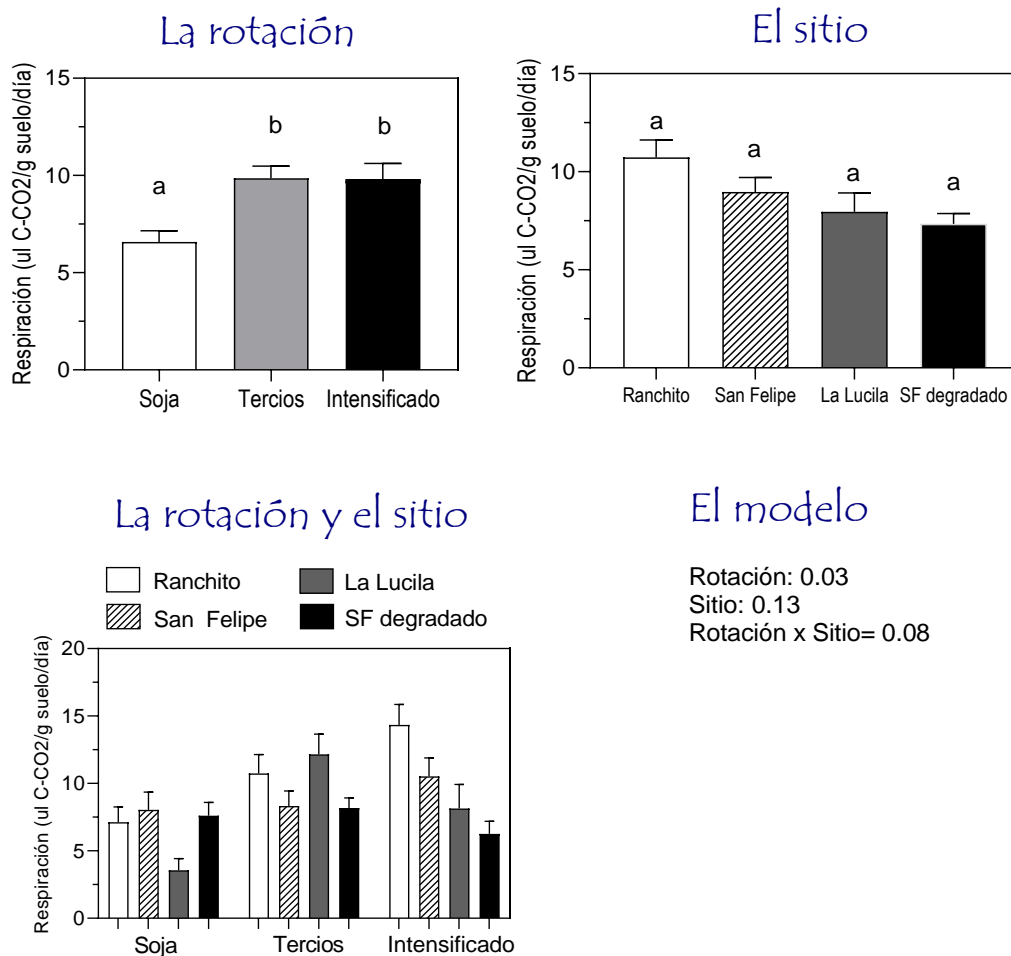


Figura 22: tasa de respiración potencial de muestras de suelo de las tres secuencias de rotación evaluadas. Datos integrados de respiración diaria durante 10 días.

8) Resultado económico de la secuencia:

Margen bruto:

Primer Ciclo	Resultados 2014-15			Resultados 2015-16			Resultados 2016-17			Promedio		
	Monocult	Tercios	Intensific	Monocult	Tercios	Intensific	Monocul	Tercios	Intensific	Monoc	Tercios	Intens
El Ranchito	747	658	660	348	702	493	396	376	390	497	579	514
La Lucila	942	722	723	919	948	1030	754	703	720	872	791	824
San Felipe	877	913	921	730	1073	650	791	724	740	799	903	770
SFelipe Det	915	938	940	599	776	777	572	547	583	695	754	767
Promedio	870	808	811	649	875	738	628	588	608	716	757	719
Prom % Tercios	108	100	100	74	100	84	107	100	104	95	100	95

Cuadro 7: margen bruto por sitio y secuencia para el primer ciclo de evaluación. Serie precio 2010-2020; precio Neto Trigo: 142, Maíz: 116, Soja: 230, Arveja verde 195 y Arveja amarilla: 140 U\$/Tn.

Segundo Ciclo	Resultados 2017-18						Resultados 2018-19						Resultados 2019-20						Promedio					
	Monocult		Tercios		Intensific		Monocult		Tercios		Intensific		Monocult		Tercios		Intensific		Monocult		Tercios		Intensific	
Campo	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP	MP	MAP
El Ranchito	80	1	186	148	277	216	703	710	808	820	834	801	-81	-77	58	73	107	96	234	211	351	347	406	371
La Lucila	722	670	812	753	840	782	775	758	873	879	1081	1186	658	688	761	805	863	910	718	705	815	812	928	959
San Felipe	1035	967	1111	1031	1157	1086	984	944	1189	1157	1260	1212	686	707	700	728	720	770	902	873	1000	972	1046	1023
SFelipe Det	254	194	453	508	537	537	600	564	563	520	730	712	450	477	514	541	550	580	435	412	510	523	606	610
Promedio	523	458	641	610	703	655	766	744	858	844	976	978	428	449	508	537	560	589	572	550	669	664	746	741
Prom% Tercios	82	72	100	95	110	102	89	87	100	98	114	114	84	88	100	106	110	116	86	82	100	99	112	111

Cuadro 8: margen bruto por sitio, secuencia y manejo de fertilización para el segundo ciclo de evaluación. Serie precio 2010-2020; precio Neto Trigo: 142, Maíz: 116, Soja: 230, Arveja verde 195 y Arveja amarilla: 140 U\$/Tn.

Mientras que, en el primer ciclo de evaluación no se observaron diferencias importantes en el margen bruto entre las secuencias, en el segundo ciclo se pudieron cuantificar pérdidas sobre el margen bruto cercanas al 20% bajo monocultura e incrementos del 11% por intensificación de la secuencia de rotación. Por su parte, el modelo de fertilización MAP sostuvo el margen bruto respecto del manejo del productor bajo rotación de tercios e intensificada (Cuadro 7 y 8). Cabe destacar que la inversión aumentó en promedio entre un 13 y 19% bajo secuencia intensificada respecto de la rotación de tercios. Otro aspecto a resaltar es que, la variabilidad de los márgenes bajo la secuencia de monocultura fue mayor en los ambientes menos productivos. Bajo esta secuencia se alcanzaron, por un lado, los perores MB en los ambientes de menor productividad y por otro, no se alcanzaron los máximos resultados en los buenos ambientes. La secuencia de rotación intensificada permitió mejorar el MB del ciclo en relación a la rotación de tercios de manera consistente, independientemente de la productividad del sitio (Figura 23 y 24).

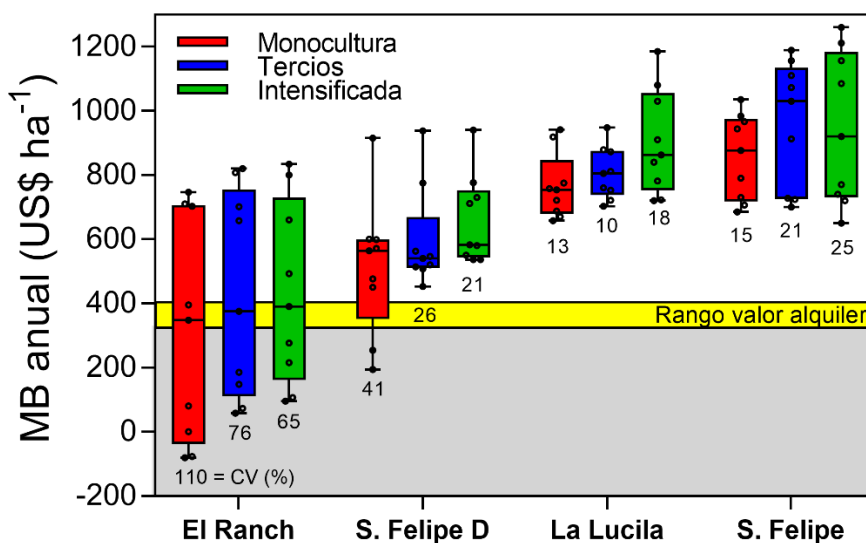


Figura 23: margen bruto (MB) anual promedio, percentiles y desvíos de cada secuencia separado por sitio.

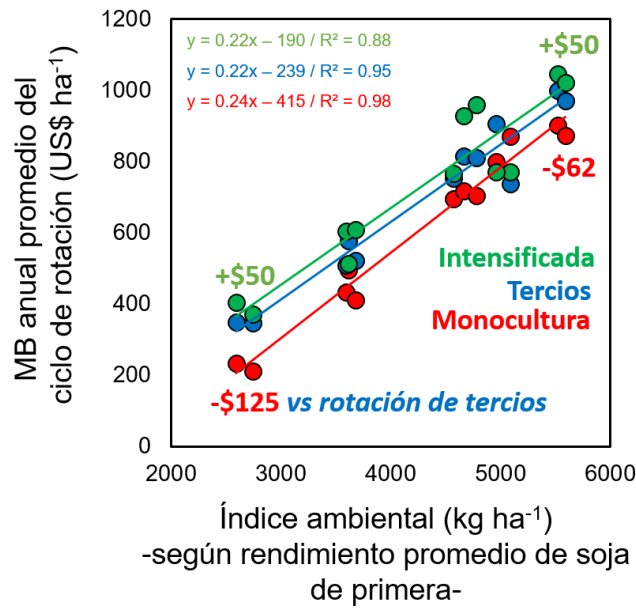


Figura 24: margen bruto (MB) anual promedio de cada ciclo de rotación (2014-17 MP, 2017-20 MP, 2017-20 MAP) en función del rendimiento medio de soja de primera durante el mismo periodo (utilizado como indicador ambiental de productividad) en cada uno de los cuatro sitios.

Ing. Agr. Esp. Cultivos Grano Matias Ermacora. Coord Agr. Crea Norte Bs.As.
 Ing.Agr. German Rossomanno. Crea NBA
 Ing. Agr. Leonardo Lopez. Crea NBA
 Ing Agr. PhD Jose F. Andrade. FAUBA-CONICET
 Ing Agr. PhD Emilio H. Satorre. Área Tecnología –AACREA-
 Mesa Asesores Crea Norte Bs. As.