

Efecto rotación sobre la productividad de los suelos bajo un esquema de alta y mediana fertilización (Región CREA Santa Fe Centro).

Pérez, Diego H. Asesor CREA GALVEZ - Asesor Privado.

Gambín, Brenda L. CONICET - Universidad Nacional de Rosario.

Introducción

Las rotaciones (secuencias de cultivos) utilizadas en la producción agropecuaria en la región pampeana muestran generalmente elevada participación de soja de primera. Esto produce severos efectos negativos en los ambientes explorados, entre los que se pueden mencionar la pérdida de materia orgánica de los suelos y la baja eficiencia del uso del agua. La inclusión de gramíneas como trigo y maíz son de suma importancia desde el punto de vista de aportes de carbono, mejorando en el largo plazo la condición física-químicas del suelo y el uso eficiente de los recursos (Gerster et al., 2009).

Los balances de nutrientes de la mayor parte de la producción agrícola en Argentina son deficitarios. Esto implica que los consumos por parte de los cultivos integrantes de la rotación son mayores a los aportes realizados por fertilizantes (García et al., 2013). En este contexto, no es claro si un esquema de rotación con alta participación de gramíneas y con niveles de fertilización superiores a los generalmente utilizados a nivel de productor puede impactar positivamente sobre la recomposición química y física de los suelos y, en el largo plazo, sobre el rendimiento de los cultivos intervinientes.

El presente trabajo pretende evaluar el efecto de la rotación durante 7 años de 3 cultivos (2 gramíneas) bajo dos esquemas de manejo de fertilización: (i) aquel normalmente utilizado por el productor y (ii) un esquema de alta fertilización. Los parámetros del suelo considerados fueron porcentaje de materia orgánica (% MO), porcentaje de nitrógeno total (N total) y fósforo disponible (P). Asimismo, se evaluó el efecto sobre rendimiento de cada cultivo y el rendimiento global de la rotación.

Los resultados muestran un efecto positivo de la rotación sobre todos los parámetros del suelo estudiados, aunque este efecto fue mayor bajo un esquema de alta fertilización. No fue posible detectar un efecto sobre el rendimiento cuando cada cultivo fue analizado separadamente. La ganancia global por rotación fue positiva y de marginal menor magnitud bajo fertilización del productor.

Materiales y Métodos

Los ensayos se realizaron en 3 localidades de la zona Santa Fe Centro de AACREA (Tabla 1), seleccionadas por ser representativas agroecológicamente de la zona. En cada localidad se realizaron dos franjas con diferente aporte de nutrientes: (i) una correspondientes a

la estrategia usual de fertilización del productor (FP) y (ii) otra con estrategia de alta fertilización (AF) (Tabla 2). Cada franja tuvo un tamaño de 450-600 metros de largo por 450-500 metros de ancho. La rotación utilizada en todos los sitios fue trigo/soja 2° - maíz 1° y el objetivo de las dos franjas por sitio fue obtener datos a nivel de rotación en un año. Los experimentos comenzaron en la campaña 2006-2007 y se cuenta con información de 7 años consecutivos (hasta la campaña 2013-2014). De aquí en adelante cada campaña se referirá al año de cosecha (2007 al 2014).

Tabla 1. Descripción de localidades.

Localidad	Latitud	Longitud	Clase de Suelo	Serie de Suelo	Índice de Productividad
Elisa	30° 40' 26''	61° 02' 26''	Argiudol Típico, Clase 1	Jacinto Arauz	82%
Angélica	31° 33' 19''	61° 32' 41''	Argiudol Típico, Clase 1	Rafaela	78%
Gálvez	32° 04' 20''	61° 12' 19''	Argiudol Típico, Clase 1	Clason	90%

El manejo agronómico de cada cultivo fue de acuerdo a las prácticas habituales de cada localidad. En todos los casos el control de plagas, malezas y enfermedades se controlaron según monitoreos semanales y recomendaciones según umbrales de daños económicos.

La fertilización se efectuó en el cultivo de trigo y de maíz, mientras que no se fertilizó la soja 2°. La misma sólo recibió aportes residuales de la fertilización realizada en el cultivo de trigo. Las cantidades aportadas de fertilizantes se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Aporte de nutrientes por fertilizante según esquema de fertilización: FP (fertilización del productor), AF (alta fertilización).

Nutriente	Kg Ha ⁻¹ aplicados					
	Trigo		Soja 2°		Maíz	
	FP	AF	FP	AF	FP	AF
N	35-70	150	0	0	60-90	150
P	15-20	100	0	0	15-30	50
S	15-16	24	0	0	13-18	12
Ca	5	13	0	0	5	13

Determinaciones

En cada sitio se obtuvo el dato de rendimiento (Kg Ha⁻¹) a través de sensores ubicados en la cosechadora. El rendimiento de cada cultivo fue corregido por humedad (14% para trigo, 13.5% para soja y 14.5% para maíz). Asimismo se calculó un rendimiento global de la rotación en Kg de glucosa Ha⁻¹, teniendo en cuenta el rendimiento de cada cultivo y la calidad del grano (Sinclair y de Wit, 1975).

Las determinaciones químicas del suelo se realizaron a partir de muestreos de suelo previos a la siembra del cultivo de trigo y maíz. Se realizaron análisis completos de los primeros 20 cm de suelo con los siguientes parámetros: N-NO₃ (ppm 0-60 cm), Fósforo (ppm 0-20 cm), Azufre (S-SO₄, ppm 0-20 cm), MO (% 0-20 cm).

En cada sitio se registraron los datos de precipitaciones mensuales mediante pluviómetros ubicados en cada sitio experimental.

Se realizó un análisis económico para cada tratamiento de fertilización (Comisión de Agricultura zona Santa Fe Centro de AACREA., 2012). En el sitio de localidad de Gálvez, se realizó un análisis global de resultado económico y dentro de los gastos directos se consideraron los costos de labores (siembra, pulverización y cosecha) a valor de gestión CREA de la empresa en cuestión (valores determinados con coeficientes UTA a valor de mercado de ejecución de la labor correspondiente). También se consideraron los gastos en agroquímicos (insecticidas, funguicidas, herbicidas) según las dosis usadas a valor de compra de cada insumo. De la misma manera se determinaron los costos de los diferentes tratamientos de fertilización, siendo este último gasto el de mayor importancia en la composición de costos de los cultivos y por ende de la rotación.

Análisis estadístico

Se analizó el efecto rotación (año) y la interacción rotación x tipo de fertilización (AF, FP) sobre cada una de las variables de interés (suelo y rendimiento) usando un modelo lineal mixto con el programa estadístico R (versión 3.0.2, paquete nlme, función lme) (Bates et al., 2014). El sitio fue incluido como efecto aleatorio para estimar diferentes interceptos y tener en cuenta la jerarquía de los datos.

Se usó AIC para seleccionar los mejores modelos. Los modelos originales sin estructura de correlación (independencia de las observaciones) fueron comparados con modelos con estructura de autocorrelación a fin de tener en cuenta la correlación temporal de los datos. Se testearon estructuras autoregresivas de simetría compuesta y de orden 1. Ninguno de estos modelos fue mejor (menor AIC) que el modelo original sin estructura de correlación, por lo que se muestran los efectos de los modelos originales usando el método de máxima verosimilitud restringida (REML). Se testearon los supuestos de normalidad de los datos y homogeneidad de varianza en base a los residuales estandarizados mediante análisis gráficos (Zuur et al., 2009).

En la etapa de exploración de datos se pudo observar que la relación para % MO y N total mostraban tendencias no lineales, probablemente debidas a variaciones en el protocolo de aplicación en algunos sitios/años. Teniendo en cuenta esto, y debido a que el interés era ver una tendencia al largo plazo, se prefirió ajustar modelos lineales a complejizar el modelo con modelos no-lineales y parámetros sin sentido biológico y predictivo.

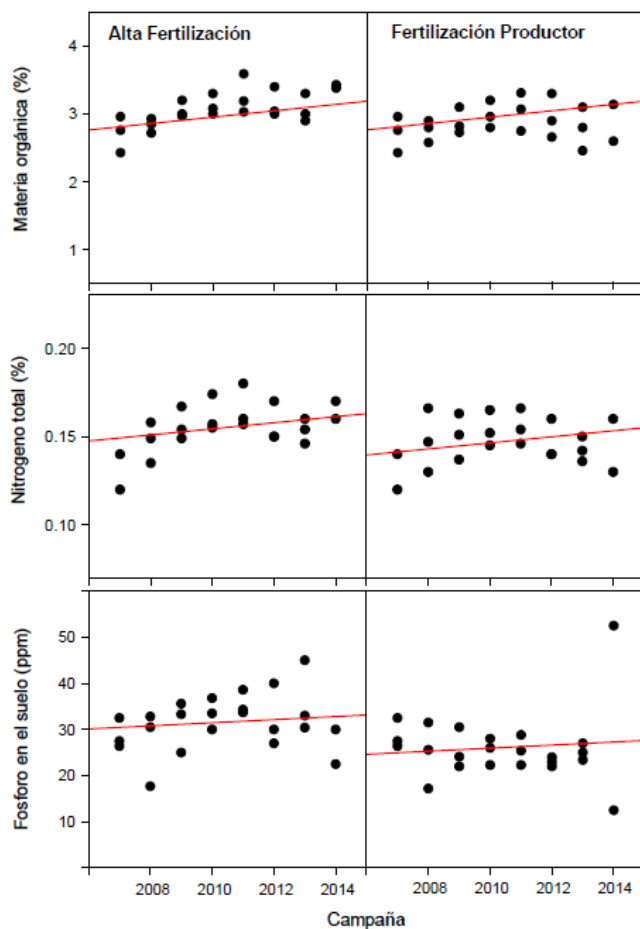
Resultados

Efecto rotación sobre parámetros de suelo

La rotación tuvo un efecto positivo sobre el % MO, N total y P del suelo (Fig. 1). El efecto fue marginalmente superior para el tratamiento de alta fertilización comparado con la fertilización comúnmente usada por el productor. Los modelos explicaron de manera adecuado los datos observados (r^2 de 0.69, 0.62 y 0.35 para %MO, N total y P respectivamente).

Fig. 1. Tendencias para % MO, N total y P de suelo para ambos esquemas de fertilización.

Los parámetros indican que el % MO aumenta $0.41 \pm 0.01\%$ en 10 años con alta fertilización, mientras que este aumento sería 0.2% menor con la fertilización del productor. El N total aumenta $0.01 \pm 0.0006\%$ en 10 años de rotación con alta fertilización, mientras que este aumento sería 0.4% menor con la fertilización del productor. Finalmente, el P del suelo aumenta $0.38 \pm 0.39\%$ en 10 años de rotación, mientras que este aumento sería 0.7% menor con la fertilización del productor. A pesar del bajo efecto general, todos fueron altamente significativos ($p < 0.001$).



Teniendo en cuenta la magnitud de los efectos, el % MO seguido del P del suelo serían los dos atributos del suelo que más se modificarían con la rotación de cultivos. Mientras que el % MO aumentaría con cualquier esquema de fertilización, el P del suelo dependería en mayor medida del esquema de fertilización aplicado.

Efecto rotación sobre el rendimiento

No se observó ganancia en el rendimiento debido a la rotación cuando los cultivos fueron analizados por separado, debido a la variación anual en los rendimientos y lo acotado de la serie temporal de datos (7 años). Los modelos explicaron una muy baja proporción de la

variación en rendimiento, siendo los r^2 de 0.04, 0.10, 0.02 para trigo, soja y maíz, respectivamente. Incorporar las precipitaciones durante el ciclo sólo mejoró el ajuste del modelo para maíz ($r^2=0.46$), demostrando la importancia de las precipitaciones sobre el rendimiento en este cultivo.

El rendimiento global mostró mejor ajuste ($r^2=0.11$) y evidenció una tendencia similar a los parámetros de suelo, aunque los efectos no fueron significativos. La rotación con alta fertilización mostró un efecto positivo de 361 ± 466 Kg glucosa Ha^{-1} por año de rotación, siendo mínima la reducción en esta ganancia con fertilización del productor (359 Kg glucosa Ha^{-1} por año). Nuevamente, las variaciones en los rendimientos estuvieron más explicadas por variaciones en las precipitaciones anuales ($r^2=0.33$).

Efecto rotación sobre el resultado económico

El resultado económico fue positivo en mayor medida en el esquema de alta fertilización. La mayor diferencia se observó en el sitio de mayor rendimiento por unidad de superficie (Gálvez, Tabla 3). En este sitio, los efectos de la rotación con alta fertilización produjeron una mejora económica del orden de los 130 U\$S Ha^{-1} .

Tabla 3. Resultado económico en el sitio Gálvez según esquema de fertilización: FP (fertilización del productor), AF (alta fertilización).

	U\$S Ha^{-1}	
	FP	AF
Promedio 7 años	742	873
Promedio 7 años Trigo/Soja 2º	979	1090
Promedio 7 años Maíz	504	655

Conclusiones

- La rotación tuvo un efecto positivo sobre las propiedades químicas del suelo, con un notorio impacto sobre el % MO y P del suelo.
- El efecto de la rotación sobre las propiedades del suelo fue más importante cuando se combinó con alta fertilización en las gramíneas involucradas, principalmente el P del suelo.
- El efecto rotación tendió a aumentar el rendimiento global de la rotación.
- Si bien con mayores niveles de inversión (costo del fertilizante) por unidad de superficie trabajada, los efectos de la alta fertilización mejoran los resultados económicos de las empresas donde se realizaron los ensayos.
- Como forma de recomponer ambientes desde el punto de vista químico, el esquema de rotación con alta fertilización permite realizarlo de una manera económicamente viable.

Agradecimientos

- A la Comisión de Agricultura de la zona Santa Fe Centro y a los responsables de cada sitio: Sr. Martin Sartori – Sartori Hnos. (CREA Elisa-H1°), Sr. Daniel Burini (CREA Gálvez) y Sr. Angel Boschetto (CREA Rafaela)

Referencias

- Albrecht R, Vivas HS, Fontanetto H, Hotian JL (2000) Residualidad del P y del S en soja sobre dos secuencias de cultivos. Campaña 1999-2000. En. Información Técnica de Soja y Maíz de Segunda. Campaña 2000. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N°93.
- Gerster G, Gargicevich A, Cordone G, González C (2002) Factores edáficos y prácticas culturales asociadas al rendimiento de soja. XVIII Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo: 297.
- Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D and R Core Team (2014). nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-117, <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- Sinclair TR, de Wit CT (1975) Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. Science 189:565–567.
- Zuur AF, Ieno EN, Walker NJ, Saveliev AA, Smith GM. 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R. Springer, New York.