

Efecto del manejo de la fertilización sobre la productividad de los suelos en una rotación en la Región CREA Santa Fe Centro

Diego H. Pérez^{1,2,*} y Brenda L. Gambín^{3,4}

Introducción

Las rotaciones (secuencias de cultivos) utilizadas en la producción agropecuaria en la región pampeana argentina muestran generalmente elevada participación de soja de primera siembra (“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 (Martínez et al., 2011). 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-química del suelo y el uso eficiente de los recursos (Gerster et al., 2002). 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 y González Sanjuan, 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 fertilidad química y física de los suelos y, en el largo plazo, sobre el rendimiento de los cultivos involucrados.

El presente trabajo pretende evaluar el efecto del manejo de la fertilización: i) aquel normalmente utilizado por el productor en la zona, y ii) un esquema de alta fertilización; sobre el suelo y los rendimientos bajo una rotación con inclusión de gramíneas.

Materiales y métodos

Los ensayos se realizaron en 3 localidades de la zona Santa Fe Centro de AACREA (**Tabla 1**), seleccionadas por ser agroecológicamente representativas de la zona. En cada localidad se realizaron dos franjas con diferente aporte de nutrientes: i) una correspondiente a la estrategia usual de fertilización del productor (FP), y ii) otra con estrategia de alta fertilización (AF). Cada franja tuvo un tamaño de

450-600 m de largo por 450-500 m de ancho. La rotación utilizada en todos los sitios fue Trigo/Soja-Maíz. Los experimentos comenzaron en la campaña 2006/07 y se cuenta con información de 7 años consecutivos (hasta la campaña 2013/14).

La fertilización se efectuó en los cultivos de trigo y de maíz, mientras que no se fertilizó la soja “de segunda” (sembrada inmediatamente después del trigo). 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**.

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.

Determinaciones

En cada sitio se obtuvo el dato de rendimiento (kg ha^{-1}) a través de monitores de rendimiento ubicados en las cosechadoras. 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 $\text{kg de glucosa ha}^{-1}$, 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 suelo de los siguientes parámetros: nitrógeno de nitrato (N-NO_3^- , 0-60 cm), fósforo extractable Bray 1 (Pe, 0-20 cm), azufre de sulfato (S-SO_4^{2-} , 0-20 cm), N total (Nt, 0-20 cm) y materia orgánica (MO, 0-20 cm).

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

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 I	Jacinto Arauz	82%
Angélica	31° 33' 19''	61° 32' 41''	Argiudol típico, Clase I	Rafaela	78%
Gálvez	32° 04' 20''	61° 12' 19''	Argiudol típico, Clase I	Clason	90%

¹ CREA Gálvez, Región Santa Fe Centro, Argentina. *Correo electrónico: diegohugoperez@gmail.com

² Consultor Privado.

³ CONICET

⁴ Universidad Nacional de Rosario.

Adicionalmente, se realizó un análisis económico para cada tratamiento teniendo en cuenta los gastos directos de realización de cada cultivo de la rotación. Dentro de los gastos directos se consideraron los costos de labores (siembra, pulverización y cosecha) a valor de gestión CREA de cada empresa (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, este último gasto es el de mayor importancia en la composición de costos totales de los cultivos.

Tabla 2. Aporte de nutrientes por cultivo según esquema de fertilización: FP (Fertilización del productor) y AF (Alta fertilización).

Nutriente	----- Trigo -----		----- Soja 2º -----		----- Maíz -----	
	FP	AF	FP	AF	FP	AF
----- kg ha ⁻¹ aplicados -----						
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

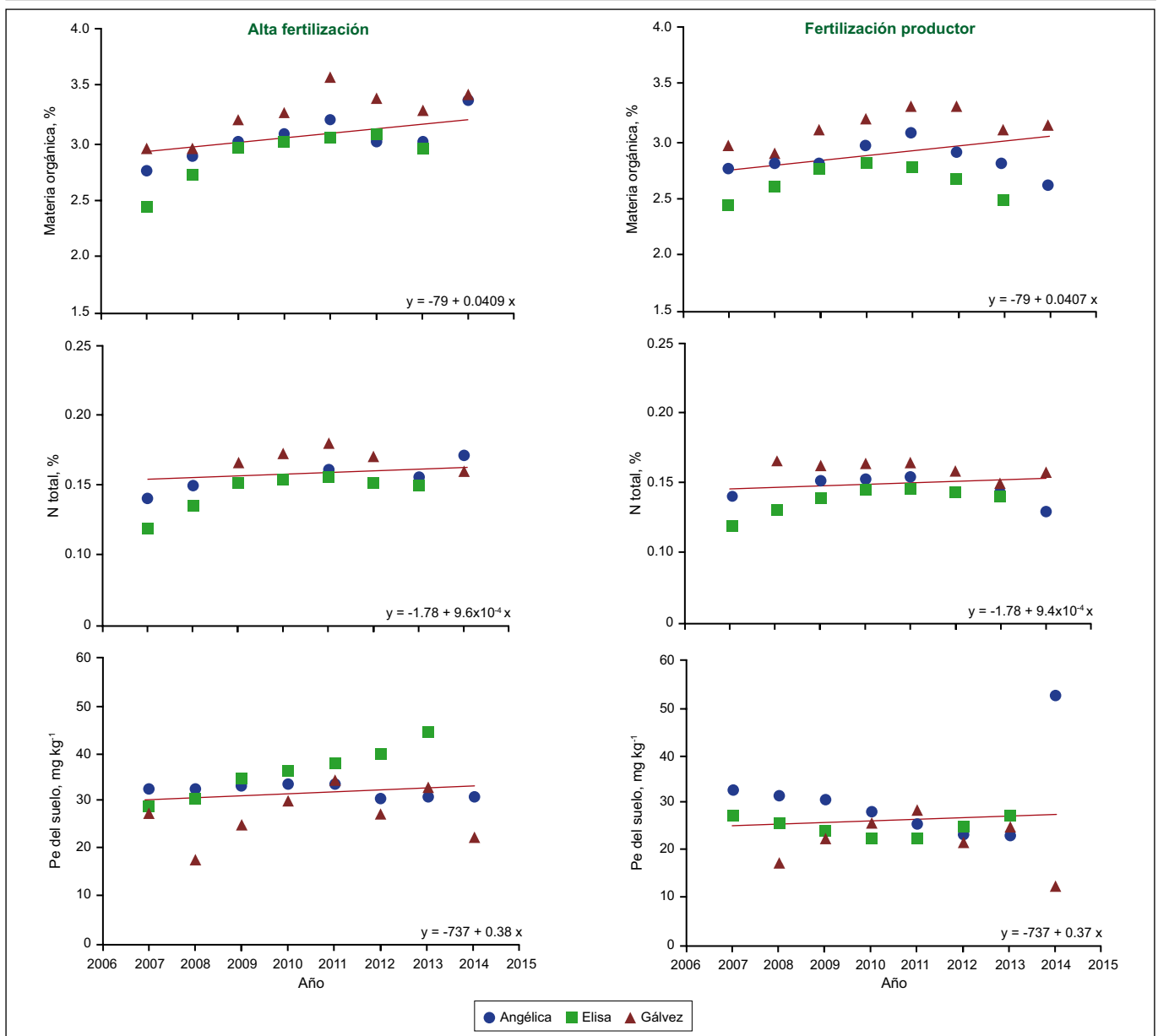


Figura 1. Evolución de MO, Nt y Pe del suelo para ambos esquemas de fertilización. La línea roja indica el ajuste del modelo.

Análisis estadístico

Se analizó el efecto año y la interacción año 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) (Pinheiro 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 el criterio AIC para seleccionar los mejores modelos. Los modelos originales sin estructura de correlación (independencia de las observaciones) fueron comparados con modelos con estructura de auto-correlación a fin de tener en cuenta la correlación temporal de los datos. Se testearon estructuras de simetría compuesta y autorregresivas de orden 1. Ninguno de estos modelos fue mejor 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 Nt 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

Parámetros de suelo

La variación entre sitios en los parámetros de suelo fue de 0.21%, 0.011% y 3.35 mg kg⁻¹ para MO, Nt y Pe, respectivamente. Los parámetros evolucionaron positivamente a lo largo de los años (**Figura 1**). El efecto fue significativamente ($p < 0.01$) superior para el tratamiento AF 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, Nt y Pe, respectivamente).

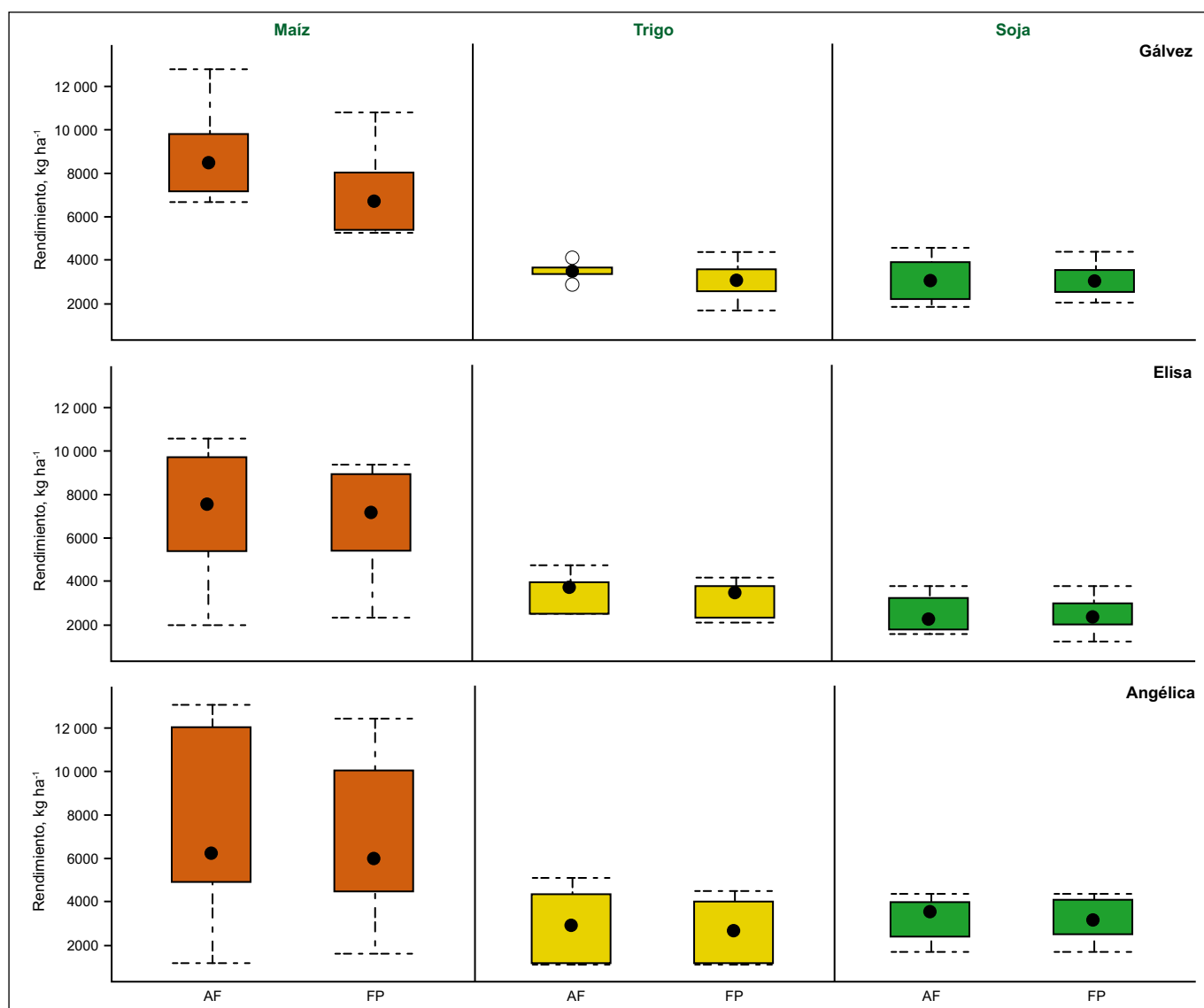


Figura 2. Boxplot de rendimiento por cultivo para ambos esquemas de fertilización: AF (Alta fertilización) y FP (Fertilización del productor).

Bajo el planteo de AF, la MO aumentó 0.0409% por año, mientras que este incremento fue significativamente menor (0.0407% por año) con la fertilización del productor (**Figura 1**). El Nt aumentó 9.6×10^{-4} por año con AF, mientras que este aumento fue de 9.4×10^{-4} por año con FP. Finalmente, el Pe del suelo se incrementó a una tasa de 0.38 mg kg^{-1} por año con AF, mientras que este aumento fue de 0.37 mg kg^{-1} por año con la fertilización del productor. A pesar de la baja magnitud de los efectos, todos fueron significativos ($p < 0.01$).

Rendimientos de los cultivos

No se observó ganancia significativa en los rendimientos por el manejo de la fertilización cuando los cultivos fueron analizados por separado, debido a la variación anual en los rendimientos (**Figura 2**) y lo acotado de la serie temporal de datos (7 años). Particularmente puede observarse un efecto positivo sobre los rendimientos de maíz con AF en el sitio Gálvez y un aumento en los rendimientos máximos en Elisa y Angélica, pero el efecto no fue significativo en el análisis conjunto.

Cuando se analizó el rendimiento global, se observó una tendencia similar a los parámetros de suelo, aunque los efectos de fertilización no fueron significativos. El manejo AF mostró un efecto positivo de $361 \pm 466 \text{ kg glucosa ha}^{-1}$ por año de rotación, siendo similar a la ganancia con BF ($359 \text{ kg glucosa ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Las variaciones en los rendimientos estuvieron más explicadas por variaciones en las precipitaciones anuales.

Resultados económicos

El resultado económico fue positivo, en mayor medida, en el esquema de AF. La mayor diferencia se observó en el sitio Gálvez, de mayor rendimiento por unidad de superficie (**Tabla 3**). En este sitio, los efectos de la rotación con AF produjeron una mejora económica del orden de los $131 \text{ US\$ ha}^{-1}$.

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

Rotación	FP	AF
	----- US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹ -----	
Promedio 7 años M-T/S	742	873
Promedio 7 años Trigo/Soja 2°	979	1090
Promedio 7 años Maíz	504	655

Conclusiones

- El manejo de la fertilización tuvo un efecto positivo sobre las propiedades químicas del suelo, con un impacto significativo principalmente sobre la MO y el Pe.
- El manejo de la fertilización 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 AF mejoraron los resultados económicos respecto del manejo convencional de la fertilización en la zona (FP).
- El esquema de rotación con gramíneas y bajo AF permitiría recomponer ambientes desde el punto de vista químico de una manera económicamente viable.

Agradecimientos

A la Comisión de Agricultura de la zona CREA 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).

Bibliografía

- García F., y M.F. González Sanjuan. 2013. La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Cómo estamos? *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 9:2-7.
- Gerster, G., A. Gargicevich, G. Cordone, y C. González. 2002. Factores edáficos y prácticas culturales asociadas al rendimiento de soja. XVIII Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo: 297 p.
- Martínez, F. 2011. El suelo y los modelos productivos: Una aproximación a la problemática agrícola de la Región Pampeana Norte. *Actas Simposio Fertilidad 2011*. IPNI Cono Sur-Fertilizar AC. Rosario, Santa Fe.
- Pinheiro, J., D. Bates, S. DebRoy, y D. Sarkar. 2014. R Core Team (2013) nlme: Linear and nonlinear mixed effects models R package version 3.1-117. URL: <http://cran.r-project.org/web/packages/nlme/index.html>.
- Sinclair T.R., y C.T. de Wit. 1975. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. *Science* 189:565-567.
- Zuur A.F., E.N. Leno, N.J. Walker, A.A. Saveliev, y G.M. Smith. 2009. *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer, New York.✿