

Factores de Fertilidad y Manejo Determinantes de los Rendimientos de Trigo y Maíz en la Pampa Ondulada

Roberto Alvarez y Susana Grigera

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453 (1417), Buenos Aires, Argentina.
ralvarez@agro.uba.ar

Artículo publicado en *Informaciones Agronómicas*, No. 22, Junio 2004

En la Pampa Ondulada, el trigo y el maíz han sido dos de los cultivos más importantes durante décadas. Las pasturas han desaparecido en gran parte y la siembra directa y la fertilización se han difundido recientemente. Existe una falta de modelos que permitan entender y cuantificar el impacto de la fertilidad del suelo y el manejo sobre los rendimientos de estos cultivos bajo las actuales condiciones productivas. Nuestro objetivo fue determinar los efectos de esos factores sobre los rendimientos e integrar estos componentes con las precipitaciones para establecer modelos generales explicativos útiles en la toma de decisiones sobre conducción de los cultivos.

Se compuso un set de datos de cultivos de trigo integrado por 217 casos extraídos de experimentos de fertilización y 130 casos de lotes de producción correspondientes a las campañas 1996 a 2001. Los datos experimentales fueron levantados de reportes técnicos compilados previamente (Alvarez et al., 2003) y los de los lotes fueron provistos por agrónomos. La variación de las características principales de suelo, manejo, precipitación y los rendimientos se resumen en la Tabla 1. Los cultivos tuvieron diferentes antecesores, sistemas de labranza y tipo de variedades sembradas. En la mayoría de los casos, los cultivos recibieron fertilización fosforada (PDA). La fertilización nitrogenada se realizó con urea incorporada (90% de los casos) o UAN chorreado. Los nitratos en el suelo se determinaron o estimaron (Alvarez et al., 2001) hasta los 60 cm de profundidad. El rendimiento se expresó con 14% de humedad. La precipitación se registró en cada sitio.

El set de datos de maíz estuvo compuesto por casos tomados de experimentos de fertilización (n= 154) previamente compilados (Alvarez et al., 2003) y por datos de lotes de producción (n= 169) a lo largo de seis campañas, 1997-2002. Los cultivos difirieron en antecesores y sistemas de labranza. La mayoría de las situaciones se fertilizaron con SPT o PDA. Los nitratos en el suelo se determinaron a la siembra (n= 119) o en 4-6 hojas (n= 204), pero los niveles medios de nitratos en

ambos momentos fueron semejantes. El fertilizante nitrogenado fue urea (80% de los casos) incorporada a la siembra o 6-8 hojas o UAN chorreado. La Tabla 1 resume la variabilidad observada en maíz. La precipitación se registró en todos los sitios y cuando se aplicó riego la lámina aportada se sumó a la precipitación.

Las relaciones entre el rendimiento y los niveles de nutrientes en el suelo, precipitación, dosis de fertilizantes y demás variables de manejo se analizaron usando técnicas de regresión lineal múltiple, tomando al R^2 como el elemento de decisión (Colwell, 1994). Las variables categóricas fueron incluidas como variables *dummy* para factores de manejo como: variedades de siembra temprana = 0, variedades de siembra tardía = 1, antecesor no soja = 0, soja = 1 y con labranza = 0 siembra directa = 1. Los modelos fueron aceptados si eran significativos a $P= 0.001$.

Se lograron modelos explicativos de los rendimientos con las variables antecesor, sistema de labranza, nitrógeno del suelo y fertilizante, fósforo del suelo y fertilizante y precipitación (Figura 1). No hubo efectos significativos del nivel de materia orgánica de los suelos en ninguno de los cultivos. El modelo de trigo pudo explicar el 67% de la variabilidad de los rendimientos y el de maíz 51 %. Estos modelos pueden emplearse para evaluar el efecto relativo de cada variable independiente sobre el rendimiento. La soja fue mejor antecesor tanto para trigo como para maíz con relación a otros cultivos. El trigo fue insensible al sistema de labranza en tanto que los rendimientos de maíz fueron más altos bajo siembra directa. No se detectaron diferencias de rendimiento entre variedades de ciclo corto o largo de trigo. El impacto de cada unidad de fósforo del fertilizante aplicado fue unas 2-3 veces mayor al de la unidad de fósforo del suelo en los dos cultivos. Para niveles medios de nitrógeno del suelo y fertilizante, las dos fuentes de N presentaron eficiencias de producción de grano parecidas en trigo. Con altas dosis de nitrógeno, la eficiencia de producción de grano fue menor que la eficiencia del nitrógeno del suelo a los mismos niveles. En maíz, el nitrógeno del suelo y fertilizante presentaron la misma eficiencia en la producción de grano en todo el rango de disponibilidad observado, comportándose ambas fuentes como equivalentes. En trigo, el rendimiento estimado por el modelo es máximo con precipitación de 350-400 mm, con una fuerte disminución por encima de 500 mm (Figura 2). En maíz, cuando la precipitación alcanza niveles mayores a 650-700 mm tiende a llegarse a un plateau de rendimiento (Figura 2).

En la Pampa Ondulada la soja como antecesor puede generar un crédito de nitrógeno que en trigo es equivalente al efecto de unos 10 kg N de fertilizante/ha (Sain y Jáuregui, 1993). El impacto de soja como antecesor en nuestros datos no parece asociado a un crédito de nitrógeno pues la disponibilidad del nutriente se consideró como variable independiente. Dificultades en la implantación de trigo luego de maíz o efecto del barrenador del tallo en maíz luego de maíz (Iannone 2001) parecen causas más probables del beneficio de soja como antecesor para estos cultivos.

El déficit hídrico puede restringir el rendimiento de trigo en la Pampa Ondulada pero las simulaciones con el CERES indican que es esperable una depresión severa del rendimiento, 1 de cada 20 años (Magrin, 1994). El modelo de trigo predice una marcada caída del rendimiento por encima de 500 mm de precipitación lo que puede atribuirse al desarrollo de enfermedades de la hoja y la espiga bajo escenarios muy húmedos (Annone, 2001). La evapotranspiración potencial del maíz es de aproximadamente 600 mm durante su ciclo de cultivo y en la Pampa Ondulada déficits hídricos durante el período crítico de floración con impacto negativo en el rendimiento son comunes. Es esperable que se produzcan faltas de agua el 75% de los años y déficits muy severos el 25% (Totis, 1995). El incremento del rendimiento predicho por el modelo hasta un techo de aproximadamente 650-700 mm concuerda con esto. El efecto positivo de la siembra directa en el rendimiento podría estar asociado a los mayores niveles de contenido hídrico en el suelo que se producen bajo este sistema de cultivo (Buschiazzo et al., 1998).

En la Pampa Arenosa se ha reportado correlación entre rendimiento de trigo y materia orgánica para niveles muy bajos de ésta (0.8-2.2 %) en cultivos no fertilizados y bajo un escenario homogeneizado en antecesor y sistemas de labranza (Diaz-Zorita et al., 1999). Esta diferencia con lo encontrado en este trabajo es atribuible a que en la Pampa Ondulada no existen niveles muy bajos de materia orgánica y los rendimientos no parecen limitados por este factor. Además, la mayoría de los casos utilizados para generar los modelos estaban fertilizados con nitrógeno y el aporte por mineralización durante el ciclo de los cultivos pudo resultar oscurecido. Un efecto indirecto de materia orgánica sobre el rendimiento puede plantearse pues el nitrógeno del suelo presentó correlaciones débiles ($R^2 = 0.10$ -

0.30) con la materia orgánica debido posiblemente a la mineralización durante el barbecho.

Para estimar el impacto relativo de las variables explicativas sobre el rendimiento, dentro del rango común de variación esperado, se descartó el 10% inferior y superior de los datos de cada una de ellas y usando los modelos se calculó la variación esperable del rendimiento entre valores bajos y altos de las variables (Figura 3). La variable de mayor impacto sobre el rendimiento de ambos cultivos es la precipitación seguida por la dosis de fertilización nitrogenada. Tanto el nitrógeno del fertilizante como el del suelo tienen efectos 2-3 veces mayores sobre los rendimientos que el fósforo del fertilizante y del suelo, respectivamente. En conjunto, las variables de manejo como antecesor, sistema de labranza y dosis de fertilizantes tienen un impacto mucho mayor sobre los rendimientos de trigo y maíz que las variables de fertilidad del suelo. Estos resultados muestran que los factores de manejo, y en especial la fertilización, son los más importantes en la obtención de altos rendimientos bajo los escenarios de producción de la Pampa Ondulada, siendo el impacto de las variaciones de la fertilidad de los suelos mucho menor.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, C.R., Alvarez, R. y Steinbach H.S., 2001. Predictions of available nitrogen content in soil profile depth using available nitrogen concentration in surface layer. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 32, 759-769.
- Alvarez, R., Steinbach, H.S., Alvarez, C.R. y Grigera, S. 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la Pampa Ondulada. *Informaciones Agronómicas (INPOFOS)*: 18: 14-19.
- Annone, J.G. 2001. Criterios empleados para la toma de decisiones en el uso de fungicidas en trigo. *Revista de Tecnología Agropecuaria* 6, 16-20.
- Buschiazzo, D.E., Panigatti, J.L. y Unger, P.W., 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentine Pampas. *Soil Till. Res.* 49, 105-116.
- Colwell, J.D. 1994. Estimating Fertilizer Requirements. A Quantitative Approach. CAB International, UK, pp. 259
- Diaz-Zorita, M., Buschiazzo, D.E. y Peinemann, N. 1999. Soil organic matter and wheat productivity in the Semiarid Argentine Pampas. *Agron. J.* 91: 276-279.
- Iannone, N., 2001 : Control químico de *Diatraea*. Tecnología que apunta a la alta producción. *Revista de Tecnología Agropecuaria* 6, 33-37.
- Magrin, G. 1994. Los modelos de simulación agronómica. *Revista CREA* 167, 32-36.
- Sain, G.E. y Jauregui, M.A., 1993. Deriving fertilizer recommendations with a flexible functional form. *Agron. J.* 85, 934-937.

Totis, L. 1995. Necesidades de agua de los cultivos y su impacto en los rendimientos.
 In: Riego suplementario en la Región Pampeana, Ed. Instituto Nacional de Tecnología
 Agropecuaria. Proyecto IPG, Serie Riego 2. Buenos Aires, pp. 17-26.

Tabla 1: Variabilidad de las propiedades de suelo, manejo, precipitación y rendimiento.

Variable	Trigo				Maíz			
	n	Media	Mín.	Máx.	n	Media	Mín.	Máx.
(A)= antecesor no soja soja	63 284				280 43			
(SL)= sist. labr. con remoción siembra directa	77 270				177 146			
(V)= variedad ciclo corto ciclo largo	174 173							
MO= materia orgánica (%)		2.81	1.88	5.93		3.15	1.87	4.80
NS= nitrógeno suelo (kg/ha)		46.7	4.7	169		95.7	11.0	308
NF= nitrógeno fertilizante (kg/ha)		55.0	0.0	132		77.1	0.0	275
PS= fósforo suelo (kg/ha)		34.6	10.4	182		56.7	13.0	176
PF= fósforo fertilizante (kg/ha)		17.2	0.0	40.0		15.6	0.0	34.0
PPT= precipitación (mm)		453	189	615		588	259	876
R= rendimiento (kg/ha)		3040	640	6250		8240	2030	13100

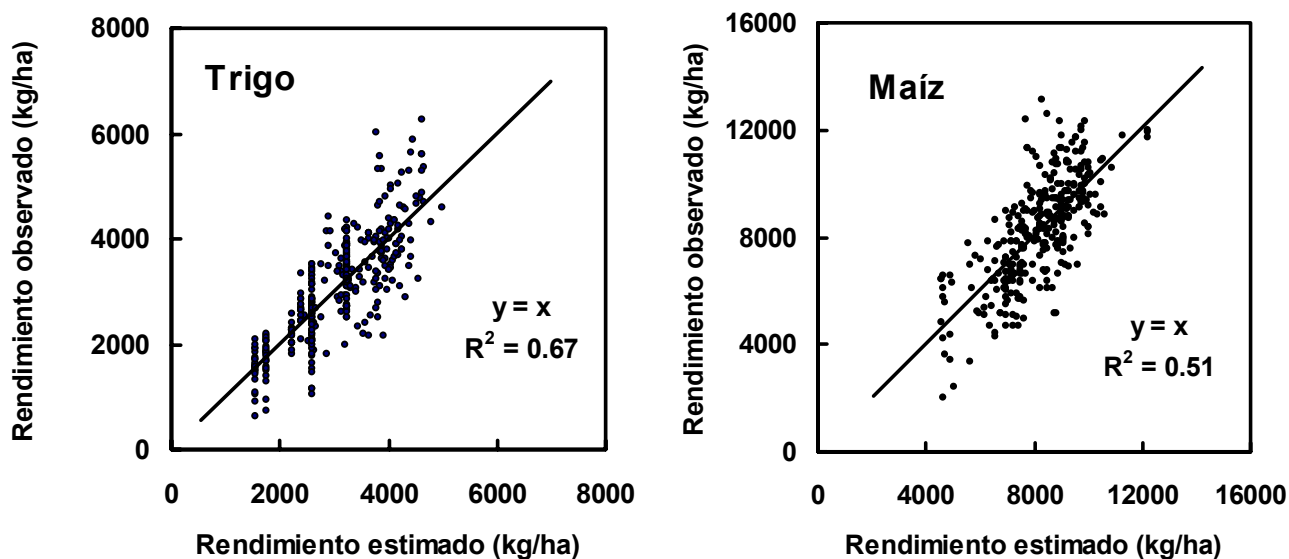


Figura 1. Relación entre los rendimientos observados y los estimados por los siguientes modelos (por abreviaturas ver Tabla 1):

$$R \text{ Trigo} = 370 A + 6.5 NS + 20 NF - 0.11 NF^2 + 15 PS - 0.093 PS^2 + 9.5 PF + 12 PPT - 0.018 PPT^2$$

$$R \text{ Maíz} = -5300 + 1700 A + 430 SL + 21 NS - 0.053 NS^2 + 21 NF - 0.060 NF^2 + 12 PS + 44 PF + 23 PPT - 0.014 PPT^2$$

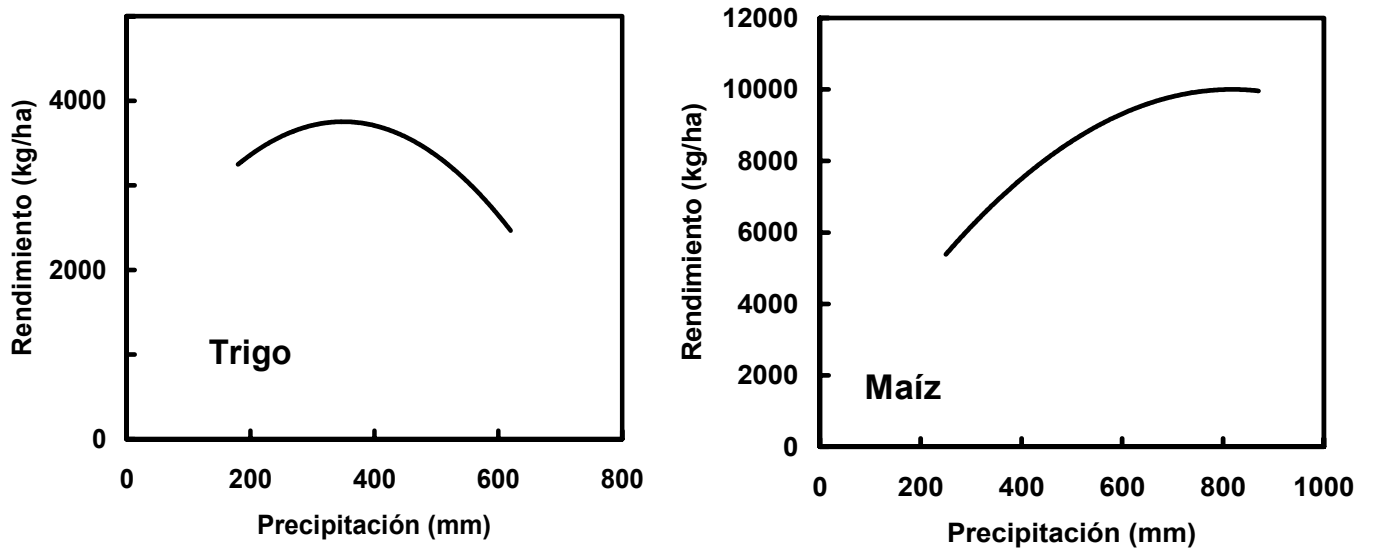


Figura 2. Efecto de la precipitación sobre los rendimientos para escenarios medios de fertilidad estimados por los modelos de la Figura 1.

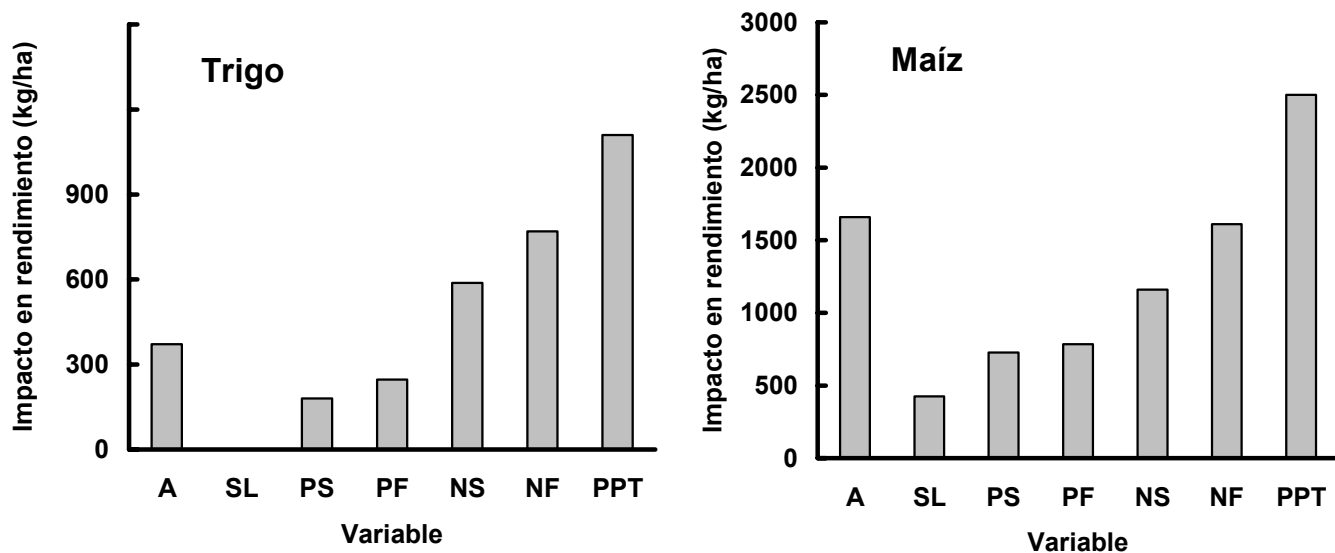


Figura 3. Impacto de las variables edáficas, de manejo y la precipitación sobre los rendimientos estimados por los modelos de Figura 1 (por abreviaturas ver Tabla 1). El impacto se ha calculado como la diferencia en rendimiento de los cultivos entre valores bajos y altos de cada variables. El efecto del antecesor es el beneficio de soja como cultivo previo. El efecto del sistema de labranza es el beneficio de siembra directa con relación a manejo bajo laboreo.