

FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE TRIGO EN EL CENTRO SUR DE SANTA FÉ

Cristián N. Natali¹, Fernando Pacín² y Flavio Gutiérrez Boem³

¹CREA Colonia Médici- Región CREA Sur de Santa Fe

²CREA General Lamadrid- Región CREA Sudoeste

³FAUBA - Cátedra de Fertilidad

cristiannatali@tvicom.com.ar

Introducción

El avance de la agricultura actual con siembra directa y fertilización sobre los sistemas de producción ganaderos y mixtos, implica pensar que el trigo debe ser considerado dentro de un esquema agrícola integral (Bainotti et al., 2004). El mismo ocupa un lugar importante en la rotación de cultivos de las empresas agropecuarias CREA Armstrong - Montes de Oca y su respectiva área de influencia (Fig. 1). Los objetivos de este trabajo fueron identificar y cuantificar la incidencia de los factores climáticos, de suelo y manejo que determinan el rendimiento del trigo en el sur de Santa Fe.

Materiales y Métodos

Se utilizaron datos de lotes de producción comercial, proporcionados por productores miembros del Grupo CREA Armstrong- Montes de Oca (Consortios Regionales de Experimentación Agropecuaria). En total se utilizaron 299 datos de rendimiento, correspondientes a 6 campañas (1999/00 a 2004/05).

Se emplearon diferentes herramientas estadísticas; correlaciones, distribución de frecuencias, regresión

simple y regresión múltiple. La información incluyó determinaciones de nitrógeno y fósforo en el suelo, agua útil, materia orgánica, algunos aspectos de manejo del cultivo como años de agricultura continua, años de siembra directa continua, ciclo del cultivar, fecha de siembra, fungicidas, sistema de labranza, antecesor, nitrógeno y fósforo del fertilizante; y datos climáticos: heliofanía, humedad relativa y precipitaciones. Las variables climáticas tienen un solo dato por cada año, para todo el área de influencia del CREA Armstrong- Montes de Oca.

En la Tabla 1 se agruparon las variables independientes por tipo: suelo, manejo y clima respectivamente, definiéndolas con las abreviaturas correspondientes y sus referidas unidades de medición.

Se agregó el nitrógeno del suelo más el del fertilizante en una sola variable (NSF) por simplicidad. La variable NSF se utilizó a fines de determinar el requerimiento de fertilización nitrogenada del cultivo y su posterior evaluación económica en la práctica; en consecuencia se calculó la eficiencia agronómica en función del nitrógeno del suelo más el del fertilizante. En la Tabla 2 se indican los coeficientes de determinación de cada variable independiente con el rendimiento. Se analizaron las variables en forma combinada en una regresión múltiple (Tabla 3).

En la Figura 2 se observa la relación entre el rendimiento observado versus el predicho, para el modelo final obtenido.

Para estimar el impacto relativo de las variables explicativas sobre el rendimiento de trigo, dentro del rango común de variación esperado, se descartó el 10% inferior y superior de los datos de cada una de ellas y usando el modelo se calculó la variación esperable del rendimiento entre valores bajos y altos de las variables.

Se utilizó un modelo de regresión múltiple que explicara el rendimiento de trigo mediante el método de selección de variables Stepwise; tomándose un $P = 0.01$.

Para evaluar el impacto de cada variable independiente sobre el rendimiento de trigo la información fue analizada usando un modelo polinómico ortogonal de grados (Nelson et al. 1985):

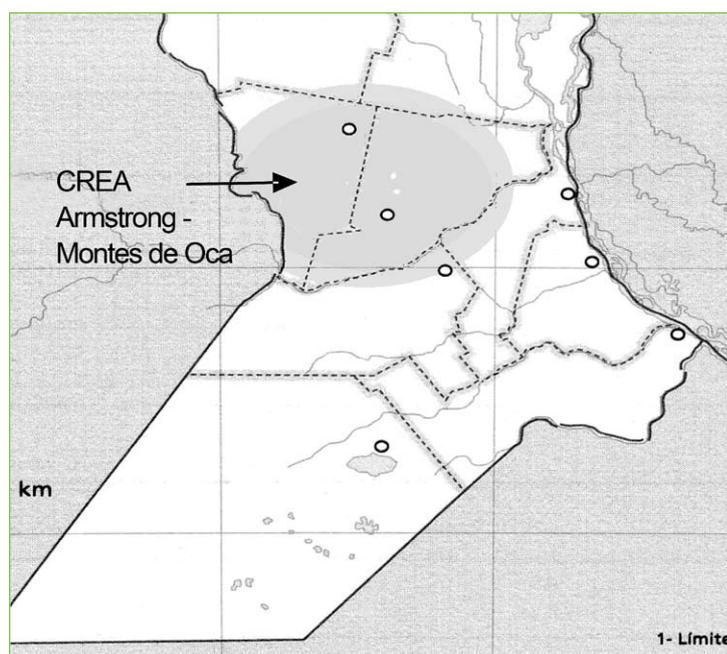


Figura 1. Mapa de la Provincia de Santa Fe indicando la zona de influencia de estudio.

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + \dots + a_n x_n$$

Donde: Y= rendimiento de trigo
 a0 hasta an = coeficientes de ajuste
 x1 hasta xn = Variables independientes,
 numéricas o categóricas.

El modelo analiza el efecto lineal y curvilíneo de cada variable independiente sobre la dependiente por separado y las interacciones lineales entre variables independientes. El criterio de elección del modelo de regresión múltiple definitivo fue el mayor R² posible. La probable autocolinealidad de las variables independientes se testeó por el valor VIF, no aceptando la entrada de variables que tuvieran valores superiores a 7 (Neter et al., 1990).

Tabla 1. Variables independientes consideradas para el desarrollo del modelo.

Variable	Abreviatura	Definición	Unidades
Agua Útil	AU	Medida por gravimetría de 0 -1.25 mts	mm
Fósforo del suelo	PS	Fósforo extractable de 0-20 cm , por Bray I	ppm
Materia orgánica	MO	Medida por Walkley y Black de 0-20 cm	%
Años agricultura continua	AAC	Número de años desde la última pastura	
Años de siembra directa continua	ASDC	Número de años de siembra directa continua	
Ciclo del cultivar	CICLO	Dummy: corto = 0, intermedio-largo = 1	
Fecha de siembra	FSBRA	Día juliano	
Fungicidas	FUNG	Dummy: sin fungicida = 0, con fungicida = 1	
Sistema de labranza	LABOR	Dummy: siembra directa = 0, labrado = 1	
Antecesor	ANT	Dummy: soja 1° = 0, maíz = 1	
Nitrógeno del suelo más el del fertilizante	NSF	Sumatoria del N disponible a la siembra de 0-20 cm de profundidad, en N- NO ₃ (medido por Fenol Disulfónico) y el N del fertilizante expresado como unidades de N.	kg/ha
Fósforo del fertilizante	PF	Cantidad de P aportado por fertilización	kg/ha
Heliofanía de septiembre y octubre	HELIOF	Horas de luz diaria, promedio del mes de septiembre y octubre	h
Humedad relativa de septiembre y octubre	HUM	Porcentaje de humedad relativa ambiente promedio de septiembre y octubre	%
Precipitaciones de invierno	PPTI	Precipitaciones de mayo, junio y julio	mm
Precipitaciones de primavera	PPTP	Precipitaciones de agosto, septiembre y octubre.	mm

Tabla 2. Regresión simple de cada variable ($P=0.001$).

	Coeficiente de Determinación R ²	
	Modelo lineal	Modelo cuadrático
AAC	ns	ns
ANT	ns	ns
ASDC	ns	ns
AU	ns	ns
CICLO	ns	ns
FS	ns	ns
FUNG	ns	ns
HELIOF	0,477	0,478
HUM	0,367	0,373
LABOR	ns	ns
MO	ns	ns
NSF	0.235	0.236
PF	0,207	0,207
PPTI	ns	ns
PPTP	0,489	0,522
PS	ns	ns

Resultados

El modelo pudo explicar un 70% de la variabilidad de los rendimientos, siendo la ordenada al origen de la regresión observado vs. estimado no distinta de 0 y la pendiente no distinta de 1, según el Test de t. Se logró un modelo explicativo del rendimiento de trigo con las siguientes variables: humedad relativa promedio de septiembre y octubre, heliofanía promedio de septiembre y octubre, nitrógeno del suelo más el del fertilizante, agua útil y cultivo antecesor (Fig. 3). No hubo efectos significativos del nivel de materia orgánica de los suelos en el rendimiento de trigo. El trigo fue insensible al sistema de labranza. No se detectaron diferencias de rendimiento entre variedades de ciclo corto o largo de trigo (Tabla 2).

Cuando se analizaron las variables en forma combinada en una regresión múltiple, las variables del suelo explicaron el 9% de la variabilidad del rendimiento, las variables de manejo explicaron el 24%, el suelo asociado a las variables de manejo el 27%

y una combinación entre las variables climáticas, de suelo y manejo el 70%. En conjunto, las variables de clima y manejo como heliofanía, humedad y uso de fertilizantes, respectivamente, tienen un impacto mucho mayor sobre los rendimientos de trigo que las variables de suelo, lo mismo se ha reportado en los escenarios de producción de la Pampa Ondulada (Álvarez et al., 2005).

Se concluye que las variables climáticas fueron las más asociadas con el rendimiento del trigo. Por ende, una de las mayores restricciones que presenta el modelo es el efecto aleatorio del clima y su impacto sobre el comportamiento del cultivo.

Una de las variables incorporada al modelo de mayor impacto fue la HELIOF, el rendimiento de trigo aumentó 397 kg/ha por cada incremento de hora de luz diaria en los meses de septiembre y octubre. Para alcanzar rendimientos potenciales de trigo deben combinarse varios factores de suelo, manejo y clima y entre ellos juegan un rol muy importante las horas de luz durante gran parte del encañado y

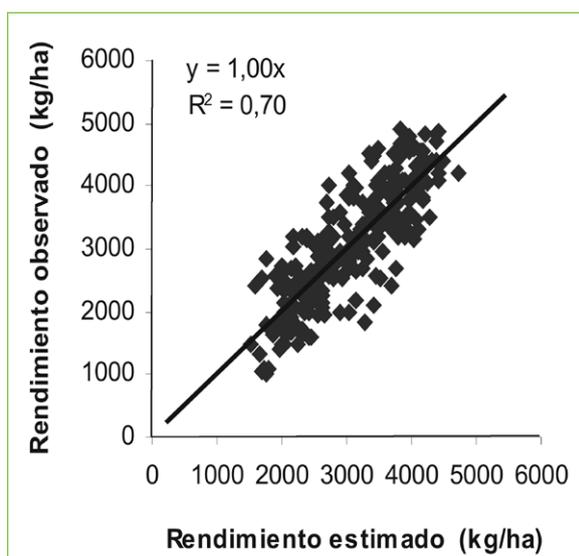


Figura 2. Relación entre rendimiento observado vs. predicho del modelo final.

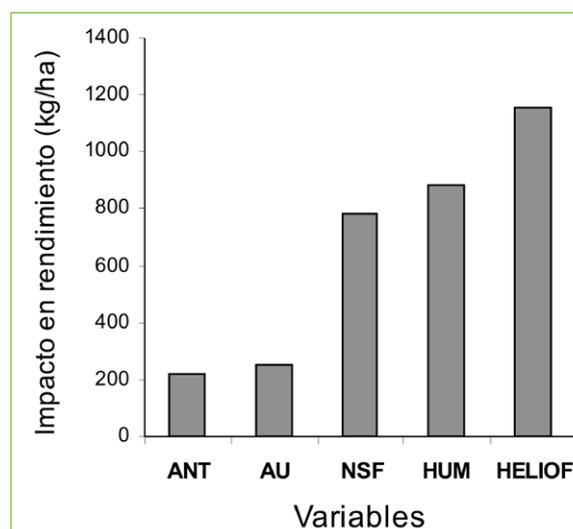


Figura 3. Impacto de las variables climáticas, de suelo y manejo sobre los rendimientos estimados por el modelo de la Figura 2.

Tabla 3. Modelos de regresión múltiple explicativos para el rendimiento de trigo y su R². Los modelos incluyen separadamente las variables de suelo y manejo, suelo más manejo y la combinación de las 3 variables: suelo, manejo y clima. S: suelo; M: manejo y C: clima

	AU	MO	PS	AAC	ANT	ASDC	CL-CLO	FS	FUNG	LABOR	NSF	PF	HE-LIOF	HUM	PPTI	PPTP	R ² (ajustado)
S	*	*															0,09
M											*	*					0,24
S + M	*										*	*					0,27
S + M + C	*				*						*		*	*			0,70

$$\text{Rendimiento} = 3211 - 75.2 * \text{HUM} + 397 * \text{HELIOF} + 10.0 * \text{NSF} + 5.28 * \text{AU} - 222 * \text{ANT}$$

hasta el período espigazón-floración (Bainotti et al., 2004). Otra variable de fuerte impacto fue la HUM que produjo una disminución del rendimiento de 75.2 kg/ha de trigo por cada punto de humedad relativa. Las precipitaciones y otros condicionantes ambientales como temperaturas entre 20 a 30°C, alta humedad relativa y períodos de mojado de 48 a 60 horas posibilitaron el desarrollo de fusariosis, cuyas infecciones ocurren principalmente durante el período de floración a través de las anteras expuestas (antesis) del trigo, lo cual acaece en la zona de influencia entre el 15 de septiembre y el 15 de octubre. Botta et al (1994) señalaron que la fusariosis causa pérdidas de consideración sobre el rendimiento (30 a 50%). La incidencia y severidad de estas enfermedades aumentan bajo escenarios muy húmedos (Annone, 2001).

El modelo mostró que la HELIOF produjo el impacto más profundo (1153 kg/ha) sobre el rendimiento, seguido por la HUM (880 kg/ha), NSF (783 kg/ha), AU (253 kg/ha) y ANT (222 kg/ha) (Fig. 3).

El NSF produce un aumento en el rendimiento del trigo de 10.0 kg/ha grano por cada kg de nitrógeno. En el sur de Santa Fe el nitrógeno es el nutriente cuya deficiencia está más generalizada, debido a que los aportes de la mineralización de la materia orgánica no alcanzan a cubrir la demanda del cultivo de trigo (Salvagiotti et al., 2000).

Pacín (2004) trabajando con datos de productores de AACREA en la zona sudoeste de la provincia de Buenos Aires, en su modelo explicativo obtuvo una respuesta del rendimiento a nitrógeno de 3.5 kg grano/kg N mineral. Siendo este un bajo valor de eficiencia agronómica para el cultivo (Álvarez et al., 2003). La eficiencia agronómica del nitrógeno disminuye al aumentar la cantidad de NSF (Fig. 4); esta misma permite realizar una evaluación económica de la fertilización (Steinbach, 2005).

Las limitaciones de nitrógeno afectan el rendimiento del cultivo de trigo impidiendo que este alcance el índice de área foliar crítico (IAFc) y produciendo una menor eficiencia de conversión de la radiación interceptada en materia seca (Abbate et al., 1994); siendo que se considera a este nutriente como un factor condicionante del rendimiento del trigo. El bajo grado de predicción de la absorción del nitrógeno y del rendimiento que se logra considerando solamente la disponibilidad del nutriente en el suelo puede mejorarse a veces considerando la disponibilidad de agua (Álvarez, 2005).

El AU incrementó el rendimiento en 5.28 kg/ha de trigo por cada milímetro de agua almacenado en el perfil (hasta un 1.25 mts de profundidad) al momento de la siembra. Como este cultivo desarrolla

su ciclo durante el período del año en que las lluvias son más escasas, lo esencial es determinar la cantidad de agua útil almacenada en el suelo hasta 1 metro de profundidad, ya que con la misma se pueden predecir con mucha exactitud los rendimientos a obtener (Fontanetto, 2004). La disponibilidad de agua es un factor ambiental que permite alcanzar el rendimiento potencial, en particular hasta el inicio del período de crecimiento de las espigas (Micucci y Álvarez, 2003).

El cultivo de trigo, al igual que otros cultivos presenta fluctuaciones de los rendimientos entre años y entre sitios, dependiendo estas variaciones principalmente de la disponibilidad de agua y nutrientes. La cantidad de agua disponible para la planta es una de las variables fundamentales para la producción de materia seca o el rendimiento de los cultivos (Wagner et al., 1992).

Con respecto a la variable ANT produce una disminución del rendimiento de 222 kg/ha cuando el cultivo antecesor fue maíz. 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 fertilizante/ha (Sain y Jáuregui, 1993). En los datos analizados, el impacto de la soja como antecesor no parece estar 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; resultados similares se han reportado

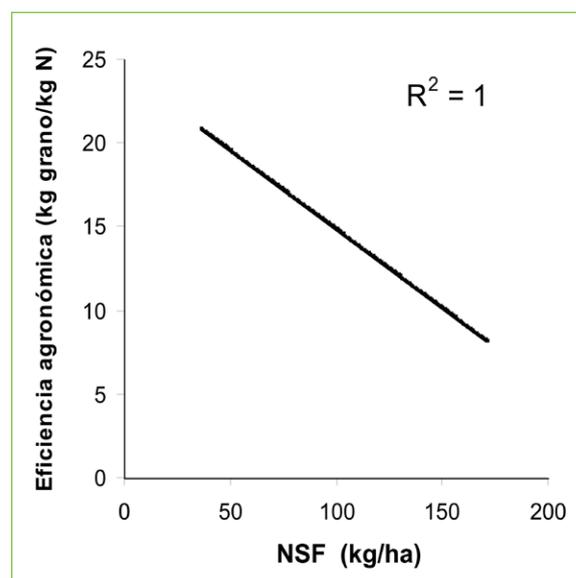


Figura 4. Eficiencia agronómica en función de la disponibilidad de nitrógeno (suelo + fertilizante).

en trabajos anteriores realizados por Álvarez y Grigera (2005).

La siembra de trigo sobre rastrojo de maíz plantea algunas dificultades técnicas; específicamente "concurren una serie de factores (rastrosjos abundantes, suelos húmedos, etc.) que hacen complicada la implantación del trigo sobre maíz" (Bragachini et al., 2004).

Los resultados analizados muestran que las variables climáticas son factores sumamente decisivos en el rendimiento del cultivo de trigo, por ello su predicción aún bajo distintas alternativas de manejo resulta una tarea dificultosa.

Bibliografía

- Abbate P., F. Andrade y J. Culot.** 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico EEA Balcarce, INTA. Volumen 133.
- Alvarez R.** 2005. Fertilización de cultivos de granos y pasturas. Diagnóstico y recomendaciones en la Región Pampeana. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, pp. 55-80.
- Alvarez R. y S. Grigera.** 2005. Análisis of Soil Fertility and Management on Yields of Wheat and Corn in the Rolling Pampa of Argentina. *J. Agronomy & Crop Science* 191, pp. 321-329.
- Alvarez R., H. Steinbach, C. Alvarez y S. Grigera.** 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la Pampa Ondulada. *Informaciones Agronómicas* 18, pp. 14-19.
- Annone J.** 2001. Criterios empleados para la toma de decisiones en el uso de fungicidas en trigo. *Tecnología Agropecuaria* 6, pp. 16-20
- Bainotti C., J. Frascina, J. Salines, M. Cuniberti, E. Alberione, L. Riveri, M. de Galich, M. Formica y A. Galich.** 2004. Evaluación de cultivares de trigo en la EEA Marcos Juárez durante el año 2003. En: Informe para Extensión 85, EEA Marcos Juárez, INTA, pp. 14-18
- Botta G., J. Annone y A. Ivancovich.** 1994. El golpe blanco de la espiga de trigo: Importancia y epidemiología. Carpeta de Producción vegetal. Tomo XII. Trigo. Información 154. EEA Pergamino, INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Bragachini M., A. Mendez y F. Scaramuzza.** 2004. Siembra Directa de Trigo con Abundante Rastrojo en Superficie - Equipamiento de la Sembradora. Proyecto Agricultura de Precisión. INTA Manfredi. (www.engormix.com/en_trigo).
- Fontanetto H.** 2004. Nutrición de cultivos y manejo de la fertilidad del suelo en la región central de Santa Fe. Simposio Fertilidad 2004. Fertilidad de Suelos para un Agricultura Sustentable. Rosario, Argentina, pp. 19-25.
- Iannone N.** 2001. Control químico de *Diatraea*. Tecnología que apunta a la alta producción. *Revista de Tecnología Agropecuaria* 6, pp. 33-37.
- Micucci F. y C. Alvarez.** 2003. El agua en los cultivos extensivos. Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia del uso del agua. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 20. Inpofos, Acassuso, Buenos Aires.
- Nelson L.A., R. Voss, J. Pesek.** 1985. Agronomic and statistical evaluation of fertilizer response. In: Englestad, O.P. (Ed.), *Fertilizer Technology and Use*. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp. 53-90.
- Neter J., W. Wasserman y M. Kutner.** 1990. *Applied linear statistical models*. Irwin inc. Eds., Illinois, USA.
- Pacin F.** 2004. Análisis de los factores determinantes del rendimiento del trigo en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires Trabajo Final de la Especialización en Fertilidad y uso de Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 30 p.
- Sain G.E. y M.A. Jáuregui.** 1993. Deriving fertilizer recommendations with a flexible functional form. *Agron. J.* 85, pp. 934-937.
- Salvagiotti F., J. Castellarín, H. Pedrol y O. Rosso.** 2000. La mineralización neta de nitrógeno durante el ciclo del cultivo de trigo y su uso en el balance de nitrógeno. Actas del XVII Congreso Argentino de la ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Steinbach H.** 2005. Fertilización de cultivos de granos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana; coordinado por Roberto Álvarez. Funciones de producción. Capítulo II. Editorial Facultad Agronomía. Universidad de Buenos Aires, pp. 13-25.
- Wagger M., M. Verpraskas y H. Denton.** 1992. Corn grain yield and nitrogen utilization in relation to subsoiling and nitrogen rate on Paleudults. *Agronomy Journal*, 84:888-892 ●

VEA ESTE Y TODOS LOS ARTICULOS
DE INFORMACIONES AGRONOMICAS DEL CONO SUR EN:

WWW.IPNI.NET