

OPTIMIZACION DE LA RESPUESTA A LA FERTILIZACION
NITROGENADA EN EL CULTIVO DE TRIGO, A PARTIR DE UN MODELO
DE DECISION PARA LA SUBREGION IV
(SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES)

J.H. González Montaner (1); G.A. Maddonni* (1); N. Mailland (2) y M. Posborg (2)

(1) Docentes Cátedra de Cerealicultura, Fac. Agr. (UBA) - Av. San Martín 4453 - Bs. As. Argentina

(2) Experimentadores CREA-CAEA Zona Mar y Sierras

RESUMEN

Durante los años 1987, 1988 y 1989 se condujeron a campo 27 ensayos de fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo, en 8 partidos del Sudeste de la provincia de Buenos Aires. El objetivo propuesto fue obtener un modelo de recomendación para la fertilización, que integrase i. el nitrógeno disponible en el suelo a la siembra, ii. el estado hídrico del suelo y iii. el momento de fertilización. Se realizaron 6 tratamientos de fertilización nitrogenada (50 kg N. ha⁻¹, 100-X, 125-X, 150-X, 175-X y 200-X, siendo X. kg N. ha⁻¹ del suelo a la siembra en los primeros 60 cm del perfil) en los momentos del cultivo de i. 2 hojas expandidas, ii. espiga "1 cm" y iii. 2 hojas y espiga "1 cm". A cosecha se calculó la eficiencia de respuesta por hectárea (kg trigo. kg N aplicado⁻¹) para cada tratamiento. Cuando los niveles de agua en el suelo fueron inferiores al 75% del agua retenida a capacidad de campo, las eficiencias de respuesta resultaron bajas o negativas. Cuando la disponibilidad de nitrógeno a la siembra fue de 125 kg ha⁻¹, la eficiencia de respuesta resultó significativamente mayor a la de los restantes tratamientos. La disponibilidad de nitrógeno de 69 kg.ha⁻¹ fue considerada como umbral para la decisión del momento de fertilización, siendo recomendable fertilizar antes de 2 hojas por debajo de dicho valor y en espiga "1 cm" cuando la cantidad es mayor. El modelo propuesto que integró la disponibilidad de nitrógeno con el estado hídrico del suelo y el momento de fertilización presentó una respuesta por hectárea de 15.3 kg trigo kg N aplicado⁻¹, siendo superior en más del 70% de los sitios a una relación económica (kg trigo:kg fertilizante) de 4:1.

Palabras clave: modelo, nitrógeno, disponible, fertilización, estado hídrico, eficiencia de respuesta.

A DECISION MODEL FOR NITROGEN FERTILIZATION IN WHEAT,
IN THE SOUTH-EAST OF BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA

ABSTRACT

During 1987, 1988 and 1989, 27 nitrogen fertilization trials on wheat, were conducted in eight different locations in the South-eastern Buenos Aires province, to obtain a decision model for nitrogen fertilization which included i. the available nitrogen of the soil at sowing (NS), ii. the water content of soil and iii. the time of nitrogen application. Six nitrogen fertilization treatments (50 kg N.ha⁻¹, 100-x, 125-x, 150-x, 175-x, and 200-x where X- kg N. ha⁻¹ in the above 60 cm of the profile at sowing) were applied at the following wheat stages: i. 2 expanded leaves, ii. terminal spike and iii. 2 expanded leaves and terminal spike. At maturity the nitrogen use efficiency for each treatment was calculated (kg wheat.kg N applied⁻¹). When the level of water in the soil was under 75% of field capacity (0-60 cm) the efficiencies were little or negatives. The best

response was obtained with $125 \times x$ ($\text{Kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$). The best time of application depended on the amount of soil nitrogen (NS). We suggest to apply the nitrogen fertilization before "2 expanded leaves" when NS is under $60 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, and application it at "terminal spike" stage when NS is higher. The Nitrogen efficiency obtained with the decision model was $15.3 \text{ Kg wheat} \cdot \text{Kg N applied}^{-1}$. The Nitrogen use efficiency at 70% of the locations was over the break even point (wheat yield: fertilizer) of 4:1.

Key words: model, available nitrogen, fertilization, water content.

INTRODUCCION

En los últimos años diferentes grupos de investigadores han demostrado en la región triguera IV y V, la respuesta del cultivo de trigo a la fertilización nitrogenada (Berardo *et al*, 1980, 1989; Cantamutto *et al*, 1984; González Montaner 1988; Loewy 1990).

La medición del nitrógeno disponible en el perfil previo a la siembra, fue utilizado por Barberis *et al* (1983), Senigaglia *et al* (1983) y Novelo *et al* (1986), para caracterizar las respuestas del cultivo de trigo a una misma dosis de fertilización nitrogenada (isodosis).

En Europa, Wehrmann y Scharpe (1980) y Ditz *et al* (1982) demostraron la posibilidad de determinar la dosis a utilizar a partir de la diferencia entre un valor constante y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo a la siembra.

Esta metodología fue utilizada por González Montaner (1989) durante 3 años en 2 sitios experimentales del partido de Coronel Pringles, encontrando para dichos sitios una máxima respuesta (máxima eficiencia de respuesta) cuando la disponibilidad de nitrógeno en el suelo era de $125 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (nitrógeno del suelo + nitrógeno fertilizado).

Los objetivos de este trabajo fueron:

1. Determinar cuales son las disponibilidades de nitrógeno ($\text{N suelo} + \text{N fertilizante}$) que permiten obtener las mayores respuestas por unidad de nitrógeno aplicado.
2. Proponer un modelo de recomendación de fertilización que integre la disponibilidad del nitrógeno a la siembra con otras variables, como el estado hídrico del suelo y el momento de fertilización.

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron 27 ensayos de fertilización a campo durante los años 1987, 1988 y 1989 en ocho partidos del Sudeste de la provincia de Buenos Aires. En la

Tabla 1 se detalla la ubicación geográfica de cada uno de los sitios experimentales (SE).

En la **Tabla 2** se transcriben algunas características físicas y químicas, así como los años de agricultura de los distintos SE previos a la siembra.

Condiciones hídricas de los sitios experimentales

A fin de caracterizar las condiciones hídricas de los SE, se registraron in situ las precipitaciones acontecidas (Pp). Mediante datos de las Evapotranspiraciones Potenciales de las estaciones meteorológicas de Azul y Tandil, y de la Chacra Experimental de Barrow y calculándose el coeficiente K del cultivo (Paoloni, y Fiorentino, 1987) se estimaron las Evapotranspiraciones del cultivo.

Para conocer el Estado hídrico del suelo (EH) en un momento dado, se relacionó la cantidad de agua presente con la cantidad de agua capaz de retener dicho suelo en capacidad de campo (CC) (prof: 0-60 cm). Se transcriben las ecuaciones para conocer los EH en: i. siembra (s), ii. 30 días de la siembra (2h: 2 hojas del cultivo, escala Zadoks: 12) y iii. 60 días de la siembra (e1: espiga "1 cm" del cultivo, escala Zadoks: 30).

$\text{EHs (\%)} = \text{H2O suelo en s (cm)} / \text{H2O suelo en CC (cm)}$

$\text{EH2h (\%)} = (\text{H2O suelo en s (cm)} + \text{Ppsa2h (cm)} - \text{ETcsa2h (cm)}) / \text{H2O suelo en CC}$

$\text{EHe1 (\%)} = (\text{H2O suelo en 2h (cm)} + \text{Pp2hae1 (cm)} - \text{ETc2hae1 (cm)}) / \text{H2O suelo en CC}$

EH: estado hídrico de suelo.

s: siembra - 2h: 2 hojas - e1: espiga "1 cm".

CC: % de agua volumétrica en capacidad de campo
Ppsa2h: precipitaciones desde la siembra hasta el estado de 2 hojas del cultivo.

ETcsa2h: evapotranspiración del cultivo desde la siembra hasta el estado de 2 hojas.

Tabla 1: Partidos y distancia al mar de cada uno de los sitios experimentales.

Año	Partido	Campo	Dist. mar(Km)
1987	Chel. Suarez	Los Caranchos(LC)	135
	Chel. Pringles	Las Aguilas(LA)	80
	Tres Arroyos	Rybnier(RY1)	38
	La Dulce	El Albulia(EA1)	40
	Energía	Micrauero 9(MI9)	21
		Micrauero 12(MI12)	21
		10 de Mayo(10M)	24
1988	Chel. Suarez	Los Caranchos(LC2)	135
	Tres Arroyos	Mendiberry(ME)	36
		Federasen(FE1)	36
		Rybnier(RY2)	38
		Skou(S)	28
		Vassolito(V1)	60
	La Dulce	El Albulia(EA2)	40
	Necochea	Tupungato 1(T1)	12
		Tupungato 2(T2)	12
		Tupungato 3(T3)	12
1989	Tres Arroyos	Greenenberg(G)	67
		Vassolito(V2)	60
		Federasen(FE2)	38
		Coop. Copetonas(CO)	17
		Alberto(A)	17
		Coop. Casallares(CA)	38
	Energía	La Confiianza(LAC)	4
	Necochea	La Magdalena(M)	12
		Tupungato(T4)	12
	Laprida	San Marcos(SM)	156

Tabla 3: Precipitaciones, estados hídricos del suelo y balances hídricos (Pp-Etc) en los distintos SE.

Año	SE	Pp(cm) s-2h s-e1	BH(cm) s-2h s-e1	BH(cm) s 2h e1
1987	LC1	6.9 15	4.53 8.6	78.2 98.2 117
	LA	5.2 9.3	2.83 2.9	91.5 107 100
	RY1	3.9 4.6	1.53 1.8	68.9 74.8 59
	EA1	6.5 12.2	4.13 5.8	76.6 93 100
	MI9	8.4 15.4	6.03 9.0	95.0 127 116
	MI12	8.4 15.4	6.03 9.0	84.3 104 116
	10M	6.5 12.4	4.13 6.0	95.8 116 110
	LC2	6.9 12.3	3.4 8.2	79.9 84.6 93
	ME	4.0 14.7	0.5 11.5	63.9 66.7 104
	FE1	0.0 12.7	-3.5 11.7	61.7 43.6 89
	RY2	4.5 9.5	1.0 10.5	56.0 60.0 105
	S	4.0 17.5	0.5 10.0	73.0 76.0 136
1988	V1	4.5 16.5	1 9.0	54.0 58.0 90
	EA2	6.3 14.6	2.8 3	47.9 59 77
	T1	4.3 8.5	0.8 1.0	97.7 103 102
	T2	4.3 8.5	0.8 1.0	91.8 96.6 98
	T3	4.3 8.5	0.8 1.0	89.5 94.2 95.9
	G	9.2 19.3	6.7 14.7	81 110 133
	V2	18.1 32.1	15.6 27.5	68 132 143
	FE2	0.1 12.8	-2.4 6.2	76 82.7 132
	CO	7 25.4	4.5 20.8	68 107 193
	A	11 21.2	8.5 16.6	56 112 128
	CA	0.1 13	-2.4 8.8	72 80.6 127.4
	LAC	9.7 18.4	7.2 13.4	74 112 128
1989	H	6.6 12.5	4.1 7.9	84 105 113
	T4	6.6 12.5	4.1 7.9	108 115 115
	SM	6 15	4.1 7.9	90.6 108 128

Tabla 2: Profundidad total, % carbono total, disponibilidad de nitrógeno (prof:0-60cm), fósforo (Bray y Kurtz, prof:0-20cm) y de agua (prof:0-60cm) a la siembra. Se anexan los ácidos de agricultura(AA) de los SE y el agua retenida a capacidad de campo(prof:0-60cm). (Análisis realizados en el laboratorio LAQUIGR, CONICET).

Año	SE	Prof. (cm)	N (kg/ha)	P (ppm)	XCT	H2O (cm)	H2Occ (cm)	AA
1987	LC1	80	51	5.2	2.3	17.2	22	20
	LA	80	54	9.3	1.9	16.1	17.6	20
	RY1	80	117	6.5	2.18	14.4	21.5	5
	EA1	60	89	6	2.99	19.0	24.8	20
	MI9	100	99	4.7	3.96	18.3	19.1	7
	MI12	>100	72	7.7	2.73	16.1	19.1	20
	10M	>100	106	8.6	2.64	18.3	19.1	6
1988	LC2	60	15	5.2	2.7	15.8	22	20
	ME	>100	45	3.8	1.74	11.5	18	20
	FE1	>100	84	10.5	2.29	11.9	19.3	7
	RY2	80	67	6.3	2.18	12	21.5	8
	S	60	41	5.8	1.66	11.5	15.8	20
	V1	60	35	4.2	2.24	13.4	24.8	10
	EA2	80	150	6	2.84	11.9	24.8	20
	T1	>100	50	3.4	2.62	16.7	17.1	20
	T2	>100	70	2.6	2.82	15.7	17.1	5
	T3	>100	90	4	3.44	15.3	17.1	2
1989	G	80	105	16.2	2.42	16.4	20.1	20
	V2	55	88	4.2	2.68	17	24.8	10
	FE2	>100	86	15.2	2.31	14.8	19.1	9
	CO	60	61	7	1.91	17.7	20	20
	A	69	33	7	2.19	13.5	24.5	20
	CA	>100	101	13	2.49	15.6	21.5	20
	LAC	>100	124	5.3	2.92	14.2	19.1	3
	M	>100	66	7.9	2.35	16.7	19.6	20
	T4	>100	51	6.4	2.74	18.6	17.1	10
	SM	>100	85	13.1	2.79	18.3	20.2	16

Pp2hael: precipitaciones desde el estado de 2 hojas hasta el estado espiga "1 cm" del cultivo. Etc2hael: evapotranspiración desde el estado de 2 hojas hasta el estado espiga "1 cm" del cultivo. (si el EH2h > 100%, para el cálculo del EHel se tomó como H2O suelo 2h la cantidad de H2O a capacidad de campo, ya que el excedente se consideró no acumulado).

Tratamientos

En todos los lotes el antecesor fue Girasol, realizándose similares labores para la preparación de la cama de siembra. Junto con la siembra del cultivo (variedad Buck Patacón), que varió entre fines de Julio y principios de Agosto se realizó una fertilización fosforada (90 kg SPT.ha⁻¹) para evitar deficiencias de este elemento. Se transcriben los tratamientos de fertilización nitrogenada (urea) y el número de SE (n) en los que se realizó cada tratamiento.

T0 = testigo (n = 27)
 T1 = 50 kg N.ha⁻¹ (n = 27)
 T2 = 100 - x (kg N.ha⁻¹) (n = 17)
 T3 = 125 - x (kg N.ha⁻¹) (n = 23)
 T4 = 150 - x (kg N.ha⁻¹) (n = 25)
 T5 = 175 - x (kg N.ha⁻¹) (n = 23)
 T6 = 200 - x (kg N.ha⁻¹) (n = 11)

(x: cantidad de nitrógeno disponible (N-NO₃-) por el método espectrofotométrico reductivo (Daniel, y Marbán, 1989), en los primeros 60 cm del perfil a la siembra).

El T1 fue realizado en 2 h en todos los SE, mientras que los restantes tratamientos fueron realizados cuando la cantidad de nitrógeno a la siembra de los SE era menor a la de los tratamientos. Estos últimos fueron realizados en los momentos: i. 2h, ii. e1 y iii. 2h + e1 (fertilización dividida).

Diseño experimental

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con 4 a 6 repeticiones por tratamiento, en parcelas de 10 m².

Estimación de las Eficiencias de Respuesta (ER)

En madurez comercial se determinó el rendimiento en los SE, realizándose el muestreo de 2 subparcelas (0.5 m²) por tratamiento y por bloque.

Posteriormente se calculó la ER por hectárea del nitrógeno aplicado en trigo mediante la siguiente ecuación:

$$ER \text{ (kg trigo, kg N apl}^{-1}\text{)} = (\text{Rend Tx} - \text{Rend To}) \cdot (\text{kg N Tx} - \text{kg N To})^{-1}$$

(siendo Tx el tratamiento en cuestión)

Comparación de las Eficiencias de Respuesta

Se formularon las siguientes ecuaciones:

ER media de cada SE (ERse) para cada disponibilidad objetivo (Ns + Nf):

$$ERse = (ER_{2h} + ER_{e1} + ER_{2h+e1}) \cdot 3^{-1}$$

ER de cada disponibilidad objetivo (ERt) para el conjunto de sitios:

$$ERt = \text{Sum ER se, número de SE}^{-1}$$

(del mismo tratamiento)

— Para determinar las disponibilidades de nitrógeno que presentaron las mayores respuestas, se compararon las ER medias de los tratamientos (muestras independientes) con un test de comparación de medias (prueba de t). Suponiendo la igualdad de varianza de las diferentes poblaciones evaluadas por el test de Bartlett y considerando que el número de observaciones (n1 + n2) es suficientemente grande (mayor que 30), la exigencia de normalidad de las poblaciones no es importante como lo señala Gouet (1974). Se testea entonces la hipótesis nula al nivel α si la t observada es superior o igual a la t (1 - α)/2.

$$\frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left\{ \frac{SCE1 + SCE2}{n1 + n2 - 2} \right\} \left[\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2} \right]}} \rightarrow t(n1 + n2 - 2)$$

En estas comparaciones se tuvieron en cuenta las diferencias entre sitios y no dentro de los sitios.

— Las comparaciones de las ER en cada SE (muestras no independientes) se realizaron con un test de cuplas (prueba de t), en las que se testeó la hipótesis de que las diferencias entre las medias sea nula.

Si $\hat{M}/\sqrt{\hat{\gamma}/n} > t(\hat{\gamma}/n)$ se descarta la hipótesis para un riesgo de primera especie. (Dagnelie, 1969).

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa STAT-ITCF (versión 4) del Instituto Técnico de Cereales y Forrajes (ITCF, 1990).

— Para las disponibilidades de nitrógeno que resultaron óptimas, se formularon modelos que integraron el estado hídrico del suelo en distintos momentos, y la época de aplicación del nitrógeno según la disponibilidad del mismo a la siembra. El estado hídrico umbral se obtuvo a partir del análisis gráfico de la relación entre ER de los tratamientos y EH, buscando el estado hídrico del suelo por encima del cual se minimizaran las ER negativas. Una metodología gráfica similar fue utilizada por Papastylianou, *et al* (1982) y González Montaner, (1987). Para la selección de la época de aplicación del fertilizante, se realizó una regresión lineal simple entre el nitrógeno a la siembra y la diferencia entre ER_{e1} y ER_{2h} de los tratamientos T3 y T4.

— Con el objetivo de corregir la dosis de nitrógeno a aplicar, debido a los posibles drenajes de nitrógeno en los 30 días posteriores a la siembra, se utilizó el modelo de Burns, (1976) modificado por González

Montaner, y Maddonni, (1990). A continuación se transcribe el modelo empleado:

$$f = [P \cdot (P + Vm \cdot 100^{-1})^{-1}]^w$$

f = fracción de nitrógeno drenado

P = agua drenante (Pp - Def. hídrico - ETc) (cm).

Vm = agua a capacidad de campo (%).

w = mitad de la prof. perfil (30 cm).

Así el nitrógeno en el suelo a los 30 días de la siembra (N30ds) resultaría de la siguiente ecuación:

$$N30ds = Ns - (f * Ns)$$

A partir del nitrógeno drenado se reformularía la dosis de nitrógeno a aplicar, y en el caso en que se esté por debajo del nitrógeno determinado como umbral para la época de aplicación, se dividiría la misma entre dos hojas y espiga "1 cm".

Finalmente se graficó un diagrama de flujo que representa el modelo de fertilización propuesto.

Análisis de la respuesta económica de la fertilización

Se compararon los siguientes modelos de fertilización:

- I. T1
- II. T1 (casos con EH > umbral)
- III. T2 (" " " ")
- IV. T3 (" " " ")
- V. T4 (" " " ")

VI. Modelo de fertilización propuesto.

Para cada uno de éstos se calculó el porcentaje de SE cuya ER superó las relaciones trigo: urea (Kg trigo: kg fertilizante) i. 3:1, ii. 4:1, iii. 5:1, iv. 6:1, v. 7:1, vi. 8:1, vii. 10:1 y viii. 12:1.

RESULTADOS

Eficiencia de respuesta del nitrógeno aplicado

En la **Tabla 4** se transcriben las ER de cada uno de los tratamientos en los SE.

Tabla 4: Eficiencias de Respuesta de cada uno de los tratamientos realizados en los SE en los momentos 2 hojas(2h), espiga 1cm (e1) y 2 hojas, espiga 1cm (2h+e1). Las barras inclinadas indican ausencia de los tratamientos.

Año	SE	T1 (ER)	2h	T2(ER) e1	2h+e1	2h	T3(ER) e1	2h+e1	2h	T4(ER) e1	2h+e1
1987	LC1	20.2	20.2	/	/	19.9	13.2	/	17.3	/	16.7
	LA	7.1	7.1	/	/	8.3	10.6	/	9.5	/	8.3
	RY1	8.2	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	EA1	10.6	/	/	/	10.8	/	/	9.7	16	/
	MI9	5	/	/	/	/	1.5	/	/	5	/
	MI12	5.7	/	/	/	/	5.7	/	/	6	/
	19M	1.8	/	/	/	/	3.4	/	/	1.8	/
	LC2	-3	1.8	-3	/	1	/	9	/	/	-9
	ME	10	10	/	/	9	4.3	6.3	/	/	1.8
	PE1	-8.8	-3.1	/	/	-8.8	-2.8	-6.4	/	/	-6.1
1988	RY2	-7	7.9	/	/	-7	3	-1.6	-1.6	/	-2.1
	S	4	1.2	1.4	/	/	/	/	/	/	/
	V1	-6.2	-6	-2	-1	/	/	-1.7	/	/	-2.2
	EA2	0.9	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	T1	5.2	/	5.2	/	16.7	17.1	/	/	17.7	/
	T2	23.2	/	11.9	/	23.2	23.1	/	/	20.8	/
	T3	27.5	/	3	/	31.9	29.3	/	/	27.5	/
	G	7.3	/	/	/	16.1	21.7	/	7.3	13.4	19.2
	V2	17.9	31	/	/	17.9	19.8	22	16.1	18.5	26.8
	PE2	11.9	/	/	/	11.9	20.7	/	9.9	16.4	17.6
1989	CO	13.5	13.5	/	/	11.7	12.1	13.3	11.1	/	12.2
	A	15.5	20.1	24.8	26.1	17.1	/	21.9	/	/	16.6
	CA	18.4	/	/	/	24.8	26.8	/	18.4	23.4	29.4
	LAC	3.9	/	/	/	/	/	/	/	6.1	/
	H	4.2	/	9	/	/	4.2	/	7.9	7.2	/
	T4	10.8	/	10.8	/	29.5	20.8	/	/	17.9	/
	SM	20.5	23.5	/	/	20.5	/	/	22.9	/	/
Año	SE	T5(ER) 2h	e1	2h+e1	T6(ER) 2h	e1	2h+e1				
1987	LC1	/	/	13.9	/	/	14.7				
	LA	/	/	3.8	/	/	7.0				
	RY1	-2	1.3	-4	-1.4	/	2.8				
	EA1	9.5	/	7.1	/	/	6				
	MI9	/	9	/	/	/	/				
	MI12	/	4.3	/	/	/	/				
	19M	/	1.7	/	/	/	/				
	LC2	/	/	/	/	/	/				
	ME	/	/	3.3	/	/	/				
	PE1	/	/	-6.3	/	/	/				
1988	RY2	/	/	-1.7	/	/	/				
	S	/	/	/	/	/	/				
	V1	/	/	/	/	/	/				
	EA2	0	/	/	9	9	9.4				
	T1	/	14.5	/	/	/	/				
	T2	/	15.9	/	/	/	/				
	T3	/	19.4	/	/	/	/				
	G	6.6	/	11.1	/	/	9.7				
	V2	/	/	16.1	/	/	/				
	PE2	13.3	/	14.2	/	/	10.7				
1989	CO	/	/	12.3	/	/	/				
	A	/	/	/	/	/	/				
	CA	21.6	/	20.3	/	/	16.5				
	LAC	/	3.9	/	/	3.3	/				
	H	/	5.8	/	/	4.5	/				
	T4	/	13.5	/	/	/	/				
	SM	13.7	/	/	6.8	/	/				

Comparación de las distintas Eficiencias de respuesta

En la **Tabla 5** se transcriben las ERse, ERt, el número de casos (n) y los coeficientes de variación (CV). Se adjunta los cuadros de los test de medias y cuplas y un cuadro del nitrógeno inicial promedio y rendimientos medios del testigo y de los tratamientos.

Estado hídrico del suelo

En la **Figura 1** se graficaron las ER de los SE para

Tabla 5: Eficiencias de Respuesta medias de cada SE (ERse) y de cada tratamiento (ERt). Se adjuntan el número de casos (n), los coeficientes de variación (CV), y los test de medias con sus significancias (p). Las barras inclinadas indican ausencia de los tratamientos. Se transcribe para cada tratamiento el nitrógeno promedio a la siembra (N. prom sie), y los rendimientos medios del testigo y del tratamiento en cuestión.

Año	SE	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1987	IC1	28.2	28.2	13.6	17	13.9	14.7
	IA	7.1	7.1	9.5	8.8	3.8	7.8
	RV1	2			-8.4	.4	.7
	EA1	10.8		10.6	12.9	8.3	6.0
	M19	5		1.5	5	.9	
	M12	5.7		5.7	6.0	4.3	
	IRM	1.8		3.4	1.8	1.7	
	IC2	3	2		.9		
	ME	10	10	6.5	1.0	3.5	
	FE1	8.6	3.1	19.9	6.1	6.3	
1988	RV2	7	7.9	7	1.0	1.7	
	S	4	1.3				
	V1	6.2	-6	1.7	-2.2		
	EA2	9					6.4
	T1	5.2	5.2	16.9	17.7	14.5	
	T2	23.2	11.9	23.1	20.8	15.9	
	T3	27.5	3.8	30.6	27.5	19.4	
	G	7.3		18.9	13.3	8.9	9.7
	V2	17.8	31	19.9	19.8	16.1	
	FE2	11.5		16.3	14.6	13.7	10.7
1989	CV	13.5	13.5	12.4	11.7	12.3	
	A	15.5	23.7	19.5	16.6		
	CA	18.4		25.8	23.7	21	16.5
	LAF	3.9			8.1	3.9	3.3
	M	4.2	.9	4.2	7.6	5.8	4.5
	T4	10.8	19.6	25.1	17.9	13.5	
	SM	20.5	23.5	28.58	22.9	13.7	6.8
	n	27	17	23	25	23	11
	ERt	8.2	9.8	12.1	10.1	8.1	7.85
	CV	1.1	1.01	.84	.94	.91	.68

Quadro comparación de medias

Quadro comparación de cuplas

(ns: no significativo, *: .10 > p > .05, **: .05 > p > .001, ***: p < .001)

N. prom. sie (Kg/ha)

Rend. prom. To (Kg trigo/ha)

Rend. prom. Fert. (Kg trigo/ha)

n

T1

T2

T3

T4

T5

T6

todos los tratamientos en función del EH a los 30 días de la siembra (2h).

En la Tabla 6 se confrontan las ERt de la Tabla 5 con las ERt de los SE en los que en s o 2h, el EH > 75%.

Momento de fertilización (2h o e1) según la cantidad de nitrógeno del suelo a la siembra.

En la Tabla 7 se presentan para los SE (con EH > 75%) que tuvieron en los tratamientos T3 y T4 fertilización en i, 2h, ii, e1, las diferencias entre ERe1 y ER2h y la cantidad de nitrógeno inicial en el testigo.

Se transcribe la regresión obtenida entre ERe1 - ER2h y Ns.

$$\text{ERe1} - \text{ER2h} = -10.31 + 0.15 * \text{Ns}$$

$$(r^2 = 0.37 \text{ n} = 13 \text{ p} = 0.026).$$

Así la cantidad de nitrógeno en el suelo a la siembra a tener en cuenta como valor umbral sería:

$$10.31/0.15 = 69 \text{ Kg N.ha}^{-1}$$

En la Tabla 8 se transcriben las ERseT3, ER en 2h y el para el T3. Se adjunta la ER del modelo propuesto (ERm) obtenida con la media de las ER de aquellos sitios fertilizados en 2 h o en e1 según la cantidad de Ns y sin limitaciones hídricas del suelo.

Aplicación de la fertilización dividida (2h + e1) según el drenaje de nitrógeno en los 30 días posteriores a la siembra.

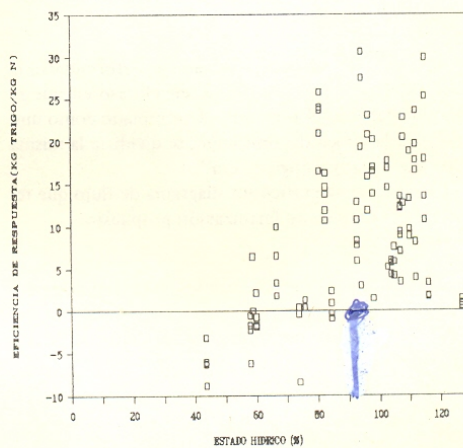


Figura 1: Eficiencias de respuesta de los tratamientos de fertilización en función del estado hídrico del sitio experimental en el estado 2 hojas expandidas del trigo (30 días de la siembra).

Tabla 6: Eficiencias de Respuesta medias de los tratamientos (ERt), número de casos (n) y coeficientes de variación (CV) para todos los SE y para aquellos cuyo estado hídrico del suelo hasta 2 hojas expandidas, era mayor al 75%. Se adjunta los cuadros de test de medias y cuplas con sus niveles de significancia (p) del análisis estadístico de los sitios con EH > 75%.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
todos	n 27	17	23	25	23	11
los	ERt 8.2	9.8	12.1	10.1	8.1	7.8
casos	CV 1.1	1.01	.83	.94	.91	.68
casos	n 22	13	19	21	19	10
con	ERt 10.3	11.7	14.8	12.4	10.1	8.9
EH > 75%	CV .82	.67	.59	.73	.63	.62

Quadro de comparación de medias

Quadro de comparación de cuplas

(ns: no significativo, *: .10 > p > .05, **: .05 > p > .001, ***: p < .001)

T1

T2

T3

T4

T5

T6

Tabla 1: Nitrógeno a la siembra (Ns) y diferencia entre las eficiencias de Respuestas de los SE en la fertilización en espiga "1cm" (ERel) y en 2 hojas (ER2h). Sitios con ER > 75%, tratamientos 3 y 4.

Año	SE	Na	ERel-ER2h
1987	LC1	51	-6.7
	IA1	54	2.3
	EA1	89	6.3
1988	T1	50	.4
	T2	70	-1.1
	T3	90	-2.6
1989	G	105	5.6
	V2	86	1.9
	FE2	86	8.8
	CO	61	.4
	T4	51	-8.7
	M	66	-1.7
	CA	101	2

Tabla 2: Nitrógeno a la siembra. Eficiencias de respuesta del tratamiento 3 en 2 hojas y en espiga "1cm". Eficiencias de respuesta del modelo propuesto para cada sitio y Eficiencias medias de los sitios en el tratamiento 3. Se adjunta el cuadro de comparación de medias y cuplas. Las barras inclinadas indican ausencia de los tratamientos.

Año	SE	Na	ER T3 2h	el	ERe T3	Modelo
1987	LC1	51	19.9	13.2	16.6	19.9
	IA	54	8.3	10.6	9.5	8.3
	MI9	99	/	1.5	1.5	1.5
	MI12	72	/	5.7	5.7	5.7
	IOH	106	/	3.4	3.4	3.4
1988	LC2	15	1	/	1	1
	T1	50	16.7	17.1	16.9	16.7
	T2	70	23.2	23.1	23.1	23.1
	T3	90	31.9	29.3	30.6	29.3
1989	G	105	16.1	21.7	18.9	21.7
	V2	86	17.9	19.8	19.9	19.8
	FE2	86	11.9	20.7	16.3	20.7
	CO	61	11.7	12.1	12.4	11.7
	A	33	17.1	/	19.5	17.1
	CA	101	24.8	25.8	25.8	26.8
	M	66	/	4.2	4.2	4.2*
	T4	51	20.5	20.8	20.5	20.5

* Se consideró 4.2 porque no se contó con tratamiento en 2 hojas y en el T4 en los dos momentos no se encontró diferencias.

ER modelo ERT3	Cuadro de comparación	T3
n 17	Modelo media ns	
x 15.3	Cupla ns	
CV .64		

(ns: no significativo, *: .10>=p>.05, **: .05>=p>.001, ***: p<.001)

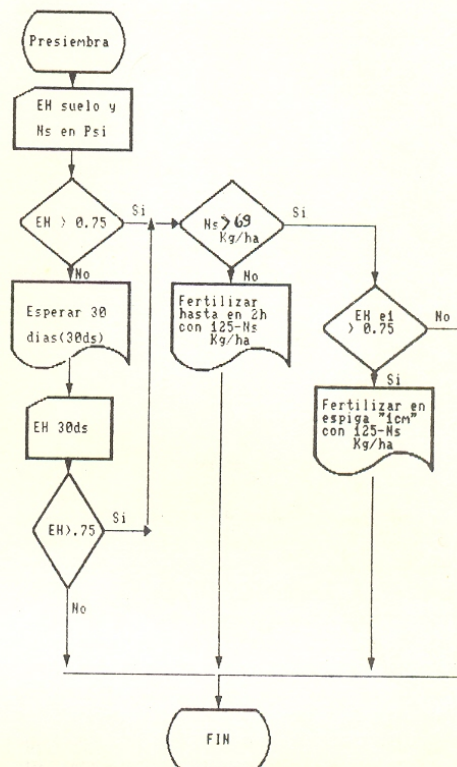


Figura 2: Cursograma de las recomendaciones de fertilización, incluyendo estado hídrico del suelo y nitrógeno disponible, en condiciones de rotación desbalanceada hacia el ciclo agrícola, para sitios con antecesor Girasol.

puesto para la decisión de fertilización, incluyendo el EH y el N. a la siembra.

Análisis de la respuesta económica de la fertilización nitrogenada

La Tabla 9 presenta las ER, CV y n de los distintos modelos de fertilización a comparar. Asimismo para cada uno se incluye el porcentaje de SE que superaron las relaciones trigo: urea: i. 3:1, ii. 4:1, iii. 5:1, iv. 6:1, v. 7:1, vi. 8:1, vii. 10:1, viii. 12:1.

Razonamiento de las recomendaciones de fertilización

En la Figura 2 se presenta el diagrama de flujo pro-

Tabla 9: Eficiencias medias de respuesta, número de casos, coeficientes de variación y porcentajes de sitios experimentales que superaron diferentes relaciones trigo:urea.

	T1	T2	T3	T4	MODELO
	SE > 75	SE > 75	SE > 75	SE > 75	SE > 75
n1	27	17	23	25	23
n2	27	13	19	21	17
ER	8.2	10.3	11.7	14.8	15.3
CV	1.1	.81	.87	.59	.64

(n1: número de casos donde se realizó el tratamiento según la disponibilidad de nitrógeno. n2: número de casos fertilizados según el modelo)

	T1	T2	T3	T4	MODELO
	SE > 75	SE > 75	SE > 75	SE > 75	SE > 75
Relac. (Porcentajes de casos del total de SE cuya ER superó el canje)					
3:1	52	62	74	76	71
4:1	44	59	74	71	71
5:1	44	50	68	62	65
6:1	30	36	63	57	59
7:1	26	32	56	48	59
8:1	22	27	53	43	59
10:1	15	18	23	19	35
12:1	4	5	16	5	24

DISCUSION

El análisis de las Tablas 4 y 5 demuestra la gran variabilidad (CV) que presentan las ER de iguales tratamientos en los distintos sitios experimentales. Sin embargo el test de medias evidenciaría que las eficiencias de respuesta obtenidas con más de 150 kg N.ha⁻¹ disponibles a la siembra (T5 y T6), resultarían significativamente menores. El análisis de cupla permite realizar la comparación de los tratamientos en el mismo sitio experimental. Así surge que la ER obtenida con 125 kg N.ha⁻¹ (T3) fue significativamente mayor que la de los restantes tratamientos, y se evidencia la utilidad de trabajar con dosis de fertilización variables (Nsuelo + Nfertilización) y no fijas (T1). Podríamos sugerir que la dosis óptima de fertilización sería la del tratamiento 3 (125 kg N.ha⁻¹ disponible en el suelo a la siembra), obteniéndose una ER media por hectárea de 12 kg trigo . kg N aplicado⁻¹. TABLA 5

A partir de la Figura 1 se determinó el nivel del Estado hídrico del suelo a los 30 días de la siembra (2h) por sobre el cual las ER fuesen positivas. Dicho estado se obtuvo cuando el contenido hídrico era superior al 75% del agua retenida a capacidad de campo. En la Tabla 6 se demuestra para todos los tratamientos que las ER medias obtenidas al considerar el EH (> 75%) fueron superiores a las que no consideraron dicho factor. Esto sugeriría que las bajas ER que presentaron algunos SE estarían ligadas a la menor Eficiencia de absorción del nitrógeno aplicado, debida al contenido hídrico de dichos suelos (EH < 75%), ya

sea a la siembra o a los 30 días de la misma. Esto coincide con lo afirmado por González Montaner, *et al* (1990) quienes demostraron la influencia del agua del suelo (prof 0-60 cm) a la siembra sobre el coeficiente de absorción de nitrógeno. Asimismo Cantamutto, *et al* (1988) sugieren la utilización de las lluvias registradas desde el 1 de Julio hasta el 10 de setiembre como criterio de decisión para la aplicación de fertilizantes nitrogenados. De los test de medias y cuplas para los SE sin limitaciones hídricas (con el EH > 75%) en los 30 días posteriores a la siembra, surge nuevamente que la disponibilidad de nitrógeno de 125 kg/ha fue la de mayor ER, siendo aún más significativa (< p) la diferencia con los restantes tratamientos.

En la Tabla 7 se presenta la diferencia entre las ER de la fertilización en espiga "1 cm" y en 2 hojas para los SE con EH > 75% en los tratamientos T3 y T4. Se observa que en algunos casos la fertilización en el resultó más eficiente que la realizada en 2h, mientras que en otros SE se dió la situación inversa. La regresión lineal obtenida entre dichas diferencias y el nitrógeno presente en el suelo a la siembra, demuestra que en aquellos sitios donde el suelo tenía más de 69 kg N . ha⁻¹, las ER de la fertilización en espiga "1 cm" fueron superiores a las ER de las fertilizadas en 2 hojas, mientras que en los sitios con menos de 69 kg N . ha⁻¹ se obtuvo lo inverso. Si bien la dispersión y la distribución de los casos pueden entenderse insuficientes para la fijación de un umbral, este valor según el modelo de Meynard, (1985), que evalúa la cantidad de nitrógeno necesaria hasta el estado de espiga "1 cm", determinaría para dicho estado una producción de materia seca sin estres nitrogenado de 1150 kg . ha⁻¹. Aplicando el modelo de González Montaner; y Mailland, (1988) esta materia seca en espiga "1 cm" permitiría una densidad de 500 espigas . m⁻² para el cultivar Buck Patacón, compatibles con rendimientos máximos. La Tabla 8 presenta para 17 SE la comparación entre las ER medias del tratamiento 3 obtenidas con las ER medias de cada SE (entre 2h, e1 y 2h + e1) y la ER media calculada ya sea en 2h (con Ns < 69 kg N . ha⁻¹) o el (Ns > 69 kg N . ha⁻¹). Se observa que la ER que consideró la disponibilidad de nitrógeno para la decisión del momento de fertilización, fue mayor a la que no tuvo en cuenta esta variable. Si bien los tests de medias indicaron que dicha diferencia fue no significativa (cuando se comparó con ERT3), si lo fue cuando se realizó

la comparación entre las ER de cada sitio según el modelo y las ER inversas al momento de fertilización del modelo (test de cuplas $p < 0.10$). Esto reafirmaría la decisión de la oportunidad de fertilización según la disponibilidad de nitrógeno a la siembra. Coincidentemente Meynard, (1985) modelizó los requerimientos de nitrógeno hasta espiga "1 cm", decidiendo el primer aporte de nitrógeno a partir de la diferencia entre los requerimientos y el nitrógeno disponible en el suelo.

La utilización del modelo de lavado sugerido no produciría cambios significativos en las respuestas obtenidas, dado que sólo se modificaría la disponibilidad inicial de nitrógeno en 3 sitios experimentales (MI9, CO y V2) y mientras que el momento de fertilización sólo en 1 sitio (V2). No obstante sería de gran interés seguir evaluando el impacto de este criterio, de disponer de un mayor número de casos.

Finalmente la **Figura 2** presenta el diagrama de flujo que resume los criterios sugeridos para las recomendaciones de la fertilización. Se sugiere complementar este diagrama integrando los conocimientos que surgen del estudio de la elaboración del rendimiento de cultivo de trigo (Sebillotte, 1980). Se propone considerar el drenaje de nitrógeno y el riesgo de déficit hídrico durante el llenado de grano, evaluado indirectamente por la profundidad del perfil y la probabilidad de temperaturas elevadas y precipitaciones deficitarias durante el llenado (González Montaner, 1987; 1989).

Analizando en particular las respuestas económicas, la **Tabla 9** demuestra claramente que para todas las relaciones al tener en cuenta el EH del suelo al momento de fertilizar, se logra un mayor número de SE que obtengan una ER mayor a la relación trigo: urea. Cuando la disponibilidad de nitrógeno del suelo estuvo entre 125 y 150 kg N/ha (T3, T4 y modelo), las ER superaron en más de un 70% de los casos una relación 4:1 (**Tabla 9**). A partir de una relación 6:1 el T4 declinó abruptamente, mientras que el modelo recomendado se mantuvo y T3 declinó levemente. Cuando la relación fue superior a 8:1 los tres tratamientos disminuyeron aunque el modelo propuesto presentó mayores porcentajes que los restantes modelos.

Finalmente ante la adopción del modelo propuesto cabe la consideración que en la mayor parte de los sitios experimentales de donde fue obtenido, la rotación histórica estuvo desbalanceada hacia el ciclo agrícola. Para aquellos sitios donde la rotación fuese emi-

nentemente ganadera el impacto de la mineralización no permitiría trabajar con modelos simples como el propuesto que sólo consideren el estado hídrico del suelo y el nitrógeno disponible a la siembra. En estos casos se debería incorporar características adicionales, las que se encuentran en desarrollo por el presente grupo de investigación. Asimismo debe tenerse especial precaución en la valuación del nitrógeno disponible en el suelo ya sea i) cuando el rendimiento del antecesor fue muy superior o inferior al rendimiento habitual, o ii) cuando precipitaciones importantes antecederon el muestreo de nitrógeno en presiembra, las que podría ocasionar modificaciones en la distribución de los nitratos en el perfil del suelo.

CONCLUSION

Este trabajo nos permite concluir que para los sistemas preponderantemente agrícolas de la zona en estudio:

- La mayor eficiencia de respuesta a la fertilización nitrogenada se logra con una disponibilidad de nitrógeno por hectárea en los primeros 60 cm del perfil (N suelo + N fertilizante) de 125 kg.

- La decisión de fertilización debería tener en cuenta el estado hídrico del suelo. La fertilización sería factible siempre que dicho estado fuese mayor al 75% del agua capaz de contener el suelo a capacidad de campo ya sea a la siembra o cuando el cultivo de trigo se encontrase con 2 hojas expandidas.

- El momento de fertilización dependería de la cantidad inicial de nitrógeno disponible en el suelo a la siembra. Si el nitrógeno fuese mayor a 69 kg/ha⁻¹ se debería fertilizar cuando el trigo estuviese en el estado espiga "1 cm". Si el nitrógeno a la siembra fuese menor a 69 kg/ha⁻¹ se recomienda una fertilización en el período siembra - 2 hojas expuestas.

- La eficiencia de respuesta a la fertilización obtenida con el modelo propuesto, fue de 15.3 kg trigo / kg nitrógeno aplicado⁻¹, superando en más del 70% de los casos en estudio una relación (kg trigo : kg urea⁻¹) de 4:1. **TABLA 8**

AGRADECIMIENTOS

Queremos reconocer y agradecer los fecundos consejos del Ing. Agr. Luis Barberis. Agradecemos a los

productores y técnicos de los grupos CREAs y CAEAs Tres Arroyos y Cooperativa Gral. Necochea, y al personal del laboratorio LAQUIGE por sus inestimables colaboraciones y sustentos. Queremos extender nuestro agradecimiento en particular a la empresa

CARGILL fertilizantes, así como también a la Administración Santamarina, Banco de Galicia y Buenos Aires, empresa BUCK, CARGILL semillas y empresa NORTHROP-KING que financiaron el presente trabajo.

REFERENCIAS

- Barberis, L.; Nervi, A.; del Campo, H.; Urricariet, S.; Siejra, J.; Daniel, P.; Vázquez, M. y D. Zourarakis, 1983. a. Análisis de la repuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en la Pampa ondulada y su predicción. *Ciencia del Suelo* 1:51-64.
- Barberis, L.; Nervi, A.; Sfeir, A.; Daniel, P.; Urricariet, S.; Vázquez, M. y D. Zourarakis, 1983. Análisis de la repuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en la Pampa arenosa y su predicción. *Rev. Fac. Agr.* 4:325-334.
- Berardo, A.; Navarro, C.; H. Echeverría, 1980. Relación del contenido de fósforo disponible en el suelo y de nitratos en planta con la respuesta a la fertilización fosfatada y nitrogenada en trigo. *Actas IX R.A.C.S. Paraná*: 512-526.
- Berardo, A.; *et al* 1989. Citados por González Montaner, J.H. en Cuadernillo de Fertilización en trigo. Convenio Banco de Galicia-AACREA. 16 páginas.
- Burns, I.G. 1976. Equations to predict the leaching of nitrate uniformly incorporated to a known depth or uniformly distributed throughout a soil profile. *J. Agric. Sci. Camb.* 86: 305-313.
- Cantamuto, M.A.; Möckel, F.; Rosell, R.; Martínez, R.; Gullace, M.R.; Landriscini, M.R.; Castelli, L.M. y I. Gallez, 1984. Posibilidades de respuesta a la fertilización en el sudoeste semiárido de la provincia de Buenos Aires. Informe para difusión preparado por el LABHIS y el LABCEOL. Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. 10 páginas.
- Cantamuto, M.A.; Möckel, F.; y A.R. Vallati, 1988. La disponibilidad de agua durante las etapas vegetativas del trigo y su efecto sobre la respuesta a la fertilización. Informe de la Cátedra de Cereales y Oleaginosas de la Universidad Nacional del Sur. 11 páginas.
- Daniel, P. y L. Marban. 1989. Adaptación de un método espectrofotométrico reductivo para la determinación de nitratos en extractos de suelos. *Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Boletín informativo* 58:3-8.
- Dagnelie, P. 1969. *Théorie et méthodes statistiques*. Tomes I et II. Duculot. Gembloux.
- Dilz, K.; Darwinkel, A.; Boon, R. y L. Verstraeten, 1982. Intensive wheat production as related to nitrogen fertilization, crop protection and soil nitrogen: Experience in the Benelux. *Symposium on fertiliser and intensive wheat production in the E.E.C. Proceedings of the Fertiliser Society* 211: 93-124.
- González Montaner, J.H. 1987. Deux outils d'analyse de la réponse du blé à la fertilisation azotée: les composantes du rendement et la teneur en nitrates des organes végétaux. Thèse présentée à l'institut National Agronomique Paris-Grignon pour l'obtention du titre de Docteur Ingénieur Sciences Agronomiques. 190 páginas.
- González Montaner, J.H. 1988. Metodología dinámica de análisis de factores limitantes. *Técnica*. 13:3-10.
- González Montaner, J.H.; y N. Mailland, 1988. Fertilización fosforada y nitrogenada en trigo. Zona Mar y Sierras. Reunión técnica Zona Mar y Sierras. Convenio AACREA-Banco de Galicia.
- González Montaner, J.H. 1989. Seminario I.I. C.A. Prociur. INTA Balcarce, en prensa.
- González Montaner, J.H. y G.A. Maddonni, 1990. Nitrógeno disponible en el suelo durante el período presembrado floral como explicativo del número de granos en el cultivo de trigo. II Congreso Nacional de Trigo, Pergamino, I: 142-156.
- González Montaner, J.H.; Maddonni, G.A.; Posborg, M. y N. Mailland, 1990. Caracterización de las eficiencias de absorción (K) y los requerimientos de nitrógeno por quintal (B) a partir del nitrógeno proveniente del fertilizante aplicado a la siembra del cultivo de trigo. Informe técnico presentado a los asesores CREA, Zona Mar y Sierras. 19 pág.
- Gouet, J.P. 1974. Les comparaisons de moyennes et variances. Application à l'agronomie. *Bureau d'Etudes Statistiques de l'ITCF*. III A: 25-28.
- Loewy, T. 1990. Efecto simple y combinado del nitrógeno sobre el Trigo en tres épocas de aplicación. *Ciencia del suelo* 8:181-186.
- Meynard, J.M. 1985. Les besoins en azote du blé d'hiver jusqu'au début de la montaison. *Agronomie* 5: 579-589.
- Novello, P.; Legasa, A. y M. Peretti, 1986. Evaluación conjunta de la fertilización y factores de productividad que explican la variación de los rendimientos en el cultivo de trigo. Primer Congreso Nacional de trigo. Pergamino III: 332-349.