

ANALISIS DE LA RESPUESTA DEL TRIGO A LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LA PAMPA ARENOSA Y SU PREDICCIÓN *

L. A. Barberis, A. Nervi, A. Sfeir, P. Daniel, S. Urricariet, M. Vázquez y D. Zourarakis (1)

Recibido: 23/8/83

Aceptado: 4/11/83

RESUMEN

A los efectos de estudiar la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada dentro del ámbito de Pampa Arenosa, se condujeron 22 ensayos a campo durante las últimas cuatro campañas agrícolas (1979/80 a 1982/83).

Los incrementos medios observados fueron de 1,7 qq/ha para la primera dosis (48 kg N/ha) y de 1,95 qq/ha para la segunda dosis (96 kg N/ha).

Mediante el uso de procedimientos de análisis de regresión múltiple fueron logrados satisfactorios modelos explicativos de los rendimientos y aceptables modelos predictivos de la respuesta a la fertilización nitrogenada, basándose estos últimos en el contenido de nitratos (0-40 cm ó 0-60 cm) antes de la siembra.

PREDICTION OF WHEAT RESPONSE TO THE USE OF NITROGEN FERTILIZERS IN THE PAMPA ARENOSA, ITS ANALYTICAL STUDY

SUMMARY

A group of 22 field experiments which encompassed the 4 last agricultural years (1979/80 - 1982/83) was carried out with the purpose of studying the response of wheat crops to the use of nitrogen fertilizers within the limits of the so called Pampa Arenosa.

Average yield increments of 1,7 qq/ha and 1,95 qq/ha were recorded for the first and second fertilizer rates (about 48 kg N/ha and 96 kg N/ha, respectively).

By means of using multiple regression analysis techniques satisfactory explicative models of crop yields and acceptable predictive equations for wheat response ton nitrogen fertilization were achieved, these ones based on soil nitrate content (0-40 cm or 0-60 cm) evaluated at a time previous to seeding.

* Trabajo presentado al X Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, 23-28 de Octubre de 1983.

(1) Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina.

En la realización de los ensayos han colaborado los Ings. Agrs. A. Nervi y A. Sfeir, en las tareas de laboratorio el Ing. Quím. P. Daniel y la Ing. Agr. S. Urricariet y en la elaboración estadística y computación los Ings. Agrs. M. Vázquez y D. Zourarakis.

INTRODUCCION

A través de este trabajo se pretende estudiar la influencia de la fertilización nitrogenada sobre los rendimientos de trigo en la unidad fisiográfica de la Pampa arenosa y establecer modelos predictivos para estimar la respuesta a la aplicación de nitrógeno.

La Pampa arenosa, cuya ubicación puede observarse en la Figura 1 y que abarca en la provincia de Buenos Aires unos 5.500.000 de hectáreas cultivables, ha ido intensificando su actividad agrícola en los últimos años, prolongando los ciclos anuales, entre los que el trigo tiene especial preponderancia.

En la zona ha sido escasa la magnitud de los ensayos de fertilización de trigo, sobre todo teniendo en cuenta la extensión del área, mereciendo citarse que el área de 9 de julio ha sido incluida dentro de la red de ensayos de la Est. Exp. Agr. Reg. INTA Pergamino. Además, en una contribución anterior (Barberis *et al.*, 1980) se ilustraba sobre los primeros resultados de un plan iniciado en el año 1978 para toda la zona de Pampa arenosa.

El presente trabajo ofrece los resultados alcanzados a través del convenio de colaboración entre la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Ex-

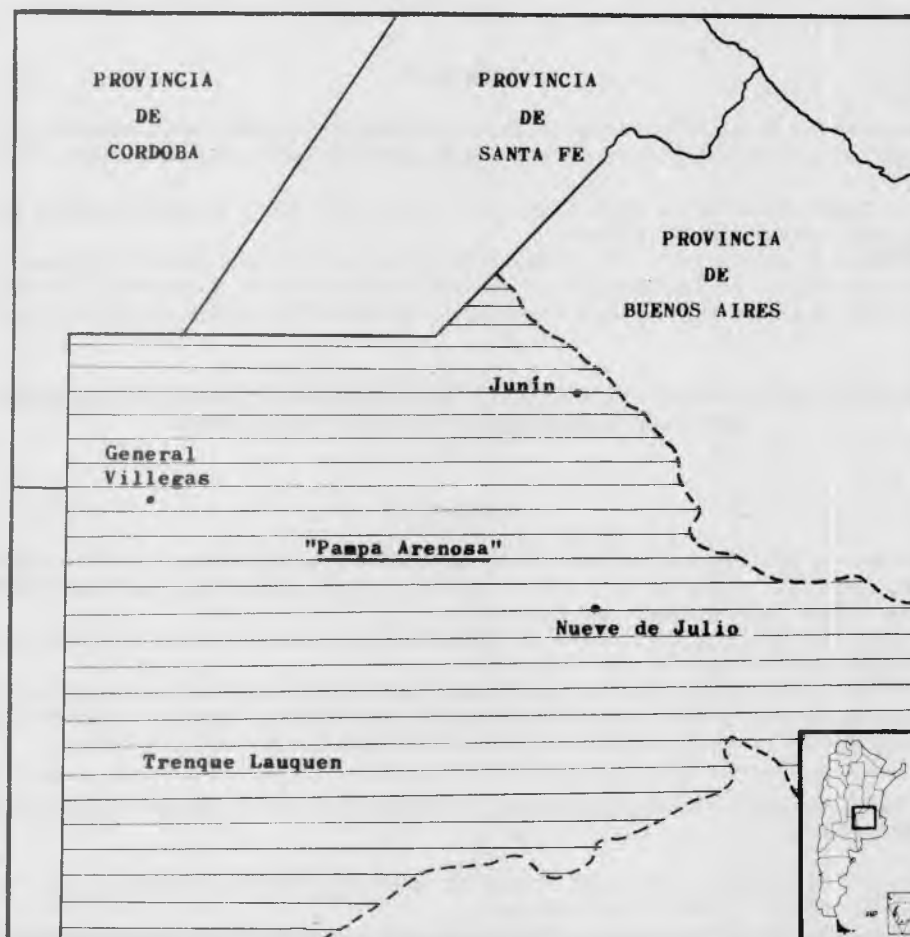


Figura 1: Ubicación de la Pampa Arenosa.

perimentación Agrícola (AACREA) y el Laboratorio de Química Geológica y Edafológica (LAQUIGE) dependiente de FECIC - CONICET. Se incluyen en esta colaboración los resultados de cuatro campañas trigueras, desde el año 1979/80 al año 1982/83.

Por considerarlo de interés, algunos resultados del presente trabajo se contrastan con otro similar llevado a cabo sobre suelos de la Pampa ondulada. (Barberis *et al.*, 1983).

MATERIALES Y METODOS

El área del estudio incluye, dentro de la unidad geomorfológica de las llanuras continentales, a los dominios edáficos 15 al 19, que de acuerdo al trabajo de Moscatelli *et al.*, (1980) presentan como suelos dominantes a hapludoles típicos, énticos y thaptoárgicos.

Las características químicas de la capa arable de esos suelos se encuentran en el Cuadro 1.

En las cuatro campañas se realizaron en total 22 ensayos de campo válidos, adoptándose en todos ellos un diseño que contaba con tres tratamientos de nitrógeno (T N1 y N2) con tres repeticiones. El tratamiento N1 representaba una dosis de 50 kg de nitrógeno por hectárea y el tratamiento N2 100 kg de nitrógeno por hectárea, salvo en los tres ensayos de la campaña 1980/81 donde dichas dosis se redujeron a 35 y 70 kg/ha.

La confección de los ensayos, su seguimiento y evaluación ha sido semejante a la adoptada en la red experimental de Pampa ondulada (Barberis *et al.*, 1983), al igual que las determinaciones químicas de suelo.

Como comentario particular merece destacarse que en la tercera y cuarta campaña se han incluido cultivares de ciclo más prolongado que Leones INTA y Marcos Juárez INTA, que fueron los únicos utilizados en las dos primeras campañas.

Dentro de cada lugar experimental se registraron 18 variables de sitio cuyos medias y variabilidad pueden observarse en el Cuadro 2.

La elaboración estadística de los resultados se efectuó en las instalaciones del Centro de Tecnología y Ciencia de Sistemas de la Universidad de Buenos Aires y en el Centro de Computación de la Comisión Nacional de Energía Atómica, ambos con un sistema VM/370. La selección de variables y optimización de modelos se hizo de acuerdo a un programa Regmul, basado en el método Stepwise (Draper y Smith, 1966) y en consonancia con el programa de regresión múltiple elaborado por Abril, 1970.

RESULTADOS Y DISCUSION

a) Respuestas generales a la fertilización

El Cuadro 1 refleja los resultados de los 22 ensayos de fertilización, incluyendo los promedios de rendimiento para cada campaña y para el conjunto de las cuatro campañas.

Con la primera dosis de nitrógeno (48 kg/ha) se produjo un incremento medio de 170,4 kg/ha de trigo, con una eficiencia de 3,5 kg de trigo por cada kg de nitrógeno aplicado. La máxima respuesta se logró en la primera campaña con 392 kg/ha de trigo y una eficiencia de 7,8, no habiendo respuesta positiva en la segunda campaña, que fue además la de menor disponibilidad hídrica (con lluvias medias de 20 mm en el barbecho y 116 mm de siembra a espigazón).

Este incremento medio de 170 kg/ha equivale a un aumento relativo de la producción de solamente 6,4%, que representa menos de la mitad del hallado en la Pampa ondulada para aplicaciones de nitrógeno similares (Barberis *et al.*, 1983). En este sentido no solamente deben tenerse en cuenta las restricciones de humedad sufridas en una considerable proporción de los ensayos de la segunda y tercera campaña, sino también la mayor disponibilidad de nitratos ofrecida por los suelos de la Pampa arenosa (50% superior), tal vez como consecuencia de tener la mitad de años agrícolas que los suelos de Pampa ondulada.

CUADRO 1. Características y resultados generales de los ensayos.

Ensayo Nº	Campo	Cultivar	Antecesor	Años agrícola	Barbecho		Precipitaciones (mm)					Ct %	Cs %	Nt %	Nh ppm	No ppm	P ppm	Nitratos (ppm)			Rendimientos (kg/ha)		
					días	mm	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	pH							n ₁	n ₂	n ₃	T	N ₁	N ₂
1	Sauce Iru	Leones	girasol	5	101	33	79	29	32	59	6,2	1,85	0,56	0,181	167,5	657	21,6	22,9	32,0	59,0	3.603	3.916	4.192
2	San Carlos	Leones	girasol	5	44	55	58	13	36	7	6,4	1,68	0,43	0,173	208,6	748	14,4	26,4	34,8	38,8	3.157	3.960	3.705
3	Nueva Castilla	Leones	sorgo	2	61	61	91	31	33	13	6,0	1,11	0,26	0,116	145,4	640	25,3	29,1	59,8	76,5	2.013	2.256	2.627
4	El Marabú	Leones	sorgo	3	47	70	67	0	38	17	5,7	1,13	0,23	0,129	187,4	720	15,8	9,0	26,6	36,7	2.413	2.830	2.810
5	El Milagro	Leones	maíz	5	57	34	103	12	69	27	5,8	1,68	0,30	0,165	246,6	868	9,0	22,6	36,2	41,0	2.964	3.357	3.446
6	La Suerte	Leones	maíz	6	104	120	32	0	90	32	5,8	1,46	0,35	0,164	258,5	891	14,1	26,9	63,4	82,7	3.013	3.083	2.953
7	V. P. Caribeá	Leones	maíz	6	58	53	66	51	95	36	5,9	1,91	0,47	0,204	281,3	956	13,2	23,3	39,9	46,5	3.166	3.670	3.917
Promedio Campaña 1979/80																				2.904	3.296	3.378	
8	San Claudio	M. Juárez	girasol	9	49	32	27	38	48	12	5,9	2,05	0,70	0,215	--	--	12,0	37,1	56,8	66,8	2.442	2.540	2.541
9	Hereford	Leones	sorgo	4	28	22	2	11	69	61	5,5	1,22	0,28	0,136	251,9	--	26,9	44,9	66,5	77,5	1.470	1.370	1.353
10	La Margarita	Leones	soja	4	19	5	14	29	111	19	5,8	1,81	0,34	0,183	305,5	638	14,6	42,0	61,6	77,8	1.716	1.589	1.793
Promedio Campaña 1980/81																				1.876	1.833	1.896	
11	San Claudio	M. Juárez	girasol	5	24	0	0	45	125	0	6,7	2,30	0,47	0,230	292,7	791	32,4	65,3	121,8	132,3	3.012	3.176	3.078
12	San Claudio	B. Pucará	girasol	5	14	0	0	45	125	0	6,7	2,30	0,47	0,230	292,7	791	32,4	65,3	121,8	132,3	3.110	3.453	3.277
13	Sauce Iru	B. Pucará	girasol	4	55	100	11	57	143	90	6,3	2,50	0,57	0,255	319,6	405	14,5	35,2	71,8	93,8	2.947	3.153	3.360
14	La Margarita	Leones	maíz	3	77	86	1	46	121	7	5,9	2,44	0,62	0,256	335,9	652	18,2	73,7	121,3	145,6	3.433	3.247	3.180
15	Nueva Castilla	B. Pucará	sorgo f.	4	30	34	0	26	138	0	6,4	0,67	0,19	0,077	124,8	372	17,2	28,7	45,1	55,2	1.100	1.140	1.360
16	El Marabú	Leones	maíz	5	36	16	0	1	98	50	6,2	1,48	0,32	0,159	215,5	566	28,5	56,2	89,8	111,5	1.389	1.153	956
17	La Olivia	Leones	sorgo	4	48	1	0	14	88	11	6,2	1,28	0,25	0,142	197,4	515	36,5	30,5	41,6	41,6	1.494	1.531	1.450
18	La Suerte	Leones	maíz	7	84	148	0	31	172	11	6,3	1,49	0,34	0,145	206,9	520	20,6	32,9	55,7	57,2	2.060	2.200	2.308
Promedio Campaña 1981/82																				2.318	2.382	2.371	
19	San Claudio	M. Juárez	girasol	4	129	219	107	89	23	24	6,2	2,57	0,97	0,227	399,4	922	11,6	106,2	166,1	198,2	4.241	4.406	4.392
20	La Suerte	Leones	maíz	5	89	98	151	46	52	46	6,2	1,08	0,25	0,109	177,4	477	9,8	40,6	70,1	88,4	2.870	3.228	3.152
21	La Margarita	Trigal 800	maíz	4	27	45	64	43	112	10	6,1	1,72	0,43	0,154	265,1	727	11,5	26,3	51,9	74,3	5.157	5.363	5.107
22	Nueva Castilla	B. Pucará	maíz	3	36	27	37	33	88	10	6,3	0,71	0,14	0,084	131,6	442	10,6	52,6	76,2	93,5	1.634	1.523	1.728
Promedio Campaña 1982/83																				3.475	3.630	3.595	
Promedio General Ponderado																				2.654,5	2.824,9	2.849,5	

CUADRO 2: Variables de sitio medidas en los ensayos y su magnitud

Símbolo	Variable	Unidad	Media	Desvío estándar	Coefficiente de variación (%)
AA	Años de agricultura	Años	4,63	1,49	32,30
Db	Días de barbecho	Días	55,31	30,54	55,21
po	Precipitación en barbecho	mm	57,22	54,16	94,65
p1	Precipitación siembra-macollaje	mm	41,36	44,45	107,45
p2	Precipitación macollaje-espigazón	mm	31,36	21,49	68,54
p3	Precipitación espigazón-granazón	mm	86,63	41,88	48,34
p4	Precipitación granazón-madurez	mm	24,64	23,60	95,78
pH	Reacción del suelo	Un. pH	6,10	0,31	5,04
Ct	Carbono total	%	1,66	0,56	33,54
Cs	Carbono sobrenadante	%	0,408	0,192	47,07
Nt	Nitrógeno total	%	0,170	0,052	30,40
Nh	Nitrógeno hidrolizable	ppm	227,80	86,85	38,12
No	Nitrógeno potencialmente mineralizable	ppm	608,18	249,13	40,96
P	Fósforo extractable	ppm	18,65	8,22	44,06
n1	Nitratos a la siembra 0-20 cm	ppm	40,80	21,86	53,56
n2	n1 + Nitratos a la siembra 20-40 cm	ppm	68,77	35,49	51,60
n3	n2 + Nitratos a la siembra 40-60 cm	ppm	82,41	41,03	49,79

La segunda dosis de nitrógeno (96 kg/ha) provocó un incremento medio de 195 kg/ha, equivalente a un 7,3% de aumento sobre el rendimiento de los testigos y una eficiencia relativa de 2,0, revelando su nula viabilidad agronómica, por los menos si no está asociada a buena disponibilidad hídrica y fosforada.

Las respuestas encontradas a la fertilización están referidas a una población que presenta en promedio 4,6 años de agricultura, 55 días de barbecho, y lluvias de 57 mm en el barbecho y de 184 mm entre siembra y madurez.

b) Características químicas de los suelos y su vinculación con otras variables

Las características químicas de la capa superficial (0-20 cm) de los suelos utilizados

se detallan en el Cuadro 1, cuyos promedios y variabilidad se reflejan en el Cuadro 2.

Es interesante observar que del contenido medio de carbono total (1,66%) existe un 25% del mismo bajo formas más lábiles (carbono sobrenadante), valor bastante superior al 17,6% que presentaban los suelos de la Pampa ondulada, que tenían además el doble de años de uso agrícola. En cambio, resulta casi similar para ambas zonas el valor de nitrógeno hidrolizable (13,4%) en relación al contenido de nitrógeno total.

Del total de nitratos en presiembra, prácticamente la mitad (49,9%) se encuentra en la capa superficial (0-20 cm), llegando al 83% considerando la profundidad de 0 a 40 cm. En la segunda campaña, con 20 mm de lluvias en el barbecho el 56% de los nitratos estaba en superficie, cifra que se reducía al 49% en la campaña última, que fue la más lluviosa en el barbecho (97 mm), demostan-

do ambas cifras una baja relación entre distribución de nitratos y precipitaciones antes de la siembra (medida como volumen total caído).

El contenido medio de nitrógeno disponible como nitratos en el período previo a la siembra fue de 27,4 ppm para los primeros 60 cm de profundidad que equivalen a 50 kg de nitrógeno por hectárea, frente a los 37 kg/ha encontrados en los suelos de Pampa ondulada, es decir, prácticamente un 50% superior.

Es aceptable el contenido medio de fósforo extractable (18,6 ppm) pero existe un 27% de los casos con niveles no satisfactorios por debajo del umbral de 12 ppm.

En el Cuadro 3 se transcribe la matriz de correlaciones simples entre las diferentes variables de sitio analizadas (en forma lineal o transformadas logarítmicamente), dejando constancia del grado de significancia existente entre dichas variables y para todos los casos que presentan sentido agronómico. Se han incluido las variables químicas, culturales y meteorológicas, debiéndose relacionar estas últimas con el parámetro rendimiento del testigo.

No se encuentra ninguna asociación entre años de agricultura y niveles de nitratos o fósforo extractable como ocurría en los suelos de Pampa ondulada, pero con una pobla-

CUADRO 3: Matriz de correlaciones de las variables analizadas.

	AA	Db	po	p1	p2	p3	p4	pH	Ct	Cs	Nt	Nh	P	n1	n2	n3	T
AA	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Db		1	xxx +++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
po			1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
p1				1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	xx ++
p2					1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	xx
p3						1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
p4							1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH								1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ct									1	xxx +++	xxx +++	xxx +++	-	xxx +	xxx ++	xxx +	xxx +++
Cs										1	xxx +++	xxx +++	-	xx +	xx ++	xx ++	xxx +++
Nt											1	xxx +++	-	xx +	xx ++	xx ++	xx +++
Nh												1	-	xxx ++	xxx ++	xxx ++	xxx ++
P													1	-	-	-	-
n1														1	xxx +++	xxx +++	-
n2															1	xxx +++	-
n3																1	-
T																	1

(x) (+) significativo al 10% para la correlación sin transformar y transformada logarítmicamente ($r > 0,369$).
 (xx) (++) significativo al 5% ($r > 0,433$).
 (xxx) (+++) significativo al 1% ($r > 0,549$).

ción que tenía el doble de años agrícolas. En cambio se vuelve a repetir la esperada correlación altamente significativa (al nivel del 1%) entre los parámetros relacionados con la materia orgánica (carbono total, carbono sobrenadante, nitrógeno total y nitrógeno hidrolizable).

Es interesante observar que esos parámetros vinculados a la materia orgánica están también estrechamente asociados al contenido de nitratos, tanto en la capa superficial como en profundidad. Esta circunstancia no se evidenciaba en los suelos de la Pampa ondulada, donde los nitratos parecían estar más relacionados con los años de agricultura y las precipitaciones durante el barbecho.

c) Variables de sitio asociadas al rendimiento

A través del Cuadro 3 se puede advertir cuales son las variables de sitio que mayor asociación tienen con el rendimiento de trigo del tratamiento testigo. En este sentido se destacan los parámetros relacionados con el carbono y el nitrógeno, tanto total como lábil, que presentan coeficientes de correlación lineal (o con transformación logarítmica) a nivel del 1% de significancia. También es fuerte el grado de asociación con precipitaciones de siembra a macollaje, con significancias al nivel del 5%.

Con el menor nivel de significancia figuran como asociadas al rendimiento las variables días de barbecho, precipitaciones al barbecho y lluvias de macollaje a espigazón (esta última al 5% sin transformar logarítmicamente).

Es de hacer notar que a diferencia de lo que ocurre en los ensayos de Pampa ondulada no se encuentran correlaciones con el rendimiento las variables años de agricultura y nitratos del perfil antes de la siembra.

Aparentemente, en los suelos de la Pampa arenosa el contenido de nitratos parece ser menos limitante para los rendimientos frente a otros factores más directamente vinculados a la disponibilidad de agua, ya sea lluvias o retención hídrica.

La selección final del subgrupo de variables independientes a incluir en el modelo explicativo de rendimientos, hecha mediante el método de regresión múltiple "Stepwise" permitió elaborar diferentes modelos con ajustes satisfactorios, entre los que se destaca el siguiente:

$$\ln y = 8,2551 + 0,6482 \ln Cs + 0,0890 \ln p_1$$

que representa significancia al nivel del 1% en sus coeficientes de regresión y en la prueba de F, además de tener un coeficiente de determinación (\bar{R}^2) de 73,39% y un coeficiente de determinación corregido (\bar{R}^2) de 70,43%.

Nuevamente se comprueba aquí la bondad de la medida de Carbono sobrenadante, como parámetro de fertilidad potencial asociado al rendimiento, hecho ya destacado en los ensayos de Pampa ondulada (Barberis *et al.*, 1983).

Derivando parcialmente la función con respecto al rendimiento se puede deducir el efecto que sobre éste es atribuible a cada variable, al asignar valores correspondientes a las situaciones medias de cada parámetro.

Así, se encuentra que para el carbono sobrenadante es atribuible 47,65 kg/ha por cada 0,01%, valor que representa un 25% más que en Pampa Ondulada.

A su vez la influencia de las precipitaciones de siembra a macollaje se traduce en 6,5 kg/ha por mm de lluvia, que demuestra un efecto 80% superior al denotado en Pampa ondulada para la población no soja (Barberis *et al.*, 1983) y dos veces mayor al encontrado por Couto (1971) en suelos uruguayos.

d) Diagnóstico de respuesta a la fertilización nitrogenada

Cuando se pretende estudiar la asociación entre la respuesta a la primera dosis de nitrógeno y las diferentes variables de sitio no se encuentran resultados satisfactorios al trabajar con toda la población. En cambio se lograron interesantes relaciones cuando se decidió homogeneizar la población en función del cultivar utilizado, dejando por ella

todos los ensayos realizados con los cultivares de ciclo corto (Marcos Juárez INTA y Leones INTA) que incluyen a la mayoría de los ensayos. Un antecedente parecido de subdivisión de la población de ensayos de trigo en cultivares de caña larga y caña corta para mejorar el comportamiento de modelos predictivos fue efectuando por Berardo *et al.* (1980) en el sudeste bonaerense. Además, se eliminaron los tres casos de la segunda campaña donde la situación de estrés hídrico fue muy manifiesta y se usaron otras dosis de nitrógeno.

Con esta nueva población se encontró que el parámetro que está más asociado con la respuesta a nitrógeno es el contenido de nitratos de 0 a 60 cm de profundidad, quedando en segundo lugar el contenido de nitratos de 0 a 40 cm de profundidad.

En el Cuadro 4 se han transcritos los cuatro modelos construidos con estas variables, detallándose los coeficientes de las va-

riables, los coeficientes de correlación y de determinación, además del valor de la F del modelo y su grado de significancia.

Los modelos a y b se han hecho con transformación logarítmica de las variables nitratos 0-40 cm y 0-60 cm, respectivamente. Se advierte un mejor comportamiento del modelo b, con nitratos 0-60 cm, que alcanza un coeficiente de correlación $r = -0,704$ significativo al 1% y un R^2 de prácticamente 50%.

Se pueden lograr mejores explicaciones cuando se construye un modelo de forma cuadrática, donde la eficiencia = $a + bx + cx^2$. Con este modelo y nitratos 0-60 cm, se llega a un R^2 de 60,8% y R^2 corregido de 53,7%, mientras que con nitratos 0-40 cm esos valores son algo menores (58,5 y 50,9%). En la Figura 2 se describe la relación existente entre eficiencia de respuesta y nivel de nitratos 0-40 cm y 0-60 cm, siguiendo las ecuaciones descriptas en los modelos c y d.

No se ha logrado aumentar los coeficien-

CUADRO 4: Modelos predictivos de respuesta a nitrógeno.

Modelo	Variable independiente	β_i	r_i	R^2/\bar{R}^2	F calc.	Variable dependiente
a	Constante	31,8234	- 0,670 xx	44,83	9,752 xx	y
	$\ln n_2$	-6,5735		40,23		
b	Constante	34,6488	- 0,704 xx	49,57	11,795 xx	y
	$\ln n_3$	-6,9581		45,37		
c	Constante	20,2574	- 0,579 xx	58,50	7,751 xx	y
	n_2^2	0,00164		50,95		
d	Constante	20,2244	- 0,609 xx	60,80	8,530 xx	y
	n_3^2	-0,3027		53,67		
		0,00109				

β_1 : Coeficientes de las variables independientes.

r_i : Coeficientes de correlación de cada variable.

R^2 : Coeficiente de determinación en %.

\bar{R}^2 : Coeficiente de determinación corregido en %.

F calc. : Prueba de significancia de todo el modelo a través del test F.

y : Eficiencia de respuesta (kg de trigo por kg de nitrógeno aplicado).

(xx) : Nivel de significancia al 1%.

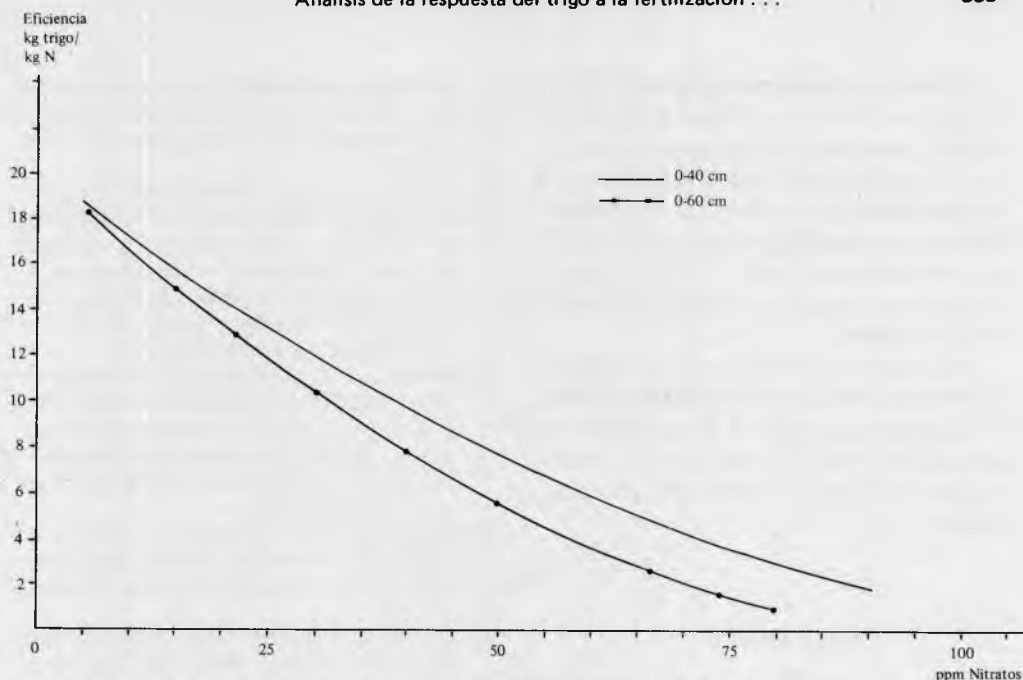


Figura 2: Relación entre eficiencia de respuesta y contenido de nitratos en presiembra.

tes de determinación con la inclusión de otros parámetros, salvo con la entrada del término pH, de dudosa confiabilidad dada la baja variabilidad de esta variable de sitio.

Tampoco ha tenido éxito la elaboración de modelos con variables culturales y excluyendo nitratos, que resultaran interesantes en los suelos de Pampa ondulada (Barberis *et al.*, 1983), donde se consideran días de barbecho y años de agricultura.

CONCLUSIONES

Mediante la realización de 22 ensayos de fertilización de trigo en las cuatro últimas campañas se ha logrado elaborar modelos predictivos de respuesta a la fertilización nitrogenada dentro del ámbito de la Pampa arenosa de aceptable comportamiento. Entre ellos se destaca el que emplea el dato de contenido de nitratos en un período previo a la siembra y de 0 a 60 cm de profundidad, y que mediante un modelo de tipo cuadrático permite explicar un 61% de la variación de la eficiencia. Un coeficiente de determinación algo menor (59%) se logra utilizando el dato

de nitratos 0 a 40 cm de profundidad dentro del modelo parabólico antes mencionado, existiendo en este último caso una simplificación evidente al exigir un muestreo más accesible en la práctica.

Para el total de ensayos se ha obtenido una respuesta promedio de 1,7 qq/ha para la aplicación de la primera dosis de nitrógeno (48 kg/ha) con una eficiencia de 3,5, mientras que para la segunda dosis de nitrógeno (96 kilogramos por hectárea) se obtuvo un incremento de 1,95 qq/ha, equivalente a una eficiencia de 2. Estos bajos valores de eficiencia, casi un tercio de los obtenidos en la Pampa ondulada, están relacionados con la mayor disponibilidad de nitratos a la siembra que ofrecieron los suelos de Pampa arenosa (50 por ciento superior a Pampa ondulada), posiblemente como consecuencia de tener la mitad de años de agricultura. Además es notorio el efecto que ha tenido el estrés hídrico sufrido especialmente en la segunda y tercera campaña sobre los rendimientos y sobre el efecto de la fertilización.

El rendimiento medio de los testigos para las cuatro campañas ha sido de 26,5 qq/ha, pero dentro de un rango de amplia varia-

ción que va de rindes mínimos de 9,5 qq/ha a máximos de 51 qq/ha. Existen numerosas variables asociadas al rendimiento, destacándose entre ellas (con nivel de significancia al 1%) las relativas al carbono y al nitrógeno (tanto en sus contenidos total como lábil) y en segundo lugar (al nivel del 5%) las precipitaciones de siembra a macollaje y de macollaje a espigazón.

Con un subconjunto de estas variables, que incluye carbono sobrenadante y lluvias de siembra a macollaje se ha establecido un satisfactorio modelo explicativo de rendimientos, con un coeficiente de determinación del 73%.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Abril, J. C., 1979: Programa de regresión múltiple. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Económicas. Instituto de Investigaciones Estadísticas. Notas N° 20. 13 pp.
- 2) Barberis, L. A.; M. E. Conti; H. Del Campo; A. Nervi y P. Daniel, 1980: Respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en el norte y oeste de la Pampa húmeda. (Campañas 1978/79 y 1979/80). Actas 9a. R.A.C.S., Paraná (E. Ríos) 537-548.
- 3) Barberis, L. A.; A. Nervi; H. Del Campo; S. Urricariet; J. Sierra; P. Daniel; M. Vázquez y D. Zourarakis, 1983. Análisis de la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en la Pampa ondulada y su predicción. Trabajo presentado al 10° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata (Bs. As.).
- 4) Berardo, A.; C. A. Navarro y H. Echeverría, 1980: Relación del contenido de fósforo disponible en el suelo y de nitratos en la planta con la respuesta a la fertilización fosfatada y nitrogenada en trigo. Actas. 9a. R.A.C.S. Paraná (E. Ríos) 515-526.
- 5) Couto, W., 1971: La respuesta del trigo a la fertilización y el efecto de otros factores de productividad. Actas 6a. R.A.C.S. Córdoba. 171-182.
- 6) Draper, N. R. and H. Smith, 1966: Applied Regression Analysis. Wiley and Sons. New York.
- 7) Moscatelli, G.; J. C. Salazar; R. Godagnone, R., H. Grinberg; J. Sánchez; R. Ferrao y M. Cuenca, 1980: Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, escala 1: 500.000. Actas 9a. A.C.S. Paraná (E. Ríos). Tomo III. pp. 1079-1089.