HAL open science

Análisis de la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en la pampa ondulada y su predicción

Luis Barberis, Ariel Nervi, Horacio del Campo, Martha Conti, Susana Urricarriet, Jorge Sierra, Peter Daniel, Mabel Vazquez, Demetrio Zourarakis

To cite this version:

Luis Barberis, Ariel Nervi, Horacio del Campo, Martha Conti, Susana Urricarriet, et al.. Análisis de la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en la pampa ondulada y su predicción. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal, 1983, 1 (2), pp.51-64. hal-02725488

HAL Id: hal-02725488

https://hal.inrae.fr/hal-02725488

Submitted on 2 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANALISIS DE LA RESPUESTA DEL TRIGO A LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LA PAMPA ONDULADA Y SU PREDICCION *

Luis A. Barberis y colaboradores (1)

Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes Facultad de Agronomía U.B.A.

RESUMEN

A los efectos de estudiar la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada dentro del ámbito de la Pampa Ondulada, se condujeron 47 ensayos de campo durante las últimas cinco campañas agrícolas (1978/79 a 1982/83).

Los incrementos medios observados fueron de 430 kg/ha para la primera dosis (aproximadamente unos 45 kg N/ha) y de 580 kg/ha para la segunda dosis (aproximadamente unos 90 kg N/ha).

Mediante el uso de procedimientos de análisis de regresión múltiple fueron logrados modelos explicativos del rendimiento para la población sin antecesor soja con coeficientes de determinación del 72 al 75%, y del 70% para la población con antecesor soja.

Asimismo se encontraron modelos predictivos de la respuesta a nitrógeno de comportamiento muy satisfactorio para la población no soja, que se basan en el contenido de nitratos en presiembra (0-40 cm ó 0-60 cm) con R^2 del 70 al 75%, y que aún mejoran si se agrega la variable días de barbecho. También se proporcionaron modelos con uso exclusivo de variables culturales y para la población con antecesor soja.

Palabras Clave: Nitratos, fertilización nitrogenada, respuesta del trigo, modelos de regresión.

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

ABSTRACT

Forty seven (47) field experiments which encompassed the 5 last agricultural years (1978/79 - 1982/83) were 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 Ondulada.

Average yield increments of 430 kg/ha and 580 kg/ha were recorded for the first and second fertilizer dosis (about 45 kg N/ha and 90 kg N/ha, respectively).

Explicative models of wheat yield were developed by means of regression analysis techniques, for those plots not having soybean as a preceding crop. Multiple correlation coefficients ranged 72 to 75%, while in the equations obtained through analysis of the cases where soybean had preceded wheat, their value reached up to 70%.

Likewise, highly satisfactory models for the prediction of wheat response to nitrogen were achieved for the non-soybean predecessor crop population, based on nitrate soil content (0-40 or 0-60 cm) determined at a time previous to seeding. R^2 values ranged from 70 to 75% and still increased if time to fallow was considered as an additional independent variable. Equations exclusively built up with variables of the cultural type and other models for the soybean predecessor crop population, are also provided.

Key words: Nitrates, nitrogen fertilizers, wheat response, regression models.

---

(1) En la realización de los ensayos han colaborado los Ings. Agrs. A. Nervi y H. del Campo, en las tareas de laboratorio los Ings. Agrs. M. Conti, S. Urricariet y J. Sierra y el Ing. Quím. P. Daniel, en la elaboración estadística y computación los Ings. Agrs. M. Vazquez y D. Zourarakis.

---

* Trabajo presentado en el X Congreso Argentino y VIII Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. 1983.

INTRODUCCION

El objetivo fundamental de este trabajo es analizar la influencia de la fertilización nitrogenada sobre los rendimientos del trigo en la unidad fisiográfica de la Pampa Ondulada, con la finalidad específica de establecer modelos con validez agronómica para la predicción de respuesta del cultivo a la aplicación de nitrógeno.

Algo más del 10% de la superficie de la Pampa Ondulada está destinada al cultivo de trigo, que aporta, durante el quinquenio 1977/81, aproximadamente 1.100.000 tn a la producción argentina de dicho cereal. En esta área se han conducido sistemáticamente ensayos de fertilización desde hace unos siete años, cuyos resultados parciales publicados en diferentes oportunidades (Barberis et. al., 1980; INTA Pergamino 1979 y 1983) muestran las promisorias posibilidades que ofrece el uso de fertilizantes nitrogenados para aumentar los rendimientos de trigo en el área.

Sin embargo, la desfavorable relación precio del trigo-costo del fertilizante que ha enfrentado casi constantemente el productor argentino ha impedido una amplia extensión de la práctica de la fertilización, pese al buen nivel tecnológico alcanzado en diversos aspectos de la producción triguiera. El elevado costo relativo del fertilizante nitrogenado nos ha conducido a prestar especial atención a la elaboración de modelos predictivos de respuesta a la fertilización nitrogenada a los efectos de poder aconsejar el uso de este insumo en los casos donde hay más probabilidades de esperar aumentos de rendimientos compatibles con la rentabilidad de la práctica.

Este trabajo ofrece los resultados obtenidos a través del convenio de colaboración entre la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA) y el Laboratorio de Química Geológica y Edafológica (LAQUIGE) dependiente de FECIC - CONICET. Los resultados de las dos primeras campañas de ensayos fueron brindadas anteriormente (Barberis et. al., 1980), mientras que la presente colaboración ofrece los resultados de cinco campañas trigueras, incluyendo las dos anteriormente mencionadas.

MATERIALES Y METODOS

El área del estudio que abarcó la unidad fisiográfica de la Pampa Ondulada (norte de la provincia de Buenos Aires y sud de la provincia de Santa Fe) posee un régimen climático mesotérmico y údico, siendo sus suelos agrícolas más representativos Argiudoles típicos y Argiudoles vérticos (Etchevehere et. al., 1969) desarrollado sobre loess. La caracterización específica de los suelos empleados en los ensayos a nivel de serie se puede observar en la Tabla 1.

En total se realizaron 47 ensayos de campo válidos, a través de cinco campañas agrícolas que se extendieron desde el año agrícola 1978/79 hasta el año 1982/83.

Durante las tres primeras campañas se adoptó un diseño experimental que incluía tres tratamientos de nitrógeno (T, N_1 y N_2), mientras que en las dos últimas campañas se dispusieron dos tratamientos de nitrógeno (T y N_1), haciéndose en todos los casos tres repeticiones por tratamiento.

El tratamiento N_1 representaba 50 kg de nitrógeno por hectárea y el tratamiento N_2 100 kg de nitrógeno por hectárea, salvo en la tercera campaña en que esos valores se redujeron a 35 y 70 kg/ha respectivamente.

La forma de realización práctica y conducción de los ensayos ha sido proporcionada en un trabajo anterior (Barberis et al., 1980) mientras que la metodología seguida para las determinaciones químicas se ha detallado en la colaboración de Barberis et. al. (1978). Como medida adicional de caracterización de la capacidad de nitrógeno se ha incluído la medida del nitrógeno hidrolizable de Chalk y Waring, (1970), modificada por Zourarakis y Barberis, (1980). Asimismo se ha realizado una medida de renovación de nitrógeno a través de la estimación del Nitrógeno potencialmente mineralizable (No) durante 4 semanas y de acuerdo con la técnica de Stanford et. al. (1972), modificada por Sierra y Barberis, (1983).

En cada lugar experimental se registraron 18 variables de sitio que se pueden agrupar en 10 variables edáficas, 5 variables climáticas y 3 variables culturales, susceptibles de observar en la Tabla 2, donde sólo falta agregar la variable cultural cuantitativa de cultivo antecesor.

El procesamiento estadístico 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 de IBM. Para la selección del subconjunto de variables y optimización de modelos se utilizó el programa Regmul, basado en el método Stepwise (Draper y Smith, 1966) y de acuerdo con el programa de regresión múltiple elebarado por Abril, (1979).

RESULTADOS Y DISCUSION

a) Respuestas generales a la fertilización

En la Tabla 1 se encuentran detallados los resulta-

dos de los rendimientos medios obtenidos para cada campaña y para el conjunto de las cinco campañas.

A través de un primer análisis de dicha tabla se advierte que la primera dosis de nitrógeno (47,1 kg/ha) produce en promedio un incremento de 426,8 kg de trigo, o sea un eficiencia de 9,1 *. El incremento medio considerado por campaña, presenta un de 163,8 kg/ha en el año 1980/81, que fue el que presentó memor disponibilidad hídrica (56 mm de siembra a espigazón) y un máximo de 550 kg/ha en la primera campaña (1978/79). Hay que advertir que en ninguna campaña hubo rendimientos promedio del testigo inferiores a los 2.500 kg/ha, lo cual revela que en general no hubo restricciones climáticas severas.

Este incremento medio de 427 kg/ha de trigo, equivale a un aumento relativo de la producción del 15,4% y es inferior a los aproximadamente 500 kg/ha que se obtuvieron en los ensayos del INTA Pergamino (1983) con una dosis de 30 kg de nitrógeno por hectárea la menor respuesta de nuestra red de ensayos puede atribuirse en parte a que los sitios experimentales empleados por el equipo técnico del INTA Pergamino presentaban un mayor uso agrícola.

Para la segunda dosis de nitrógeno (equivalente a una media de 92,0 kg/ha) se obtuvo un incremento de 580 kg/ha, con una eficiencia de 6,3 o sea casi un 50 % menos que la obtenida con la primera dosis.

Hay que destacar que la magnitud de las respuestas detalladas están referidas a un población que presenta en promedio lotes con 9,6 años de agricultura, 59 días de barbecho, y lluvias medias de casi 100 mm en el barbecho y de 220 mm entre siembra y granazón.

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

A través de la Tabla 1 se detallan las características químicas de la capa arable de los suelos utilizados, mientras que en la Tabla 2 se puede observar para cada variable de sitio su media y su dispersión.

El contenido medio de carbono se aproxima al 1,8%, de los cuales un 17,6% está en forma aparentemente más lábil (carbono sobrenadante), mientras que el nitrógeno alcanza en promedio al 0,164%, estando el nitrógeno hidrolizable en una proporción media del 14,6% sobre el nitrógeno total.

Hay que destacar la escas variación que presentan los datos de carbono total, carbono sobrenadante y nitrógeno total (20% o menos de coeficiente de variabilidad) frente a la gran dispersión (más del 70%) que ofrecen los datos de nitratos a la siembra, nitrógeno hidrolizable y fósforo extractable.

También resulta de interés destacar que del total de nitratos a la siembra un 50,7% en promedio se encontraba en la capa arable (0-20 cm), extendiéndose al 79,8% considerando la profundidad de 0 a 40 cm.

El menor valor relativo de nitratos en la capa arable (42,4%) se encontró en la campaña con mayores precipitaciones al barbecho (167 mm), mientras que un valor del 52% se halló en la campaña con mínimas lluvias al barbecho (63 mm), reafirmando la necesidad ya destacada en anteriores trabajos (Barberis et. al., 1980) de aumentar la seguridad de la determinación de nitratos a la siembra incluyendo el subsuelo (hasta 40 ó 60 cm).

La disponibilidad media de nitrógeno soluble en el período previo a la siembra fue de 20,93 ppm de nitratos para los primeros 60 cm de profundidad, equivalentes a una dotación aproximada de 37 kg de nitrógeno por hectárea. A su vez el fósforo disponible presentó una media satisfactoria de 20,4 ppm, pero se manifestaron un 23% de casos con niveles no satisfactorios inferiores a los 12 ppm.

Para poder estudiar el grado y tipo de asociación existentes entre los parámetros químicos y la de éstos con otras variables de sitio se procedió a dividir a la población según el cultivo antecesor (soja o no soja) teniendo en cuenta el diferente comportamiento que imprime a los componenes de la fertilidad nitrogenada el antecesor soja (Barberis et al., 1978; Barberis et al., 1980) así como el diferente manejo de algunas variables culturales que el mismo introduce (días de barbecho, años de agricultura, etc.).

Con miras a su posterior utilización en la construcción de modelos se estudió la correlación existente entre las variables de sitio que se conocen en el momento de la siembra, tanto para la forma lineal como para su transformación logarítmica (tanto en las x como en las y), permitiendo así detectar las variables que están altamente asociadas y no admiten su inclusión simultánea en la formulación de modelos.

En la Tabla 3 se han colocado a través de símbolos las anotaciones sobre el grado de significancia que ofrecen las correlaciones detectadas en la población con cultivo antecesor no soja, y que merecen una atención especial por su connotación agronómica. En la misma forma se ha procedido en la Tabla 4 para la población con antecesor soja.

Dentro de la población con antecesor no soja, merece especial consideración la asociación inversa encontrada entre años de agricultura y niveles de nitratos y fósforo en el período previo a la siembra, destacándose la correlación con los nitratos para las tres profundidades a un nivel de significancia del 0,1%.

Como era de preveer están significativamente asociados los parámetros relacionados con la materia orgánica (Carbono total con carbono sobrenadante, nitrógeno total, nitrógeno hidrolizable y potencialmente mineralizable) pero no en todos las combinaciones posibles entre sí.

* Por eficiencia de fertilización nitrogenada se entiende a la cantidad de kg de grano obtenida por cada kg de nitrógeno aplicado.

TABLA 1: Características y resultados generales de los ensayos.

Ensayo Nº	Campo	Serie	Antecesor	Años agrícola	Barbecho días	Barbecho mm	Precipitaciones (mm) p1	p2	p3	p4	pH	Ct %	Cs %	Nt %	Nh ppm	No ppm	P ppm	Nitratos (ppm) n_1	n_2	n_3	Rendimiento (kg/ha) T	N_1	N_2
1	Junquillo	Pergamino	soja	12	94	145	77	116	122	67	6,3	1,88	0,30	0,158	174,8	701	9,9	36	80	103	3.588	3.646	4.012
2	Santa Rosa	Arroyo Dulce	soja	11	34	183	102	135	98	94	6,1	1,73	0,35	0,165	201,3	925	12,2	32	49	64	3.070	4.030	--
3	La Matilde	(1)	soja	7	44	192	90	126	32	144	6,3	1,48	0,38	0,138	179,0	751	29,3	33	65	93	2.445	3.428	3.553
4	La Alegría	Hughes	soja	7	41	89	61	183	117	78	6,2	2,07	0,28	0,180	206,0	1.024	24,7	21	45	51	3.517	4.130	4.133
5	San Alfredo	Venado Tuerto	soja	8	21	43	46	165	96	83	6,3	1,96	0,31	0,167	205,2	1.034	22,6	31	57	67	3.107	3.539	3.917
6	El Salto	Arroyo Dulce	sorgo	10	59	50	74	152	61	153	6,0	3,07	0,27	0,212	241,8	868	21,5	30	31	31	2.290	2.737	3.162
7	San Felipe	(1)	maíz	6	61	192	90	126	32	144	6,2	1,31	0,31	0,122	141,0	680	16,4	29	66	93	3.738	3.979	4.196
8	Bella Vista	Ramallo	maíz	7	52	170	100	176	81	98	5,9	1,54	0,25	0,155	171,8	727	15,1	--	--	--	2.130	2.905	3.453
9	San Andrés	Ramallo	lino	24	129	537	214	44	88	41	6,3	1,82	0,28	0,169	--	--	17,9	2	33	59	1.921	2.302	3.035
10	La Dolores	Venado Tuerto	girasol	6	76	73	72	173	121	102	6,3	2,03	0,32	0,169	159,5	942	22,0	--	--	--	3.043	3.657	3.550
Promedio Campaña 1978/79																					2.885	3.435	3.668
11	El Bañadito	Rojas	soja	12	25	13	49	0	33	65	5,9	1,85	0,38	0,193	303,4	686	18,7	6	12	27	2.210	2.493	2.757
12	Santa Rosa	Arroyo Dulce	soja	10	54	86	97	90	75	85	6,0	1,63	0,24	0,159	279,1	717	12,6	27	61	70	2.434	2.501	2.909
13	La Lucila 1	Urquiza	soja	13	32	86	42	50	76	78	6,0	1,93	0,33	0,183	311,9	621	20,6	--	--	--	3.040	3.371	3.345
14	Junquillo	Pergamino	soja	40	99	108	27	28	112	86	5,7	1,79	0,28	0,166	273,8	487	25,8	17	40	44	3.080	3.361	3.388
15	Santa Emilia	Hughes	soja	7	33	54	33	28	112	86	6,0	1,86	0,33	0,171	254,8	583	16,1	28	30	31	2.523	2.943	2.870
16	Suko		soja	7	43	61	60	0	59	0	6,1	1,23	0,22	0,133	208,7	455	13,5	23	48	60	1.815	2.672	2.398
17	El Salto	Arroyo Dulce	maíz	9	34	88	55	53	100	82	5,9	2,40	0,41	0,222	318,0	646	28,7	20	21	32	3.090	3.870	4.152
18	La Lucila	Urquiza	maíz	13	32	86	42	50	76	78	5,9	1,93	0,32	0,186	307,3	602	23,5	--	--	--	2.833	3.358	3.348
19	La Alegría	Hughes	maíz	7	68	65	39	45	119	95	5,8	2,02	0,29	0,188	282,7	581	35,9	30	39	42	2.537	3.202	3.260
20	San Alfredo	Venado Tuerto	maíz	6	112	110	37	7	130	77	5,9	1,78	0,29	0,159	226,8	611	20,7	40	53	59	3.107	3.539	3.917
21	La Dolores	Venado Tuerto	sorgo	8	43	45	51	19	134	88	6,0	1,37	0,27	0,126	205,2	467	9,6	16	18	20	1.800	2.758	3.181
22	Kilgruman	Monte Buey	maíz	10	37	35	52	12	135	68	5,8	1,60	0,25	0,161	246,6	607	27,6	21	34	43	2.032	2.709	3.085
23	La Cantora	(1)	maíz	9	52	71	62	11	98	112	6,2	1,57	0,28	0,152	253,3	360	7,7	20	33	36	2.442	3.088	3.088
24	La Larga	(1)	maíz	10	100	0	62	11	98	112	5,8	1,19	0,16	0,123	310,0	379	6,6	14	39	51	2.040	2.387	2.483

Promedio Campaña 1979/80																					2.499	3.018	3.156
25	San Eusebio	Ramallo	soja	8	35	31	116	44	110	61	5,6	1,68	0,31	0,176	277,0	616	8,0	20,4	32,8	38,8	2.281	3.040	3.012
26	San Rosa	Arroyo Dulce	soja	11	41	58	66	46	119	39	6,1	1,56	0,27	0,152	253,0	613	16,3	9,2	18,1	24,1	3.613	4.120	3.913
27	El Bañadito	Rojas	soja	16	50	71	25	16	156	31	6,1	1,95	0,32	0,183	297,0	721	15,6	37,3	53,1	64,7	4.000	4.200	4.280
28	Bella Vista	Ramallo	soja	10	57	92	109	67	128	80	5,9	1,51	0,23	0,139	--	--	5,6	11,3	21,7	28,8	2.260	2.397	2.340
29	El Salto	Arroyo Dulce	girasol	7	39	65	67	52	176	41	6,6	2,43	0,42	0,212	--	--	124,5	26,5	34,4	39,4	4.710	4.725	4.575
30	La Alegría	Hughes	maíz	9	19	46	18	24	165	56	6,0	1,88	0,28	0,164	253,8	522	15,5	23,3	34,3	40,1	2.477	2.887	2.877
31	Los Verdeos	Chacabuco	maíz	12	83	127	93	155	114	95	5,9	2,30	0,42	0,206	323,9	703	15,1	28,0	47,9	57,4	3.390	3.663	3.677
32	San Alfredo	Venado Tuerto	maíz	8	121	336	15	24	140	10	6,0	1,65	0,26	0,149	229,9	557	24,9	40,6	64,8	78,4	3.565	3.710	3.677
33	Los Patricios	Ramallo	maíz	3	49	41	80	51	69	54	5,8	1,93	0,31	0,168	--	--	4,6	18,0	25,5	30,4	1.797	2.130	2.207
Promedio Campaña 1980/81																					3.121,4	3.430,2	3.395,3
34	Los Patricios	Ramallo	soja	3	49	82	15	51	136	16	6,1	1,88	0,46	0,194	224,0	789	18,7	69,2	98,0	114,4	2.260	2.319	2.617
35	Polvaredas	Rojas	soja	7	44	64	31	34	134	17	6,3	1,60	0,32	0,163	181,4	506	11,6	36,8	64,9	90,4	2.607	2.667	--
36	Santa Elena 1	Rojas	maíz	11	84	148	0	34	167	11	6,3	1,97	0,37	0,182	203,4	561	7,2	28,1	38,6	46,0	1.917	2.247	--
37	La Dolores	Venado Tuerto	sorgo	3	15	25	18	40	103	32	6,2	1,63	0,42	0,158	172,8	530	24,2	92,5	136,6	166,7	3.978	4.035	--
38	San Alfredo	Venado Tuerto	maíz	5	120	206	2	42	128	36	6,2	1,81	0,30	0,177	194,8	638	31,4	80,0	125,6	150,2	3.892	3.584	--
39	La Alegría	Hughes	maíz	12	53	66	2	42	128	36	6,2	1,93	0,38	0,182	220,6	624	25,1	33,1	42,2	42,2	2.233	2.780	--
40	La Sofía	Pergamino	maíz	10	104	169	9	30	99	28	6,3	1,69	0,32	0,158	174,9	543	26,6	22,2	36,6	36,6	2.090	2.220	--
41	La Lucila	Urquiza	maíz	7	57	75	41	42	37	61	6,1	1,70	0,27	0,163	181,4	514	26,0	28,7	41,1	51,0	1.820	2.255	--
Promedio Campaña 1981/82																					2.599,6	2.763,4	--
42	Santa Elena 2	Chacabuco	maíz	12	37	17	258	30	45	14	6,1	1,70	0,38	0,137	231,0	437	5,5	22,7	45,1	62,8	2.810	3.314	--
43	La Sofía	Pergamino	maíz	7	98	131	157	34	66	113	6,4	1,56	0,33	0,127	215,7	--	17,5	41,9	63,5	77,8	2.603	3.437	--
44	Santa Elena 1	Rojas	maíz	13	22	5	164	12	34	49	6,3	1,64	0,33	0,142	246,0	549	8,1	9,7	18,4	25,6	2.714	3.797	--
45	Kilgruman 1	Monte Buey	maíz	9	73	100	6	53	63	18	6,3	1,41	0,20	0,118	185,6	779	23,3	43,0	56,7	73,5	2.642	2.878	--
46	Kilgruman 2	Monte Buey	girasol	4	68	97	9	53	63	18	5,9	1,49	0,20	0,140	214,0	767	28,6	132,5	196,8	225,2	2.989	2.945	--
47	La Dolores	Venado Tuerto	sorgo	7	65	26	132	29	23	98	6,4	1,76	0,36	0,154	260,9	707	16,0	38,9	49,8	59,9	3.898	4.493	--
Promedio Campaña 1982/83																					2.942,7	3.477,3	--
Promedio General Ponderado																					2.774,1	3.200,9	3.554,1

(1) Están caracterizadas cartográficamente a nivel del mapa de suelos del CREA Bragado (Tecnoagro 1980) pero no a nivel de series descriptas por el INTA.

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

Símbolo	Variable	Unidad	Media	Desvío standard	Coeficiente de variación (%)
AA	Años de agricultura	años	9,638	5,866	60,24
Db	Días de barbecho	días	58,681	29,525	50,31
po	Precipitaciones en barbecho	mm	99,213	91,016	91,74
p1	Pptaciones siembra-macollaje	mm	62,255	53,910	82,61
p2	Pptaciones macollaje-espigazón	mm	59,681	51,842	86,86
p3	Pptaciones espigazón-granazón	mm	98,043	39,299	40,08
p4	Pptaciones granazón-madurez	mm	66,596	37,831	56,81
pH	Reacción del suelo	Un pH	6,085	0,211	3,46
ct	Carbono total	%	1,781	0,329	18,47
Cs	Carbono sobrenadante	%	0,310	0,064	20,52
Nt	Nitrógeno total	%	0,164	0,025	15,03
Nh	Nitrógeno hidrolizable	ppm	236,33	316,248	133,81
No	Nitrógeno potencialmente mineralizable	ppm	645,95	249,952	38,70
p	Fósforo extractable	ppm	20,406	17,360	85,07
n_1	Nitratos a la siembra 0-20 cm	ppm	31,858	24,134	75,76
n_2	n_1 + Nitratos a la siembra 20-40 cm	ppm	51,174	35,749	69,86
n_3	n_2 + Nitratos a la siembra 40-60 cm	ppm	62,800	42,568	67,78

El nitrógeno potencialmente mineralizable aparece correlacionado directamente con el fósforo extractable y con el nivel de nitratos en la capa arable, y a su vez estos dos parámetros entre sí.

Para la población con antecesor soja, de menor tamaño, se advierten menores casos de correlaciones significativas, manteniéndose la del carbono total con el nitrógeno total y el nitrógeno potencialmente mineralizable, pero no la de los años de agricultura con el nivel de nitratos, confirmándose así el diferente comportamiento en la dinámica del nitrógeno libre, ya enunciado en anteriores colaboraciones.

En cambio los nitratos de la capa arable están significativamente asociados al carbono sobrenadante y a las precipitaciones durante el barbecho, denotando la influencia que pueden tener ambos parámetros sobre la velocidad de formación de los nitratos, especialmente en barbechos de corta duración.

c) Variables de sitio asociadas al rendimiento

En función de la finalidad última de establecer modelos de predicción de respuesta a la fertilización nitrogenada es de especial interés conocer cuales son los parámetros que mayor influencia tienen sobre los rendimientos de trigo y que vinculación tienen esos parámetros con los componentes de la fertilidad nitrogenada edáfica, tanto actual como potencial.

A través de las Tablas 3 y 4 se puede observar que variables de sitio están relacionadas con los rendimientos, tanto enla población conantecesor no soja como con antecesor soja.

En la población con antecesor no soja (Tabla 3) el rendimiento del testigo aparece inversamente asociado con los años de agricultura y directamente asociado con el carbono sobrendante y con el nivel de nitratos en la capa arable (significativo al 5%) y el nivel de nitratos 0-40 cm y 0-60 cm (significativo al 1%).

Asimismo para los modelos explicativos de rendimiento tiene interés detectar el grado de asociación de los rendimientos con las lluvias durante el ciclo, destacándose en este aspecto las precipitaciones de siembra a macollaje.

La selección final del subgrupo de variables independientes a incluir en el modelo explicativo de ren-

TABLA 3: Matriz de correlaciones de las variables analizadas (población antecesor no soja).

	AA	Db	po	pH	Ct	Cs	Nt	Nh	No	P	n1	n2	n3	T
AA	1	–	–	–	–	–	–	–	–	x (-) + (-)	xxx (-) +++ (-)	xxx (-) +++ (-)	xxx (-) +++ (-)	x (-) + (-)
Db		1	xx +++	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
po			1	–	–	–	–	–	–	++	+	–	–	–
pH				1	–	–	–	x (-) + (-)	–	–	–	–	–	–
Ct					1	x ++	xxx +++	x ++	x +	–	–	–	–	–
Cs						1	x +	–	–	–	–	–	–	o
Nt							1	xx ++	–	o ●	–	–	–	–
Nh								1	–	–	–	–	–	–
No									1	x ++	o +	–	–	–
p										1	x ++	o	–	–
n1											1	xxx +++	xxx +++	x +
n2												1	xxx +++	xx ++
n3													1	xx ++
T														1

(o) (●) significativo al 10% para la correlación sin transformar y transformada logarítmicamente ($r > 0,360$).
(x) (+) significativo al 5% ($r > 0,413$); (xx) (++) significativo al 1% ($r > 0,526$); (xxx) (+++) significativo al 0,1% ($r > 0,652$).
(-) correlación con signo negativo.

dimientos, hecha mediante el método de regresión múltiple "Stepwise", permitió elaborar los dos modelos que se transcriben en la Tabla 5, que incluyendo precipitación al barbecho, lluvias de siembra a macollaje, carbono sobrenadante y nitratos a la siembra (0-40 cm ó 0-60 cm) nos permitió obtener coeficientes de determinación (R^2) satisfactorios, incluso bastante más elevados que los obtenidos por Berardo y Maneiro (1978); Darwich et al., (1978) y Berardo et al., (1980) en estudios similares para el cultivo de trigo en el sudeste bonaerense, y que los hallados por Novello y Peretti (1977) en el área del influencia del INTA Marcos Juárez.

Hay que destacar que los dos modelos presentan los coeficientes de los βi significativos al 1%, salvo para la variable precipitaciones durante el barbecho que lo es para el nivel del 5%, no siendo significativo el coeficiente debido a βo en el primer modelo. Los coeficientes que afectan a las variables independientes presentan valores coherentes, indicándonos sus coeficientes de correlación parcial la mayor gravitación de los nitratos (-40 cm y aún más de 0-60 cm) sobre los rendimientos, quedando en segundo lugar y con escasa diferencia las precipitaciones de siembra a macollaje y el carbono sobrenadante. En último lugar quedan las precipitaciones durante el barbecho.

Tabla 4: Matriz de correlaciones de las variables analizadas (población antecesor soja).

	AA	Db	po	pH	Ct	Cs	Nt	Nh	No	P	n1	n2	n3	T
AA	1	xx	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Db		1	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
po			1	–	–	–	–	–	–	–	+	o ++	o +	–
pH				1	–	–	–	–	–	–	–	o	x +	–
Ct					1	–	xxx +++	–	x +	–	–	–	–	x +
Cs						1	x	–	–	–	x	–	–	–
Nt							1	o	–	–	–	–	–	–
Nh								1	o	–	–	–	–	–
No									1	–	–	–	–	–
p										1	–	–	–	–
n_1											1	xxx +++	xxx +++	–
n_2												1	xxx +++	–
n_3													1	–
T														1

(o) (•) Significativo al 10% para la correlación sin transformar y transformada logarítmicamente ($r > 0,441$).
(x) (+) Significativo al 5% ($r > 0,514$); (xx) (++) significativo al 1% ($r > 0,641$); (xxx) (+++) significativo al 0,1% ($r > 0,760$).

Llama la atención que el único parámetro químico de fertilidad potencial que está asociado al rendimiento sea el carbono sobrenadante, reafirmando atributos ya encontrados por Conti (1976).

Utilizando el primer modelo y haciendo los derivados parciales para cada variable se puede deducir, que alrededor de los valores medios de las variables, se obtendría un incremento de 20,6 kg/ha por cada parte por millón que se aumente en el nivel de nitratos (0-40 cm), de 2,7 kg/ha por cada mm de lluvia ocurrida en el período siembra-macollaje. En un trabajo de Berardo y Maneiro (1978) se hallaron valores de 5,6 kg/ha por cada mm de lluvia producida en el período siembra a espigazón, pero teniendo simultáneamente en el modelo y con signo negativo la variable días de stress hídrico. Finalmente cada 0,01% de carbono sobrenadante es responsable de 37,4 kg/ha de rendimiento.

En la población con antecesor soja se observa que el rendimiento no aparece asociado a ningún parámetro químico salvo el carbono total, obteniéndose como mejor modelo explicativo (previa eliminación de un caso anómalo) el que se transcribe en la Tabla 5.

En este modelo, que explica un 70% de la variación del rendimiento (62% si tomamos en cuenta el R^2 corregido, de acuerdo a Abril, 1979) se observa que no se encuentra el parámetro nitratos que tanta influencia ejerció en el modelo de rendimiento de la población antecesor no soja, y sí en cambio aparece el carbono total como medida química de fertilidad potencial. Además quedan en el modelo las lluvias de siembra a macollaje (p_1) y de espigazón a granazón (p_3).

Trabajando con este modelo se ve que el factor de mayor influencia sobre el rendimiento es el que representa a las lluvias de espigazón a granazón, donde 1 mm de lluvia representa 13,2 kg/ha de rendimiento,

TABLA 5: Modelos explicativos del rendimiento de los testigos.

Variable independiente	βi	ri	$R^2/\overline{R2}$	F calcl.	$\hat{\sigma}^2$	Variable depend.
Población antecesor no soja						
Constante	−222,4829	NS	72,18	11,677 xx	171611,0	y
po	2,7047	0,445 x	66,00			
lnCs	1154,2276	0,603 xx				
ln n_2	880,0873	0,777 xx				
ln p_1	234,6062	0,624 xxx				
Constante	−283,4263		74,95	13,461 xx	154562,0	y
po	2,5896	0,445 x	69,38			
lnCs	1136,5171	0,617 xx				
ln n_3	877,6461	0,802 xx				
ln p_1	206,3810	0,603 xx				
Población soja						
Constante	−2876,055					
Ct	1071,9153	0,5169 (x)	70,49	7,922 xx	158879,0	
p_3	13,2405	0,7427 xx	61,64			y
ln p_1	658,3097	0,6686 x				

βi : Coeficientes de las variables independientes.
ri : Coeficientes de correlación parcial de cada variable independiente.
R^2 : Coeficiente de determinación en %.
$\overline{R2}$: Coeficiente de determinación corregido en %.
F calculada : Prueba de significancia de todo el modelo a través del test de F.
$\hat{\sigma}^2$: Estimación de la varianza de residuales.
y : Rendimiento.
NS : No significativo.
x : Significativo al 5%.
xx : Significativo al 1%.

valor algo superior al efecto de las lluvias ocurridas de siembra a macollaje donde 1 mm determina 10,7 kg/ha de incremento en los rendimientos, cifra casi tres veces superior a la hallada en la población no soja.

d) Diagnóstico de respuesta a la fertilización nitrogenada

A través de la Tabla 6 se puede observar el detalle de los modelos predictivos de respuesta a nitrógeno (dosis de aproximadamente 50 kg/ha) que mejor comportamiento han demostrado. Los cinco primeros modelos (a - b - c - d y e) corresponden a la población no soja y permiten extraer algunas consecuencias de gran interés agronómico.

En primer lugar vemos que los modelos ay c, que explican entre el 69 y el 74% de la respuesta a la primera dosis de nitrógeno, utiliza una sola variable (nitratos 0-40 cm ó nitratos 0-60 cm) transformada logarítcamente, con coeficientes de correlación significativos al nivel del 1% y que oscilan entre −0,83 y −0,86. El muy satisfactorio comportamiento de estos modelos univariados, ya evidenciado en las dos primeras campañas (Barberis et. al., 1980) denota la bondad que puede tener su adopción como método convencional de diagnóstivo de respuesta, dada su sencillez, especialmente si se emplea la metodología de determinar nitratos entre 0 y 40 cm de profundida. Hay que resaltar aparte de sus valores de r y R^2 los que corresponden al elevado nivel de la F calculada y la baja magnitud de la varianza de residuales.

En la población estudiada no hemos notado influencia significativa del nivel de fósforo extractable sobre las curvas de respuesta a nitrógeno, hecho señalado por trabajo del INTA Pergamino (1983), posiblemente por contar nuestra población con una gran mayoría de casos con buenos niveles de fósforo.

Tampoco se ha notado una gravitación significativa de las lluvias en los diferentes períodos del ciclo, pese a su marcada influencia sobre los rendimientos ya detallada anteriormente y que otros autores han encon-

TABLA 6: Modelos predictivos de respuesta a nitrógeno.

Modelo	Variable independiente	βi	ri	$R^2/\overline{R2}$	F calc.	$\hat{\sigma}^2$	Variable dependiente
	Población antecesor no soja						
a	Constante	44,2923		74,74	62,152 xx	10,592	Ef
	ln n_2	−9,3311	− 0,865 xx	73,54			
	Constante	44,2613					
b	Db	−0,0653	− 0,613 xx	84,23	54,404 xx	6,946	Ef
	ln n_2	−8,2180	− 0,876 xx	82,65			
c	Constante	44,3377		69,23	47,246 xx	12,905	Ef
	ln n_3	−8,9189	− 0,832 xx	67,76			
	Constante	44,9663		82,18	46,113 xx	7,848	
d	Db	−0,0750	− 0,649 xx				Ef
	ln n_3	−7,8642	− 0,859 xx	80,40			
	Constante	−3,3176	NS				
e	Db	−0,1077	− 0,644 xx	59,58	14,740 xx	17,800	Ef
	ln AA	9,0511	− 0,636 xx	55,54			
	Población antecesor soja						
	Constante	−0,2396	0,679 x	46,15	8,571 x	-	
f	n_2	−0,0108		40,77			$E^{\frac{1}{f}}$
	Constante	−0,2413	0,670 x	44,96	8,167 x	-	
	n_3	0,0086		39,46			$E^{\frac{1}{f}}$
	Constante	13,6088					
	po	0,1054	0,789 xx	68,52	5,804 x	21,8879	Ef
h	Db	−0,1580	− 0,660 x	56,71			
	n_2	−0,1356	− 0,569 (x)				
	Constante	13,9985					
i	po	0,1113	0,801 xx	69,61	6,108 x	21,1282	Ef
	Db	−0,1668	− 0,691 x	58,21			
	n_3	−0,1157	− 0,589 (x)				

βi : Coeficientes de las variables independientes.
ri : Coeficientes de correlación parcial de cada variable independiente.
R^2 : Coeficiente de determinación en %.
$\overline{R2}$: Coeficiente de determinación corregido en %.
F calculada : Prueba de significancia de todo el modelo a través del test de F.
$\hat{\sigma}^2$: Estimación de la varianza de residuales.
y : Rendimiento.
NS : No significativo.
x : Significativo al 5%.
xx : Significativo al 1%.

trado en el sudeste de Buenos Aires (Darwich et. al., 1978).

Los modelos de diagnóstico de respuesta a nitrógeno aún se perfeccionan y llegan a muy elevados coeficientes de determinación corregidos (80 a 83%) si se incluye la variable días de barbecho. Aparentemente la longitud del barbecho influiría disminuyendo la eficiencia de respuesta a nitrógeno no solamente por el aumento en el contenido de nitratos, quedando el interrogante si las otras causas estarían relacionadas con un diferente contenido hídrico o condistinta disponibilidad de otros nutrientes. De todas maneras la influencia de los días de barbecho sobre la eficiencia es cuantitativamente baja, alrededor 0,7 unidad de eficiencia por cada diez día de barbecho, sobre todo si se la compara con la variable nitratos, donde 10 ppm de nitratos (0-40 cm) puede significar una variación de 1,9 unidad de eficiencia de respuesta.

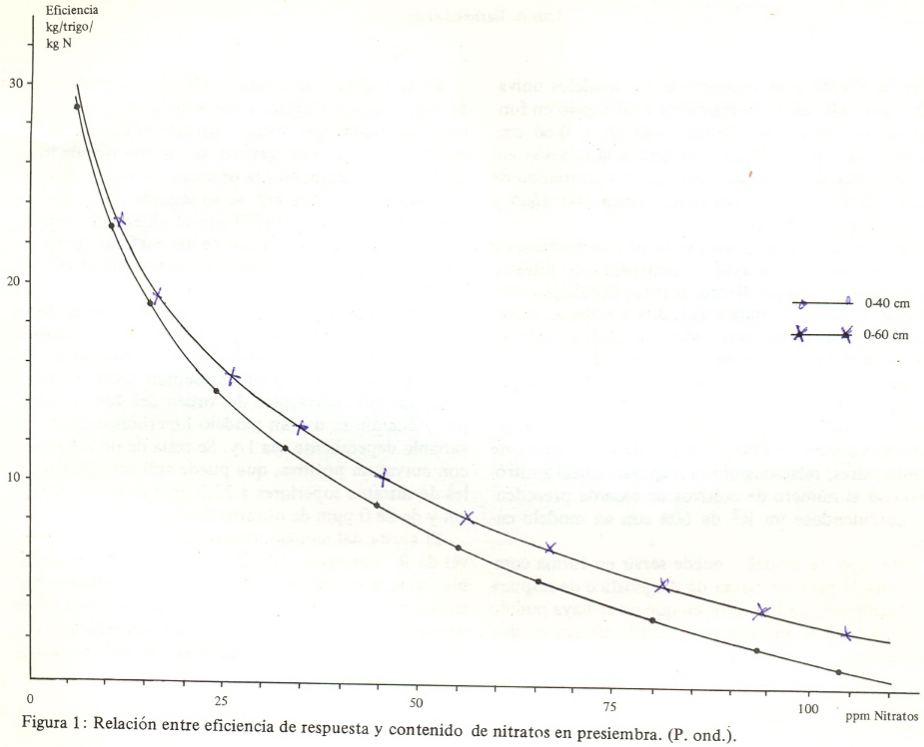

Figura 1: Relación entre eficiencia de respuesta y contenido de nitratos en presiembra. (P. ond.).

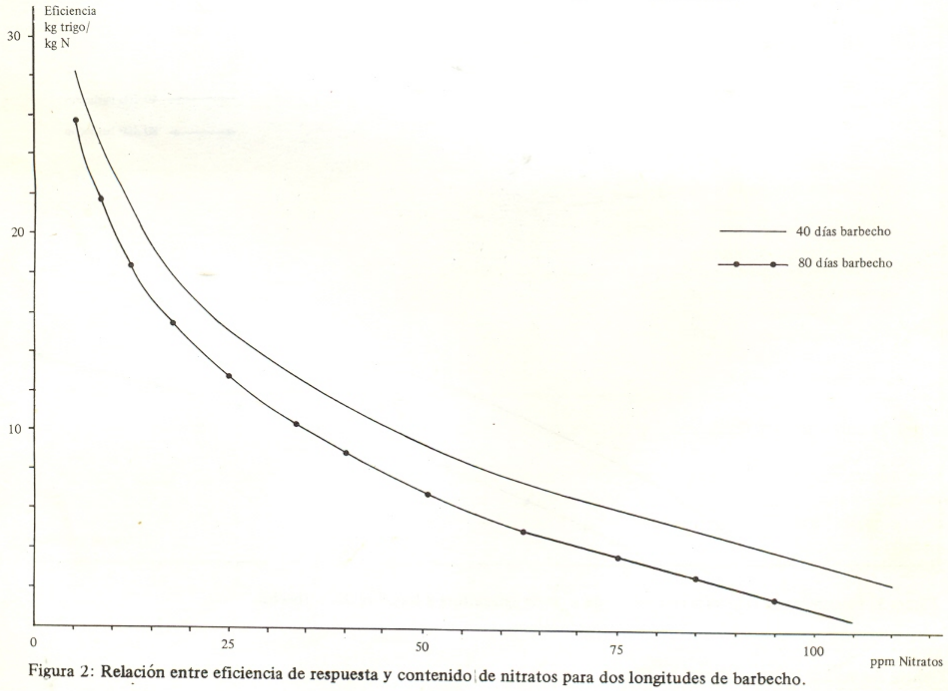

Figura 2: Relación entre eficiencia de respuesta y contenido de nitratos para dos longitudes de barbecho.

En la Figura 1 se representan los modelos univariados para eficiencia de respuesta a nitrógeno en función del contenido de nitratos 0-40 cm y 0-60 cm, mientras que en la Figura 2 se ilustra la relación entre eficiencia de respuesta a nitrógeno y contenido de nitratos 0-40 cm para barbechos cortos (40 días) y barbechos largos (80 días).

También resulta de interés trabajar con modelos de respuesta que no incluyan el contenido de nitratos como variable independiente, sustituyéndola por otra variable de sitio no edáfica asociada a nitratos, como es años de agricultura (ver Tabla 3). Con este criterio se ha construído el modelo e, que incluye días de barbecho y años de agricultura y que alcanza a explicar algo menos del 60% de las variaciones de la respuesta a nitrógeno. Un intento similar realizaron Berardo y Maneiro (1978) en el sud de la provincia de Buenos Aires, relacionando la respuesta lineal a nitrógeno con el número de cultivos de escarda precedentes, obteniéndose un R^2 de 60% con un modelo cúbico.

Este tipo de modelos puede servir en forma complementaria para las tareas de diagnóstico de respuesta a nitrógeno, en los casos en que no se haya podido medir el nivel de nitratos o su análisis ofrezca resultados dudosos.

En la Figura 3 se señala la relación entre eficiencia de respuesta a nitrógeno y número de años de agricultura para barbechos cortos y barbechos largos. Para la construcción de este gráfico se ha transformado el modelo "e" eliminando la ordenada al origen que no era significativa. Para ello se ha seguido el criterio expuesto por Kmenta (1977) con el objeto de mejorar la precisión de la estimación de los coeficientes de regresión, quedando el modelo como y = –0,11415 Db + 7,7030 ln, AA.

Para la población antecesor soja se observa en la Tabla 6 que los modelos f y g que relacionan respuesta a nitrógeno con el contenido de nitratos previo a la siembra (0-40 cm 0-60 cm) presentan coeficientes de determinación corregidos del orden del 40%, y siempre y cuando se use un modelo hiperbólico donde la variable dependiente sea 1/y. Se trata de un hipérbola con curvatura positiva, que puede aplicarse para niveles de nitratos superiores a 22,2 ppm de nitratos 0-40 cm y de 28,0 ppm de nitratos 0-60 cm.

El ajuste del modelo mejora, pero sin superar el nivel de R^2 corregido del 60% si se introducen las variables días de barbecho y precipitaciones al barbecho, ambos factores conocibles o estimables antes de la siembra. Aparece como factor más asociado a la eficiencia de respuesta a nitrógeno el referente a precipi-

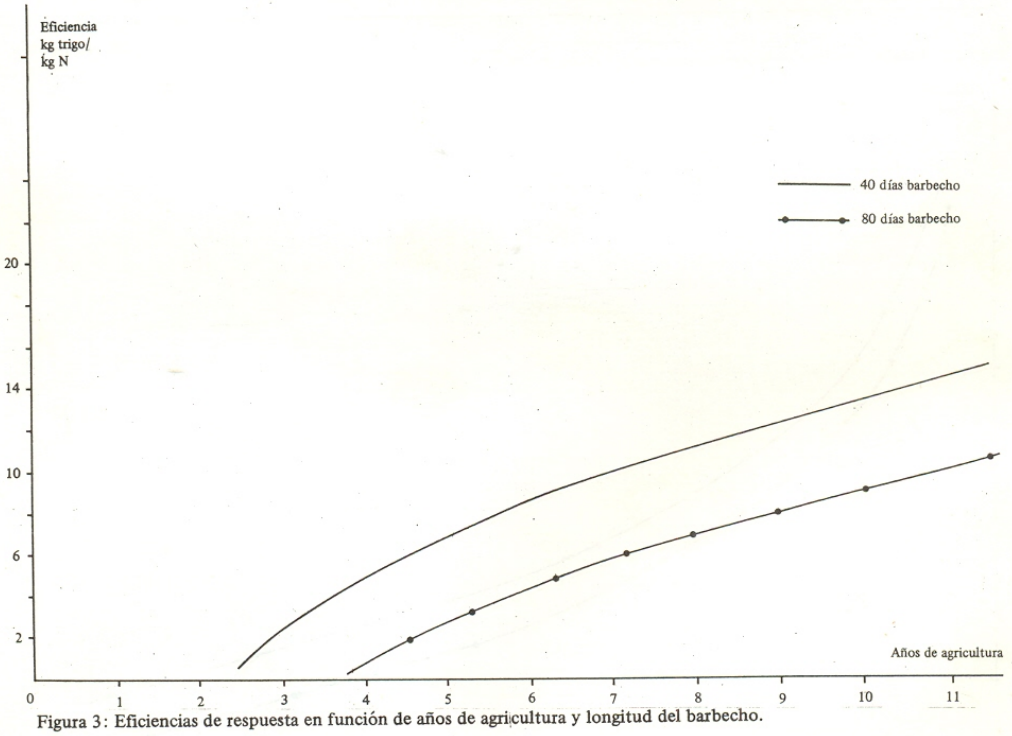

Figura 3: Eficiencias de respuesta en función de años de agricultura y longitud del barbecho.

taciones al barbecho, correspondiendo un incremento de eficiencia de 1,1 punto por cada 10 días que se reduzca el barbecho. Debe además dejarse constancia que existe multicolinealidad entre los parámetros, lo cual reduce la confiabilidad del modelo.

De todas maneras subisste la dificultad para lograr un modelo satisfactorio para el diagnóstico en la respuesta en la población antecesor soja, especialmente si la comparamos con la situación alcanzada en la población sin antecesor soja, mereciendo el tema una intensificación de los estudios sobre la dinámica del nitrógeno en los suelos con rastroja de soja, tal como el iniciado por Daniel (comunicación personal).

Se deja aclarado que en la discusión de la metodología y resultados, a a los efectos de no aumentar en demasía el volumen del artículo, hemos obviado la explicitación de todos los pormenores tenidos en cuenta al elaborar los modelos de diagnóstico de la fertilidad nitrogenada y que han mericido una amplia revisión actualizada (Zourarakis y Barberis, 1983).

CONCLUSIONES

Los resultados de los ensayos de fertilización de trigo correspondientes a las cinco últimas campañas (1978/79 a 1982/83) nos han permitido alcanzar el objetivo fundamental de establecer modelos predictivo de respuesta a la fertilización nitrogenada para el ámbito de la Pampa Ondulada.

Para los cultivos cuyo antecesor no sea soja se ha logrado modelos univariados que empleando el contenido de nitratos de presiembra de 0-40 cm ó 0 a 60 cm habilitan a estimar la eficiencia de respuesta a nitrógeno con satisfactoria precisión estadística (R^2 del 69 al 75%) y adecuada factibilidad agronómica. Aún modelos más ajustados para la predicción de respuesta se logran incluyendo la variable días de barbecho, llegando a coeficiente de determinación del 82 al 84%.

Para esta misma población y con los parámetros culturales (días de barbecho y años de agricultura) es factible establecer modelos de estimación de la respuesta a nitrógeno que llegan a R^2 del 60%, convirtiéndose así en un valioso auxiliar para el diagnóstico de fertilización cuando por diversos motivos no se ha podido practicar el análisis de nitratos en presiembra.

En los cultivos de trigo cuyo antecesor es la soja s se nota un diferente comportamiento de las variables asociadas a la respuesta a nitrógeno, siendo poco satisfactorio el uso de modelos predictivos univariados en base al nivel de nitratos de presiembra. En cambio manifiestan mejor ajuste los modelos que incluyen junto al contenido de nitratos las variables relacionadas con el barbecho, pero sin llegar a ofrecer la confiabilidad que tenían los modelos hallados para los cultivos de trigo sin antecesor soja.

Pata el total de ensayos se ha obtenido una respuesta promedio de 430 kg/ha ante la aplicación de la primera dosis de nitrógeno (47 kg N/ha) con una eficiencia de 9,1, mientras que para la segunda dosis de nitrógeno (92 kg N/ha) se obtuvo un incremento de 580 kg/ha, equivalente a un eficiencia de 6,3.

El rendimiento medio de los testigos para las 5 campañas fue de 2700 kg/ha, y como principales variables asociadas al rendimiento se ha identificado (para los cultivos de trigo que no siguen a soja) las precipitaciones durante el barbecho y de siembra a macollaje, el carbono sobrenadante y al contenido de nitratos, lográndose con esos parámetros la construcción de satisfactorios modelos explicativos del rendimiento.

Mayores dificultades se enfrenta para ello en los cultivos de trigo con antecesor soja, donde el modelo de mejor comportamiento incluye lluvias de siembra a macollaje y de espigazón a granazón, además del contenido de carbono total.

Finalmente es de interés deducir que en el conjunto de ensayos se advierte que el contenido medio de nitratos de la capa arable representa el 51% del total correspondiente al perfil (0-60 cm), valor que se extiende al 80% si se considera la profundidad de 0 a 40 cm, estando esta distribución relacionada con las lluvias durante el barbecho.

Teniendo en cuenta este hecho y el comportamiento de las variables nitrato a diferentes profundidades se puede concluir que como método de diagnóstico predictivo para estimar la respuesta a nitrógeno es conveniente utilizar el modelo con nitratos de 0 a 40 cm donde ef (kg grano/kg N) = 44,2923 – 9,3311 $\ln n_2$.

BIBLIOGRAFIA

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.

Barberis, L. A.; M. E. Conti; M. Richter y C. W. Vollert, 1978. Diagnóstivo de la fertilidad nitrogenada en suelos de la Pampa Ondulada. 8a. R.A.C.S. Resúmenes pp 47-48. Buenos Aires.

Barberis, L. A.; M. E. Conti; H. Del Campo; A. Nervi y P. Daniel, 1980. Respuestas del trigo a la fertilización nitrogenada en el norte y oeste de la Pampa húmeda. (Campañas 1979/79 y 1979/80). Actas. 9a. R.A.C.S., Paraná (e. (E. Ríos). 537-548.

Berardo, A. y C. Maneiro, 1978. Efecto del manejo anterior sobre la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo. 8a. R.A.C.S. Buenos Aires.

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.

Conti, M.E., 1976. Uso del método de fraccionamiento densimétrico de los complejos orgánicos minerales del suelo en el diagnóstico de la fertilidad edáfica. Tesis Mag. Sci. Escuela para Graduados en Ciencias Agropecuarias de la Rca. Argentina. Castelar (Buenos Aires).

Chalk, P. M. y S. A. Waring, 1970. Evaluation of rapid test for assessing N availability in wheat soils. I: Correlation with plant indices of availability obtaines in pot culture. Austr. Jour. Exp. Ag. An. Husb. 10: 298-305.

Darwich, N. A.; A. Berardo y Ph. Culot, 1978. Análisis de la respuesta del cultivo de trigo a la fertilización NP bajo diferentes condiciones ambientales en el S. E. de la provincia de Buenos Aires. 8a R.A.C.S.

Draper, N. R. y H. Smith, 1966. Applied Regression Analysis. Wiley and Sons, New York.

Etchevehere, P. H.; J. Musto y J. Olmos, 1969. Contribución y distribución de las provincias series de suelos de la Pampa Ondulada. 5a. R.A.C.S. Santa Fe.

INTA, Est. Exp. Agr. Reg., Pergamino, 1979. Carpeta de Producción Vegetal. Trigo. Informaciones N° 18 y 25.

INTA, Est. Exp. Agr. Reg., Pergamino, 1983. Carpeta de Producción Vegetal. Trigo. Informaciones N° 58.

Kmenta, J., 1977. Elementos de Econometría. Ed. Vicens-Vives. España.

Novello, P. y M. A. Peretti, 1977. Análisis combinado de factores de productividad que afectan la respuesta del cultivo de trigo a la fertilización. INTA, Estación Experimental Regional Agropecuaria Marcos Juárez. Informe Técnico N° 85.

Sierra, J. y L. A. Barberis, 1983. Análisis de un modelo de mineralización de nitrógeno en suelos del oeste de Buenos Aires. A publicar en la Revista de la Facultad de Agronomía de Buenos Aires. Tomo IV, N° 3.

Stanford, G. y S. J. Smith, 1972. Nitrogen mineralization potencials of soils. Soil Science 36: 465-472.

Zourarakis, D. y L. A. Barberis, 1980. Estudio comparativo del valor de algunos métodos químicos como elemento diagnóstico de la fertilidad nitrogenada en suelos de la pradera pampeana. Actas. 9a. R.A.C.S.; Paraná (E. Ríos) 413-424.

Zourarakis, D. y L. A. Barberis, 1983. Técnicas de diagnóstico de la fertilidad nitrogenada edáfica: Fundamento y desarrollo de las mismas. Revista de la Facultad de Agronomía. Tomo IV, N° 191-211.