

**RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAÍZ A LA FERTILIZACIÓN
NITROGENADA EN LA PAMPA ONDULADA
CAMPAÑAS 1980/81 - 1983/84
II - MODELOS PREDICTIVOS Y EXPLICATIVOS ***

L. Barberis; E. Chamorro; C. Baumann Fonay; D. Zourarakis;
D. Canova y Susana Urricariet (1)

Recibido: 15/10/84
Aceptado: 8/4/85

RESUMEN

En función de las conclusiones obtenidas en la primera parte del trabajo, y con el objetivo de establecer modelos explicativos y predictivos del rendimiento del cultivo de maíz y su respuesta a la fertilización nitrogenada, se utilizaron procedimientos de regresión múltiple tomando en cuenta variables edáficas, meteorológicas y de manejo, las que fueron consideradas en su forma original y en sus transformadas logarítmica e inversa.

Dichas variables fueron: contenido promedio de nitratos a tres profundidades (0-20; 0-40 y 0-60 cm) desde la siembra y a lo largo del cultivo; porcentaje de C orgánico total, porcentaje de C sobrenadante, porcentaje de N total, porcentaje de N hidrolizable, nitratos producidos por incubación durante 14 días, N potencialmente mineralizable (N^o) de 2-4 semanas, 4-8 semanas y 2-8 semanas, precipitaciones durante el barbecho y desde 90 días pre-siembra, desde 90 días presiembra hasta 4-6 hojas, desde siembra a prefloración, de prefloración a grano formado y desde grano formado a madurez fisiológica. Las variables culturales fueron: años de agricultura, días de barbecho, densidad de plantas y fecha de siembra.

La elaboración de los modelos predictivos de respuesta fue efectuada considerando a la variable dependiente en sus dos formas: rendimiento relativo (RR) y eficiencia de conversión para la primera dosis de N (E1D), la que correspondió a unos 44 kg/ha. En el primer caso la relación entre el rendimiento del tratamiento con fertilizante y el del testigo pudo ser explicada satisfactoriamente a través de un modelo integrado por la concentración de nitratos hasta 60 cm de profundidad a la siembra, contenido de carbono orgánico en capa arable, lluvias desde 90 días pre-siembra hasta 4-6 hojas y años de agricultura; el R² alcanzó al 75 por ciento en este modelo, desarrollado para la población "no soja". Una ecuación de estructura similar arrojó, en el caso de la eficiencia de conversión, un R² de 80 por ciento.

Los modelos explicativos de los rendimientos del tratamiento testigo (RT) incluyeron precipitaciones de prefloración a grano formado, nitratos de 0-60 cm de profundidad a la siembra, potencial de producción de nitratos por incubación y años de agricultura. Los coeficientes de determinación llegaron en algunos casos al 80 por ciento.

1) Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina.

* Este trabajo forma parte del Programa de Investigación Experimental sobre Fertilización del Maíz, desarrollado por la Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía (U.B.A.), con el apoyo del Laboratorio de Química Geológica y Edafológica (FECIC-CONICET), los grupos CREA Pergamino-Colón, Santa Isabel y Rojas y las empresas Santa Juana Agropecuaria S.A. e Híbridos Cargill S.A., cuya coordinación llevan a cabo los Ings. Agrs. Luis A. Barberis, Enrique Chamorro y Carlos W. Vollert y con la supervisión del Ing. Agr. Ichiro Mizuno. Su costo fue parcialmente financiado por subsidios de la Universidad de Buenos Aires y el CONICET.

**MAIZE RESPONSE TO NITROGEN FERTILIZATION
IN THE "ROLLING PAMPA", ARGENTINA
YEARS 1980/81 THROUGH 1983/84
II - PREDICTIVE AND EXPLICATIVE EQUATIONS**

SUMMARY

The aim of this work was to obtain regression equations in order to explain and predict maize control yields and conversion efficiency of fertilizer-N.

The authors used a stepwise selection technique to obtain a set of variables related to soil, climate and crop management. The group of variables related with soil fertility were: total organic C and N, supernatant C, hydrolizable and potentially mineralizable N, NO₃- production after 14 days incubation, average NO₃- content in the 0-20; 20-40; 40-60; 0-40 and 0-60 cm soil layers at seeding time and at the time the crop had 4-6 expanded leaves.

The set of climatic variables included mm rainfall measured during the following periods: fallow, 3 months previous to seeding date, idem plus the period coming up to 4-6 expanded leaves, from the time the crop showed 4-6 expanded leaves up to 8-9 expanded leaves, from 8-9 expanded leaves up to the moment the grain had been formed, and from then up to physiological maturity.

Crop management variables were: previous crop ("soybean" or "non-soybean"), years of previous continual agriculture, length of fallow, seeding date and planting density.

In the case of predictive equations, yield ratio and conversion efficiency at the first dosis (44 kg N/ha) were the two dependent variables considered. For the group of "non-soybean" data, yield ratio could be satisfactorily explained by means of an equation made up of average NO₃- content (0-60 cm) at seeding time, total organic C in the top layer, rainfall during 3 months previous to seeding date and in the period up to 4-6 expanded leaves, and years of previous continual agriculture (R² = 75 per cent).

A similarly constructed model explained up to 80 per cent of the variability of the conversion efficiency data. Explicative models for the control yields included rainfall from 8-9 expanded leaves up to the moment the grain had been formed, average NO₃- content (0-60 cm) at seeding time, NO₃- potential production and years of previous continual agriculture, determination coefficients sometimes reached 80 per cent.

INTRODUCCION

Al considerar brevemente el panorama ofrecido por el uso de los fertilizantes en el marco de la denominada pradera pampeana son varios los rasgos de interés que surgen. Uno de los hechos más evidentes es el profundo contraste que existe en el empleo de dicho insumo tecnológico para el caso de los dos cereales de cultivo mayoritario: trigo y maíz.

Mientras la superficie fertilizada ha ido en aumento en el caso del trigo, el proceso de decisión referente a la incorporación de la fertilización como recurso habitual, se ha visto respaldado por un creciente perfeccionamiento de las herramientas de diagnóstico sobre la base del análisis de suelos.

El cultivo de maíz, segundo cereal en

importancia relativa en cuanto a superficie cultivada y valores exportados, ofrece un cuadro diametralmente opuesto. La prolongación de las rotaciones agrícolas y el desplazamiento de la superficie destinada a la ganadería llevó a que la superficie destinada al cultivo de maíz se estanque con una marcada disminución en términos relativos al área agrícola total.

El decaimiento de los rendimientos de este cultivo por un mayor uso agrícola de los suelos no se ve paliado satisfactoriamente, a diferencia de lo ocurrido en el caso del trigo, mediante el empleo de abonaduras nitrogenadas y/o fosforadas. La escasa difusión que la práctica de fertilización tiene en el caso del maíz no es debido, por cierto, a la ausencia de conocimientos técnicos o científicos referentes a la posibilidad de respuesta de es-

te cultivo. Numerosos experimentos han sido conducidos en la Argentina a lo largo de los últimos 20 años y sus resultados han servido para incrementar la comprensión de los factores y mecanismos intervinientes en dicho proceso (Senigaglia *et al.*, 1979; Puricelli *et al.*, 1965; Novello *et al.*, 1979; Berardo *et al.*, 1974).

La marcada erraticidad observada en la respuesta y rendimientos de este cultivo, frutos de una estrecha y compleja dependencia de los factores ambientales, hacen que la tarea de evaluar el grado de riesgo asociado a su producción sea, por lo general, ardua.

La problemática de la producción de maíz en relación con el uso de los fertilizantes nitrogenados constituye el foco sobre el cual se han centrado los objetivos de este trabajo, el primero de los cuales consiste en caracterizar la modalidad de respuesta del cultivo en el área de la Pampa Ondulada. Un objetivo intermedio, como es el análisis y la comprensión de algunos factores y mecanismos determinantes de tal comportamiento, servirá para elaborar mediante técnicas de análisis multivariado modelos que permitan explicar y predecir los niveles de producción y respuesta mediante un número reducido de variables de manejo y de sitio (Mizuno *et al.*, 1985).

MATERIALES Y METODOS

La red de ensayos del Programa de Investigación Experimental sobre fertilización del cultivo de maíz abarcó durante las campañas agrícolas 1980/81 a 1983/84 diferentes localidades de la Pampa Ondulada, coincidiendo en forma bastante aproximada con la denominada "zona núcleo maicera". Los experimentos de campo, diseñados a los fines de recoger la información necesaria, fueron conducidos en suelos pertenecientes a diferentes series. La información referente a

este tópico ya ha sido presentada en la primera parte de este trabajo.

Las variables estudiadas han sido agrupadas en cuatro categorías (Cuadro 1):

a) Variables de manejo o culturales

El cultivo antecesor inmediato (girasol, maíz, soja o trigo) y el tipo de labor principal empleada en la preparación del lote (arado de reja y vertedera o de cinceles) constituyen las dos únicas variables cualitativas estudiadas. El material genético empleado en los ensayos no constituyó una variable en estudio. Este grupo de variables se completa con otras de tipo cuantitativas, éstas son: años de agricultura continuada (AA); días de barbecho a contar desde la primera labor (DB₁) o desde la primera labor profunda (DB₂); fecha de siembra (FS) que representa los días transcurridos entre el 25 de setiembre y dicho evento y densidad de plantas logradas a cosecha (D_c).

b) Variables meteorológicas

Se estudiaron aquellas variables relacionadas con la disponibilidad de agua por parte del cultivo. A lo largo de los ensayos fueron delimitados 6 períodos y en ellos consideradas las precipitaciones pluviales ocurridas. Surgen así las lluvias en el barbecho (P₀); lluvias desde 90 días presiembrados (P₉₀); lluvias desde emergencia a 8-9 hojas (P₁); lluvias desde 90 días presiembrados a 4-6 hojas (P_{1'}); desde 8-9 hojas a grano formado (P₂) y desde grano formado a madurez fisiológica (P₃).

c) Variables edáficas

Se ha enfocado el tema de la fertilidad química de los suelos a través de variables que miden el contenido de diferentes formas de carbono y nitrógeno orgánicos y de formas de nitrógeno disponibles para los culti-

CUADRO 1: Lista de variables, símbolos y unidades empleados.

Símbolo	Variable	Unidad de medición
AA	Años de agricultura continua desde la última pradera.	Años
DB ₁	Días de barbecho a contar desde la primera labor.	Días
DB ₂	Días de barbecho a contar desde la primera labor profunda.	Días
Dc	Densidad de plantas logradas al momento de cosecha.	x 10 ⁴ plantas ha
FS	Fecha de siembra (lapso transcurrido entre el 25/9 y la siembra).	Días
P ₀	Precipitaciones ocurridas durante el barbecho (DB ₁).	mm
P ₉₀	Precipitaciones ocurridas desde 90 días antes de la siembra.	mm
P ₁	Precipitaciones ocurridas desde siembra a "8-9 hojas".	mm
P _{1'}	Precipitaciones ocurridas desde 90 días pre-siembra a "4-6 hojas".	mm
P ₂	Precipitaciones ocurridas desde "8-9 hojas" a "grano formado".	mm
P ₃	Precipitaciones ocurridas desde "grano formado" a madurez fisiológica.	mm
CT	Contenido de carbono orgánico total en la capa de 0-20 cm.	% C
CS	Contenido de carbono orgánico sobrenadante (0-20 cm).	% C
NT	Contenido de nitrógeno orgánico total (0-20 cm).	% N
NH	Contenido de nitrógeno hidrolizable (0-20 cm).	ppm N
N ₁ ⁰	Contenido de nitrógeno potenc. mineralizable (2-4 semanas) 0-20 cm.	ppm NO ₃
N ₂ ⁰	Contenido de nitrógeno potenc. mineralizable (4-8 semanas) 0-20 cm.	ppm NO ₃
N ₃ ⁰	Contenido de nitrógeno potenc. mineralizable (2-8 semanas) 0-20 cm.	ppm NO ₃
NO ₃ ^{2s}	Cantidad de nitratos producidos por incubación durante 14 días a 30°C.	ppm NO ₃
NO ₃ ^{SI}	Concentración de nitratos en la capa de 0-20 cm a la siembra.	ppm NO ₃
NO ₃ ^{SI}	Concentración de nitratos en la capa de 20-40 cm a la siembra.	ppm NO ₃
NO ₃ ^{SI}	Concentración de nitratos en la capa de 40-60 cm a la siembra.	ppm NO ₃
NO ₃ ^{SI}	Concentración de nitratos promedio en 0-40 cm a la siembra.	ppm NO ₃
NO ₃ ^{SI}	Concentración de nitratos promedio en 0-60 cm a la siembra.	ppm NO ₃
NO ₃ ^{CI}	Concentración de nitratos en la capa de 0-20 cm a las "4-6 hojas".	ppm NO ₃
NO ₃ ^{CI}	Concentración de nitratos promedio en 0-40 cm a las "4-6 hojas".	ppm NO ₃
NO ₃ ^{CI}	Concentración de nitratos promedio en 0-60 cm a las "4-6 hojas".	ppm NO ₃
RT	Rendimiento promedio del tratamiento testigo (0 kg N/ha).	kg grano ha
RR	Rendimiento relativo correspondiente a la primera dosis de fertilizante.	
EID	Eficiencia de conversión correspondiente a la primera dosis de fertilizante.	kg grano kg N

vos en forma inmediata (Zourarakis y Barberis, 1983).

Las variables de capacidad están representadas por el porcentaje de carbono total (CT), porcentaje de carbono sobrenadante (CS), porcentaje de nitrógeno total (NT), nitrógeno hidrolizable por destilación alcalina (NH), nitrógeno potencialmente mineralizable (NO) y nitrógeno liberado como nitratos en los primeros 14 días de incubación a 30° centígrados y capacidad de campo (NO_3^{S}).

Las variables de intensidad, específicamente concentración de nitratos, merecieron un estudio más detallado, ya que en trabajos anteriores se había demostrado la necesidad de considerar la variabilidad vertical y temporal de dicho parámetro (Zourarakis, 1983). Fueron medidas a la siembra y cuando los cultivos tuvieron 4-6 hojas las concentraciones de nitratos en las capas de suelo de 0-20 cm; 20-40 cm y 40-60 cm (NO_3^{SI} a $\text{NO}_3^{\text{SIII}}$ y NO_3^{CI}). Con estos valores se elaboraron promedios para las capas de 0-40 cm y 0-60 cm (NO_3^{SIV} , NO_3^{SV} , NO_3^{CII} y $\text{NO}_3^{\text{CIII}}$).

d) Variables de producción y respuesta

Se consideraron el promedio de rendimientos correspondientes al tratamiento testigo (RT) y el rendimiento relativo (RR) y la eficiencia de conversión a la primera dosis (E1D). La dosis promedio fue de 43,9 kg/ha calculada a través del total de ensayos.

Las diferentes poblaciones correspondientes a cada campaña y al total de ensayos, como así también a las subpoblaciones generadas al descontar los casos en que la soja era el cultivo antecesor inmediato, fueron caracterizadas a través de promedios, promedios ponderados y coeficientes de variación.

Para el estudio de correlación lineal simple y la selección de variables significativas se sometió al conjunto de datos a un procedimiento Stepwise (Abril, 1979; Draper-Smith, 1966).

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización del conjunto de datos a través de promedios y coeficientes de variación

En el Cuadro 2 se presentan los promedios, general y ponderado, y los coeficientes de variación correspondientes a las poblaciones total (31 casos) antecesor "no soja" (23 casos) y antecesor "soja" (8 casos).

Se aprecia que las variables presentan un grado de variabilidad tal que permiten emprender un análisis estadístico primario. En el caso de las variables culturales los coeficientes de variación oscilaron entre 12,8 (D_c) y 67,7 por ciento (FS), mientras que para las variables meteorológicas los extremos estuvieron representados por P_1 y P_3 con 23,7 y 57,3 por ciento, respectivamente. Dentro de las variables edáficas las de intensidad fueron las que presentaron más variabilidad (43,0 y 57,4 por ciento para NO_3^{SII} y NO_3^{SIV} , respectivamente). Las variables de capacidad raramente excedieron el 30 por ciento de coeficiente de variación, presentando desde un 11,2 a un 41,6 por ciento para CT y CS, respectivamente.

En cuanto a las variables de producción y respuesta se aprecia un marcado contraste en la variabilidad al pasar de RR a RT y a E1D (9,1; 26,0 y 91,8 por ciento de CV, respectivamente).

Al separar los casos que presentaron soja como cultivo antecesor inmediato, generando así dos subpoblaciones, se introduce una perturbación que causa un alejamiento de los promedios para un cierto número de variables.

Las situaciones provenientes de soja presentaron 11 años de agricultura continua, en tanto que en los casos "no soja" el promedio fue de 8. Las variables de capacidad total, CT, CS y NT, arrojan valores de 1,97; 0,269 y 0,167 por ciento, respectivamente, para la población "soja". Dichas variables tienen valores promedio de 2,20; 0,312 y 0,178 por

CUADRO 2: Promedios y coeficientes de variación correspondientes a cada población en estudio.

Población	AA	DB ₁	DB ₂	Dc	FS	P ₀	P ₉₀	P ₁	P _{1'}	P ₂	P ₃	CT	CS	NT	NH
Promedio campaña 1980/81	9	133	95	54	23	144	146	263	343	293	208	2,20	0,258	0,177	247
Promedio campaña 1981/82	7	116	75	58	17	89	56	194	224	140	238	2,31	0,409	0,185	260
Promedio campaña 1982/83	9	109	71	60	13	199	190	186	328	92	106	2,01	0,195	0,153	203
Promedio campaña 1983/84	11	103	76	50	19	93	82	179	253	109	372	2,06	0,358	0,189	227
Promedio ponderado campaña 1980/84	9	115	79	56	18	131	119	206	287	158	231	2,15	0,305	0,176	234
Promedio general población "total" (n = 31; 30)	9	115	78	56	18	136	122	202	286	148	216	2,14	0,301	0,174	233
Promedio general población "no soja" (n = 23; 22)	8	123	81	57	18	139	121	208	291	163	211	2,20	0,312	0,178	240
Promedio general población "soja" (n = 8)	12	92	69	55	15	127	124	184	273	104	228	1,97	0,269	0,167	212
Coev. var. población "total"	43,3	35,6	34,1	12,8	67,7	50,8	56,6	29,9	23,7	56,5	57,3	11,2	41,6	14,5	17,2
Coev. var. población "no soja"	41,4	34,0	34,4	10,4	65,3	53,1	61,9	29,6	24,4	56,1	46,3	10,9	41,7	14,3	17,8
Coev. var. población "soja"	31,5	32,1	31,6	19,1	78,0	43,9	42,1	30,3	21,6	23,1	82,1	7,3	41,4	13,6	10,5

ciento en el caso de la población "no soja".

A pesar de poseer menor duración promedio de barbecho la población "soja" frente a la "no soja" (92 días y 123 días para DB1, respectivamente), los valores de intensidad de nitrógeno son mayores en el primer caso, con 85,1 ppm NO_3^- a la siembra en capa arable, frente a 70,9 ppm NO_3^- , en el segundo caso. La situación se mantiene tanto para las otras profundidades estudiadas como así también para el segundo momento de muestreo.

Con respecto a los rendimientos del testigo (RT) se aprecian valores 5 por ciento menores aproximadamente, en la población "soja" en tanto que la eficiencia (E1D) y el rendimiento relativo (RR) adquieren valores similares en ambas poblaciones. El coeficiente de variación para E1D y RR es el doble en el caso de la población "no soja", lo que sugiere un mayor grado de riesgo en la obtención de respuestas.

Es menester señalar, sin embargo, que toda conclusión referente a la población "soja" en particular debe ser extraída dentro del contexto impuesto por el hecho de que tan sólo dos campañas contaron con un número de ensayos lo suficientemente elevados como para explorar el espacio de variables.

Durante las campañas 1980/81 y 1981/82 los casos con antecesor soja estuvieron virtualmente ausentes.

Asociación entre las diferentes variables

En los Cuadros 3 y 4 se presentan las matrices de significancia para los coeficientes de correlación lineal simple correspondientes a las principales variables estudiadas, en el caso de la población "total" y "no soja", respectivamente.

No sorprende la vinculación existente entre las variables de capacidad (CT, CS, NT y NH), por un lado y entre las variables de intensidad por el otro (NO_3^{I} y NO_3^{C} en todas sus formas). Se destaca asimismo, la asociación

entre las diferentes formas de estimar el N potencialmente mineralizable (N_1^{O} , N_2^{O} y N_3^{O}).

No se observa asociación alguna entre las variables de capacidad e intensidad ni entre duración del barbecho e intensidad. El vínculo entre una variable de manejo como años de agricultura y materia orgánica se torna evidente en la Figura 1 donde se ha optado por el ajuste hiperbólico.

Al considerar variables climáticas y edáficas, aparecen relaciones entre lluvias ocurridas en barbecho y contenido de nitratos en el perfil al comienzo del ciclo del cultivo. En la Figura 2 se aprecia la relación entre P_{90} y NO_3^{I} .

Al considerar a la población "total" surge algún tipo de relación entre las formas lábiles de carbono y nitrógeno (CS y N^{O}) y las lluvias ocurridas en la primera parte del ciclo del cultivo (P_1'). Es dable observar, asimismo, algún tipo de relación entre una forma de nitrógeno potencialmente mineralizable (N_2^{O}) con el tenor de nitratos inicial (NO_3^{SI} a $\text{NO}_3^{\text{CIII}}$). Estos vínculos desaparecen, en general, al pasar a la población depurada "no soja".

Estos dos tipos de relación explicarían, en caso de confirmarse, el pasaje de formas nitrogenadas lábiles a minerales, proceso que estaría condicionado sobre todo por la cantidad de humedad disponible más que por el tenor de sustrato orgánico en capa arable o por la duración del barbecho.

El modo en que están vinculadas las variables de producción y respuesta consideradas merece un comentario separado. Es evidente la asociación existente entre RT y RR, que arroja un coeficiente de correlación de signo negativo que fuera señalada en la primera parte del trabajo. En la Figura 3 se aprecia el ajuste de una ecuación hiperbólica al conjunto total de datos. RR y E1D están correlacionados en forma significativa y positiva.

Tanto las lluvias como las variables edá-

CUADRO 2: Promedios y coeficientes de variación correspondientes a cada población en estudio (continuación).

Población	N ₁ ^o	N ₂ ^o	N ₃ ^o	NO ₃ ^{2s}	NO ₃ ^{SI}	NO ₃ ^{SII}	NO ₃ ^{SIII}	NO ₃ ^{SIV}	NO ₃ ^{SV}	NO ₃ ^{CI}	NO ₃ ^{CII}	NO ₃ ^{CIII}	RT	RR
Promedio campaña 1980/81	924	643	759	66,5	53,5	31,0	20,5	42,3	35,0	46,9	40,7	37,3	7.008	1,072
Promedio campaña 1981/82	736	719	730	78,8	70,4	23,8	13,4	42,1	35,9	58,4	51,5	44,9	6.128	1,131
Promedio campaña 1982/83	890	1.038	968	102,4	75,6	50,0	27,6	63,1	51,0	104,6	80,0	64,8	5.851	1,078
Promedio campaña 1983/84	600	884	766	86,3	100,0	59,1	25,1	79,6	61,5	59,6	50,6	44,1	5.438	1,133
Promedio ponderado campaña 1980/84	788	821	806	83,5	74,9	41,0	21,6	56,8	45,9	67,4	55,7	47,8	6.106	1,104
Promedio general población "total" (n = 31; 30)	798	843	822	85,7	74,5	40,5	21,6	56,2	45,5	71,7	58,7	49,9	6.075	1,103
Promedio general población "no soja" (n = 23; 22)	830	827	826	83,3	70,9	36,0	20,3	52,1	42,4	68,3	56,9	48,9	6.160	1,107
Promedio general población "soja" (n = 8)	709	889	813	92,4	85,1	53,3	25,3	68,0	54,6	81,1	63,7	52,6	5.831	1,091
Coev. var. población "total"	29,7	25,4	22,8	27,2	48,9	57,4	55,8	43,0	45,8	54,6	50,5	45,7	26,0	9,1
Coev. var. población "no soja"	30,4	27,8	24,6	28,6	52,0	67,2	62,8	46,0	51,2	58,8	53,3	47,9	26,5	10,1
Coev. var. población "soja"	24,1	18,9	18,0	23,6	41,4	28,0	37,6	32,0	29,3	45,7	45,7	42,3	25,3	5,2

CUADRO 3: Matriz de significancia para los coeficientes de correlación lineal simple calculados para las variables más relevantes.

(n = 29)	AA	DB ₁	P ₀	P ₉₀	P _{1'}	P ₂	CT	CS	NT	NH	N ₁ ⁰	N ₂ ⁰	N ₃ ⁰	NO ₃ ^{2s}	NO ₃ ^{SI}	NO ₃ ^{SIV}	NO ₃ ^{SV}	NO ₃ ^{CI}	NO ₃ ^{CII}	NO ₃ ^{CIII}	RT	EID	RR	
AA	-					- xx-	(x)-														x-		x	
DB ₁		-- xx																				x		
P ₀			- xx	x(x)				xx-				(x) x						xx	x	x				
P ₉₀				-- xx				xx-	x-	x	x	x						xx	x	x				
P _{1'}					-						xx	xx											x-	x-
P ₂						-																x		
CT							-	xx	xx	xx												x	xx-	x-
CS								-	xx	xx														
NT									-	xx			x-										x-	
NH										-			x-											
N ₁ ⁰											-	x	xx											
N ₂ ⁰												-	xx	x	(x)	x	x	xx	x	x				
N ₃ ⁰													-					xx	x	x				
NO ₃ ^{2s}														-				x	x	x				
NO ₃ ^{SI}															-	xx	xx	xx	xx	xx	xx	x	xx-	xx-
NO ₃ ^{SIV}																-	xx	xx	xx	xx	xx	x	xx-	xx-
NO ₃ ^{SV}																	-	xx	xx	xx	xx	xx	xx-	xx-
NO ₃ ^{CI}																		-	xx	xx		xx-	xx-	
NO ₃ ^{CII}																			-	xx	x	xx-	xx-	
NO ₃ ^{CIII}																				-	xx	xx-	xx-	
RT																						-	xx-	xx-
EID																							-	xx
RR																								-

Población "total" (x: significativo al 5 por ciento; xx: significativo al 1 por ciento; -: coeficiente de signo negativo).

CUADRO 4: Matriz de significancia de los coeficientes de correlación lineal simple calculados para las variables más relevantes.

(n = 21)	AA	DB ₁	P ₀	P ₉₀	P _{1'}	P ₂	CT	CS	NT	NH	N ₁ ^o	N ₂ ^o	N ₃ ^o	NO ₃ ^{2a}	NO ₃ ^{SI}	NO ₃ ^{SIV}	NO ₃ ^{SV}	NO ₃ ^{CI}	NO ₃ ^{CII}	NO ₃ ^{CIII}	RT	EID	RR	
AA	--						x-	xx-		(x)									(x)-	x-	x-	x	x	
DB ₁		--	x																			x		
P ₀			--	xx	x			xx-										x						
P ₉₀				--	xx			xx-				x												
P _{1'}					--					xx	x	xx											x-	x-
P ₂						--																x		
CT							--	xx	xx	xx													xx-	x-
CS								--	xx	xx					x									
NT									--	x					x							x	xx-	x-
NH										--				x-										
N ₁ ^o											--	x	xx											
N ₂ ^o												--	xx					x						
N ₃ ^o													--											
NO ₃ ^{2a}														--										
NO ₃ ^{SI}															--	xx	xx	xx	xx	xx	xx	x	xx-	xx-
NO ₃ ^{SIV}																--	xx	xx	xx	xx	xx	x	xx-	xx-
NO ₃ ^{SV}																	--	xx	xx	xx	xx	xx	xx-	xx-
NO ₃ ^{CI}																		--	xx	xx		x-	x(x)-	
NO ₃ ^{CII}																			--	xx		x-	xx-	
NO ₃ ^{CIII}																					--	x	xx-	xx-
RT																						--	xx-	xx-
EID																							--	xx
RR																								--

Población "no soja" (x: significativo al 5 por ciento; xx: significativo al 1 por ciento; -: coeficiente de signo negativo).

CUADRO 5: Modelos de regresión explicativos del rendimiento del testigo (RT).

Variable dependiente	Población	Serie	Variables independientes	bi, ri (pasos)			
				A	B	C	D
Rendimiento del testigo (RT)	Total (n = 31)	I	Constante	-1.278,40 ^{NS}	-3.959,24 ⁺	-1.888,06 ^{NS}	
			ln (P ₂)	1.509,33 (0,460) ⁺⁺⁺	1.697,77 (0,577) ^{xx}	1.501,08 (0,543) ^x	
			NO ₃ ^{SV}	-	38,70 (0,573) ^{xx}	34,89 (0,549) ^x	
			AA	-	-	-107,07 (0,340) ⁺	
			R ² /R ² (%)	21,2 18,5	47,0 43,2	53,1 47,9	
No Soja ¹ (n = 23)	II	Constante	8.333,59 ^{xx}	6.792,11 ^{xx}	8.027,12 ^{xx}		
		1/P ₂	-276.379,67 (-0,599) ^x	-256.744,21 (-0,635) ^x	-234.937,58 (-0,623) ^x		
		NO ₃ ^{SV}	-	32,704 (0,540) ⁺⁺⁺	25,250 (0,446) ⁺⁺		
		AA	-	-	-142,490 (-0,374) ⁺		
		R ² /R ² (%)	35,9 32,8	54,6 50,1	60,9 54,8		
No Soja ² (n = 21)	III	Constante	8.356,48 ^{xx}	6.517,17 ^{xx}	5.200,79 ^{xx}	6.391,17 ^{xx}	
		1/P ₂	-268.513,10 (-0,600) ^x	-243.341,97 (-0,657) ^x	-347.678,17 (-0,776) ^{xx}	-316.542,16 (-0,767) ^{xx}	
		NO ₃ ^{SV}	-	38,724 (0,632) ^x	33,666 (0,640) ^x	28,569 (0,398) ⁺⁺⁺	
		NO ₃ ^{2s}	-	-	28,302 (0,550) ⁺⁺	24,858 (0,550) ⁺⁺	
		AA	-	-	-	-124,545 (-0,419) ⁺	
		R ² /R ² (%)	35,9 32,6	61,5 57,3	73,2 68,4	77,9 72,3	
Soja (n = 8)	IV	Constante	3.028,55 ⁺⁺				
		NO ₃ ^{III}	53,268 (0,803) ⁺⁺				
R ² /R ² (%)		64,5 58,6					
No Soja ¹ (n = 23)	V	Constante	8.333,59 ^{xx}	9.615,29 ^{xx}			
		1/P ₂	-276.379,67 (-0,599) ^x	-258.259,85 (-0,586) ^x			
		AA	-	-206,67 (-0,490) ^{xx}			
		R ² /R ² (%)	35,9 32,8	51,3 46,4			

⁺ significativo al 10 por ciento
⁺⁺ significativo al 5 por ciento
⁺⁺⁺ significativo al 1 por ciento
^x significativo al 5 por mil
^{xx} significativo al 1 por mil

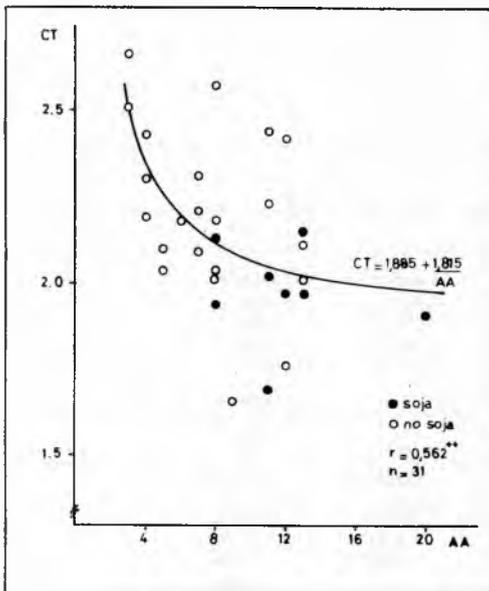


Figura 1: Contenido de carbono orgánico en capa arable (CT) y años de agricultura continuada (AA).

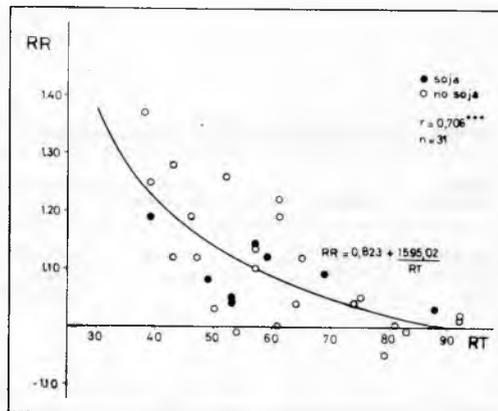


Figura 3: Rendimiento relativo a la primera dosis de N (RR) y rendimiento del testigo (RT).

ficas y algunas variables culturales parecen incidir por igual sobre RT y RR y E1D. Así RT y P₂, E1D y P₁^{*}, por un lado y CT, NT, todas las medidas de nitratos y E1D, RR y RT, por el otro, surgen como asociaciones consistentes. Es probable que DB₁ esté asociado a RT a través de las lluvias acumuladas durante ese lapso.

Análisis de regresión lineal múltiple

Se procedió, en esta etapa del trabajo, a explorar la posibilidad de construir modelos que puedan explicar la variabilidad de rendimientos y respuestas observada.

Las corridas del programa se efectuaron sobre 4 tipos de poblaciones: "no soja 1" y "no soja 2"; "soja" y "total". La división de la población no soja en dos subpoblaciones se debió a la ausencia de datos para algunas de las variables.

En el Cuadro 5 se proporcionan 4 modelos surgidos de considerar como variable dependiente al RT y diferentes subconjuntos de variables independientes en cada una de las mencionadas poblaciones. El modelo V se elaboró con variables culturales y climáticas.

Las lluvias ocurridas entre la etapa de "8-9 hojas" y la de "grano formado" parece

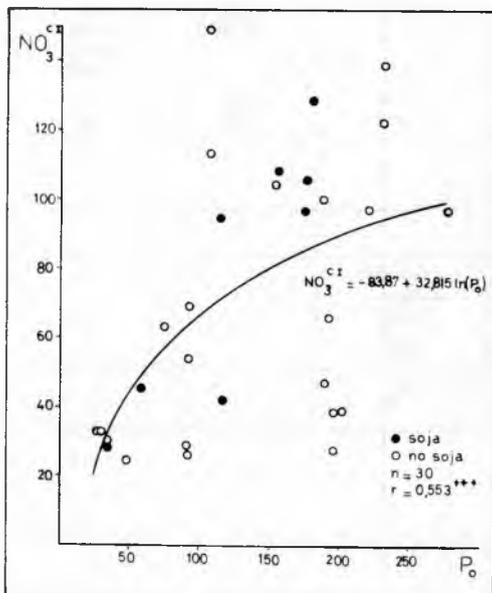


Figura 2: Contenido de nitratos en capa arable cuando el cultivo tiene 4-6 hojas (NO₃) y precipitaciones ocurridas desde 90 días pre-siembra y siembra (Pg).

ejercer una influencia importante y constante, ya que fue la primera variable en entrar a las ecuaciones de regresión en 4 de los 5 modelos presentados. En todos los casos la relación es curvilínea y las variables que entran en segundo lugar, y completando modelos de 51,3 a 77,9 por ciento de coeficiente de determinación R^2 son del tipo edáfico (NO_3^{SV} = nitratos a la siembra en la capa 0-60 cm, $\text{NO}_3^{\text{CIII}}$ = nitratos en la etapa de "4-6 hojas" en la capa 0-60 cm y NO_3^{2S} = nitratos producidos durante 14 días de incubación) y culturales, como años de agricultura (AA).

Estos modelos tienen en común el carácter de ser más explicativos que predictivos en tanto P_2 permanece desconocida, cuando no impredecible, aún pasado el lapso en que es factible efectuar decisiones referentes a prácticas de fertilización, en caso de que el nivel de nitratos y la historia del lote así lo aconsejasen.

En la Figura 4 son presentados los puntos y la curva de ajuste para el modelo I (a) correspondiente a la población "total" (31 casos), en tanto que la función calculada según el modelo II (c) para la población "no soja" ha sido empleada en la confección de la Figura 5. En ella se ha dado a "años de agricultura" (AA) el valor de su media poblacional, mientras que las curvas de nivel 1, 2 y 3 surgen de asignar valores arbitrarios a NO_3^{SV} (promedio poblacional en más o en menos el desvío estándar, para la variable sin transformar).

El rango observado para P_2 es entre 65 a 352 mm, y las funciones graficadas muestran comportamiento asintótico al acercarse a esos extremos.

El modelo V (b) alcanza valores de R^2 similares a aquellos obtenidos al reemplazar AA por NO_3^{SV} en el modelo II (b) y que oscilan alrededor del 55 por ciento. Es dable apreciar, asimismo, un aumento en el R^2 al pasar de la población "total" a las "no soja", manteniendo el número y tipo de variables independientes. La introducción de una me-

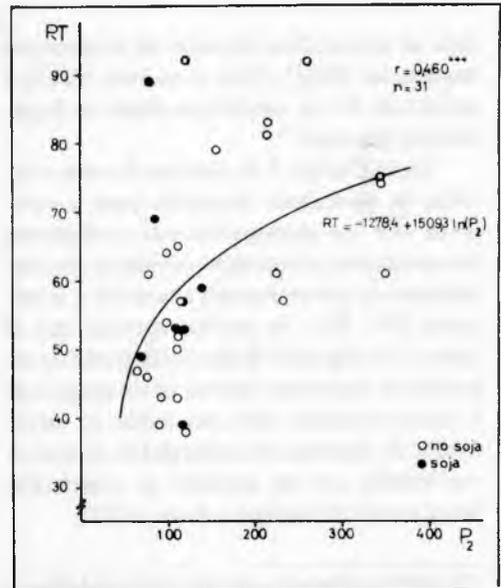


Figura 4. Rendimiento del testigo (RT) y lluvias ocurridas desde que el cultivo tiene 8-9 hojas hasta que el grano está formado (P_2).

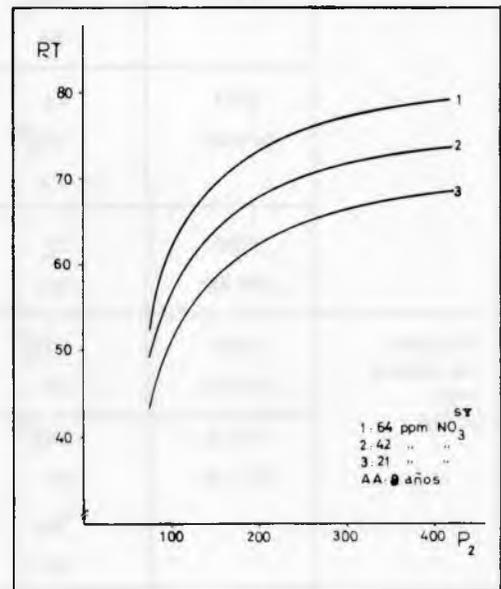


Figura 5: Modelo II (c) explicativo del rendimiento del testigo (RT). Población "no soja" con 23 casos.

didada de producción potencial de nitratos por incubación (NO_3^{25}) lleva al modelo III (d) a valores de R^2 de casi 80 por ciento en la población "no soja²".

En el Cuadro 5 se muestra la serie o familia de ecuaciones obtenidas paso a paso, junto con los correspondientes coeficientes de correlación y regresión parciales y los coeficientes de determinación absolutos y corregidos (R^2 , \bar{R}^2). Es posible apreciar que el signo y la magnitud de los coeficientes de regresión se mantienen dentro de un rango más o menos estrecho. Esto nos habla, en cierto modo, de ausencia de colinealidad, lo cual es confirmado por las matrices de correlación lineal simple (Chatterjee y Price, 1977).

En el Cuadro 6 se han volcado valores para las derivadas parciales de RT respecto de cada una de las variables incorporadas a los modelos finales, recurriendo al valor promedio de la variable transformada, cuando correspondiese. Se observan cifras de magnitud similar en el caso de P_2 (11,5; 14,5 y 14,7 kg grano/ha/mm) en los modelos I (c), II (c) y V (b) en tanto que NO_3^{SV} arroja valores distintos para los modelos I (c) y II (c): 34,89 y 25,25 kg grano/ha/ppm NO_3 . La variable AA presentó también diferencias según el modelo considerado: -107,1; -142,5 y -206,7 kg grano/ha/año.

La elaboración de modelos explicativos del rendimiento en maíz ha sido encarada

CUADRO 6: Derivadas parciales de las variables que componen los modelos.

Variable dependiente rendimiento	Modelo	Variables independientes	$\partial y / \partial x_i$
del Testigo (RT)	I (c) (n = 31)	P_2 NO_3^{SV} AA	11,49 kg grano/ha/mm 34,89 kg grano/ha/ppm NO_3 -107,07 kg grano/ha/año
	II (c) (n = 23)	P_2 NO_3^{SV} AA	14,53 kg grano/ha/mm 15,25 kg grano/ha/ppm NO_3 -142,49 kg grano/ha/año
	V (b) (n = 23)	P_2 AA	14,74 kg grano/ha/mm -206,67 kg grano/ha/año
Eficiencia a la primera dosis (E1D)	X (b) (n = 31)	NO_3^{SV} CT	-0,39 kg grano/kg N/ppm NO_3 -23,0 kg grano/kg N/% CT
	XI (d) (n = 23)	NO_3^{SV} CT P_{90} AA	-0,32 kg grano/kg N/ppm NO_3 -28,8 kg grano/kg N/% CT -0,0959 kg grano/kg N/mm 1,01 kg grano/kg N/año
	XIV (b) (n = 23)	P_1 AA	-0,10 kg grano/kg N/mm 1,98 kg grano/kg N/año

CUADRO 7: Modelos de regresión predictivos del rendimiento relativo a la primera dosis (RR).

Variable dependiente	Población	Serie	Variables independientes	bi, si (pasos)			
				A	B	C	D
Rendimiento relativo (RR)	Total (n = 31)	VI	Constante	0,9774 ^{xx}	1,3451 ^{xx}	1,6580 ^{xx}	1,4983 ^{xx}
			1/NO ₃ ^{SV}	4,6406 (0,597) ^{xx}	4,6543 (0,656) ^{xx}	3,9388 (0,600) ^{xx}	3,9569 (0,627) ^{xx}
			CT	-	-0,1719 (-0,513) ^x	-0,2128 (-0,600) ^{xx}	-0,1644 (-0,485) ⁺⁺⁺
			ln (P90)	-	-	-0,0447 (-0,381) ⁺⁺	-0,451 (-0,405) ⁺⁺
			AA	-	-	-	0,0066 (0,346) ⁺
			R ² /R ² (%)	35,6 33,4	52,6 49,2	59,5 55,0	64,3 58,8
	No Soja 1 (n = 23)	VII	Constante	0,9519 ^{xx}	0,5413 ^{xx}	0,3884 ⁺⁺	0,3946 ⁺⁺⁺
			1/NO ₃ ^{SV}	5,282 (0,633) ^x	4,9071 (0,674) ^{xx}	3,3834 (0,506) ⁺⁺	2,7443 (0,475) ⁺⁺
			I/CT	-	0,9162 (0,559) ⁺⁺⁺	1,0320 (0,638) ^x	0,8094 (0,579) ⁺⁺⁺
			I/P ₁	-	-	39,5166 (0,437) ⁺⁺	47,0775 (0,551) ⁺⁺
			AA	-	-	-	0,0114 (0,507) ⁺⁺
			R ² /R ² (%)	40,1 37,3	58,8 54,7	66,7 61,4	75,3 69,8
	No Soja 2 (n = 21)	VIII	Constante	0,9267 ^{xx}	0,8102 ^{xx}	1,0468 ^{xx}	1,0330 ^{xx}
			1/NO ₃ ^{SV}	6,1790 (0,691) ^{xx}	5,8556 (0,758) ^{xx}	3,9627 (0,674) ^x	3,8555 (0,714) ^{xx}
			AA	-	0,0168 (0,628) ^x	0,0219 (0,796) ^{xx}	0,0186 (0,768) ^{xx}
			P ₁	-	-	-0,0007 (-0,662) ^x	-0,0008 (-0,748) ^{xx}
			I/CS	-	-	-	0,0195 (0,495) ⁺⁺
			R ² /R ² (%)	47,8 45,0	68,4 64,9	82,2 79,1	86,6 83,2
	Soja (n = 8)	IX	Constante	0,8322 ^{xx}			
			1/NO ₃	204,6595 (0,834) ⁺⁺			
			R ² /R ² (%)	69,6 64,5			

CUADRO 8: Modelos de regresión predictivos de la eficiencia de la primera dosis (E1D).

Variable Dependiente	Población	Serie	Variables independientes	bi, ti (pasos)			
				A	B	C	D
Eficiencia a la primera dosis (E1D)	Total (n = 51)	X	Constante	-1,75 ^{NS}	35,06 ^x		
			1/NO ₃ ^{SV}	522,16 (0,591) ^{xx}	529,89 (0,681) ^{xx}		
			ln (CT)	-	-49,05 (0,602) ^{xx}		
			R ² /R ² (%)	34,9 32,7	58,5 55,6		
	No Soja 1 (n = 25)	XI	Constante	-5,64 ^{NS}	-60,02 ^{xx}	-76,07 ^{xx}	-76,07 ^{xx}
			1/NO ₃ ^{XV}	614,60 (0,645) ^{xx}	564,94 (0,716) ^{xx}	423,81 (0,620) ^x	365,80 (0,595) ⁺⁺⁺
			1/CT	-	121,34 (0,657) ^{xx}	151,68 (0,755) ^{xx}	136,04 (0,745) ^{xx}
			1/P ₉₀	-	-	482,96 (0,500) ^{xx}	576,81 (0,598) ⁺⁺⁺
			AA	-	-	-	1,01 (0,446) ⁺⁺
			R ² /R ² (%)	41,7 38,9	66,8 63,5	75,1 71,2	80,1 75,6
	No Soja 2 (n = 21)	XII	Constante	-8,13 ^{NS}	-60,48 ^{xx}	-75,51 ^{xx}	-73,23 ^{xx}
			1/NO ₃ ^{SV}	701,17 (0,687) ^{xx}	619,17 (0,736) ^{xx}	479,71 (0,658) ^x	440,28 (0,693) ^x
			1/CT	-	118,27 (0,654) ^x	147,04 (0,753) ^{xx}	119,76 (0,726) ^{xx}
			1/P ₉₀	-	-	462,89 (0,500) ⁺⁺	590,40 (0,651) ^x
			AA	-	-	-	1,32 (0,563) ⁺⁺
			R ² /R ² (%)	47,2 44,4	69,8 66,4	77,3 73,5	84,5 80,6
	Soja (n = 8)	XIII	Constante	-13,24 ^{NS}			
			1/N ₃ ^g	20.160,00 (0,741) ⁺⁺			
			R ² /R ² (%)	55,0 47,4			
	No Soja 1 (n = 25)	XIV	Constante	-10,61 ^{NS}	-41,98 ⁺⁺⁺		
			1/P ₁	6.304,48 (0,469) ⁺⁺	7.523,27 (0,597) ^x		
			ln (AA)	-	13,85 (0,548) ⁺⁺⁺		
			R ² /R ² (%)	22,0 18,5	45,4 40,0		

por los autores de trabajos anteriores (Vivas *et al.*, 1980), por ejemplo, incluyen en su ecuación de regresión variables asociadas a las que componen las ecuaciones aquí presentadas.

En el Cuadro 7 aparecen los modelos correspondientes a RR. Se observa que NO_3^{SV} pasa a ser una variable decisiva, presente en las ecuaciones correspondientes a la población "total" y "no soja". Las restantes variables incorporadas hacen que los R^2 alcancen valores muy elevados, de hasta un 87 por ciento. Los R^2 más elevados, nuevamente, son los logrados en las poblaciones depuradas de los casos "soja" y con datos faltantes.

Las variables que entran en segundo lugar, CT o AA, miden tanto la capacidad de N como el estado general de fertilidad edáfica. Estas dos variables están presentes en los modelos en forma conjunta, pero nunca ingresan en forma consecutiva. En tercer lugar entran variables climáticas condicionantes de los rendimientos y respuestas a través de la producción de N mineral en la primera parte del ciclo del cultivo: P_{90} ó P_1' . El signo de los coeficientes de regresión, en este caso, contrariamente a lo esperado, es negativo. Es interesante, asimismo, notar la ausencia de variables desconocidas al momento de estar definido el abastecimiento futuro de N para el cultivo. Se entiende este período como el transcurrido hasta que el mismo tiene 4-6 hojas desarrolladas.

Al considerar las ecuaciones de regresión desarrolladas para la EID es posible comprobar que la estructura de los modelos es similar a la que se ha visto en el caso de RR (Cuadro 8).

NO_3^{SV} , CT y P_{90} aparecen como variables relevantes. Los modelos se completan con AA. Todas estas son variables perfectamente cognoscibles al momento de la siembra. En el modelo XIII (a) del mismo modo que ocurrió en el IX (a) se incorporó como única variable significativa el contenido de nitrógeno

potencialmente mineralizable para la población "soja".

Los R^2 son tan elevados como en el caso de RR, oscilando entre el 55 y el 85 por ciento, con excepción del modelo desarrollado con variables meteorológicas y culturales, que como siempre arroja un R^2 relativamente bajo, esta vez del 45 por ciento.

Esta homogeneidad en la elección de las variables independientes no sorprende, ya que como se había visto al analizar las matrices de correlación, RR y EID están asociados positivamente. La naturaleza eminentemente predictiva del contenido de nitratos al momento de la siembra ya había sido indicada por Bonel y Novello (1977), quienes desarrollaron un método de diagnóstico del incremento del rinde teniendo en cuenta dicho parámetro. Estos autores consideraron la capa de suelo de 0 a 15 cm en tanto que el proceso de selección de variables, aquí empleado, llevó a ingresar al contenido de nitratos promedio en los primeros 60 cm como primera variable.

En la Figura 6 se ha ajustado la función descripta por el modelo X (a) a los 31 puntos generados al graficar la eficiencia a la primera dosis (EID) en relación al contenido promedio de nitratos en los primeros 60 cm de suelo a la siembra (NO_3^{SV}). La Figura 7 grafica la función correspondiente al modelo XI (b) dándole valores promedio a las variables no consideradas (medias poblacionales sin transformar). Las curvas de nivel para CT se construyeron siguiendo la misma técnica que en los anteriores gráficos.

La relación entre EID y AA estando fija P_1' , y viceversa, aparece en las Figuras 8 y 9 donde emplea el modelo XIV (b). En estos 5 últimos gráficos se aprecia que la relación curvilínea entre la eficiencia y NO_3^{SV} , CT, P_1' , y AA adquiere forma asintótica hacia los valores extremos de estas variables.

Tanto en los modelos explicativos para RT como en los predictivos correspondientes

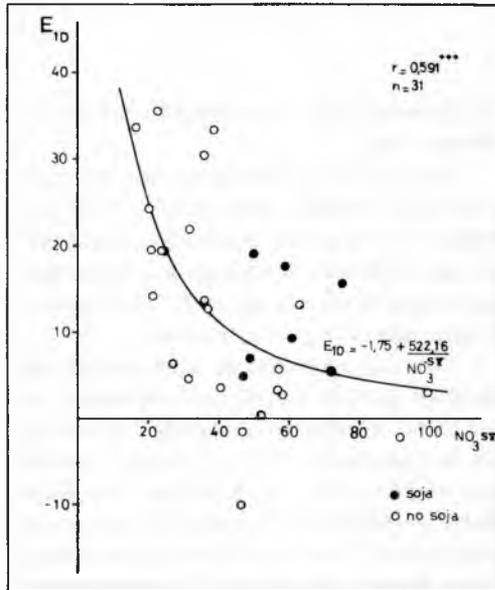


Figura 6: Eficiencia a la primera dosis de N (E1D) y concentración de nitratos a la siembra, promedio para los primeros 60 cm de suelo (NO_3^{SV}).

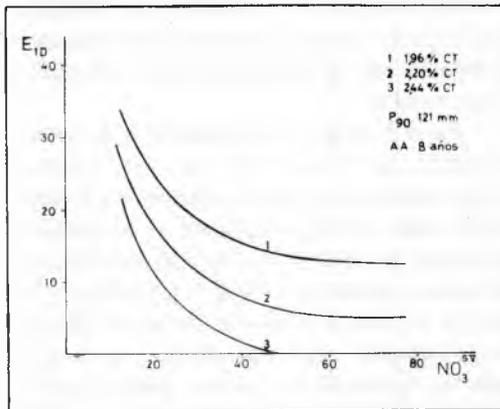


Figura 7: Modelo XI (d) predictivo de la eficiencia a la primera dosis (E1D). Población "no soja" con 23 casos.

a RR y E1D son seleccionadas variables del mismo tipo, cuando no las mismas. Las transformaciones preferidas son inversas y logaritmos y los signos, como era previsible, son contrarios.

En el Cuadro 6 se encuentran las derivadas parciales de E1D con respecto a las dife-

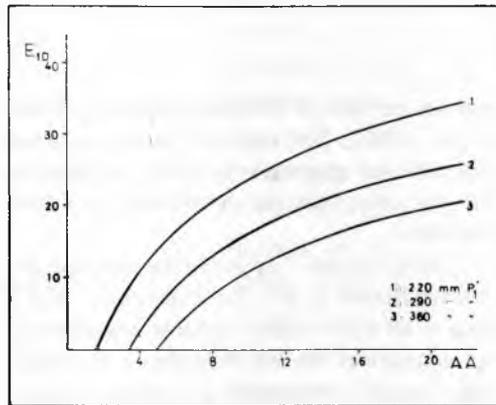


Figura 8: Modelo XIV (b) predictivo de la eficiencia a la primera dosis de N (E1D) y elaborado en base a variables climáticas y culturales. Población "no soja" con 23 casos. Efecto de los años de agricultura continuada (AA).

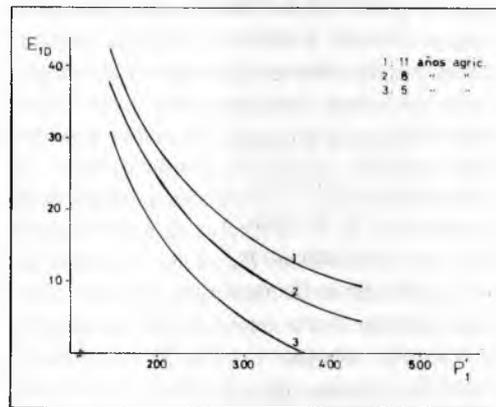


Figura 9: Modelo XIV (b) predictivo de la eficiencia a la primera dosis de N (E1D) y elaborado en base a variables climáticas y culturales. Población "no soja" con 23 casos. Efecto de las precipitaciones ocurridas desde 90 días pre-siembra y hasta 4-6 hojas (P_1').

rentes variables independientes. NO_3^{SV} posee una incidencia similar en ambos modelos X (b) y XI (d): $-0,39$ y $-0,32$ kg grano/kg N/ppm NO_3 . Lo mismo ocurre en el caso de CT en los mismos modelos: $-23,0$ y $-28,8$ kg grano/kg N/ $\%CT$. En relación a años de agricultura y lluvias P_{90} y P_1' , presentes en los modelos XI (d) y XIV (b) la variación en

CUADRO 9: Residuales absolutos y discrepancias porcentuales correspondientes a diferentes modelos estudiados. Promedios de variables independientes calculados para cada campaña.

(a) Rendimiento del testigo (RT) (Valores en kg/ha)								
Campaña	Población total (n = 31)				Población no soja (n = 23)			
	Observado	Modelo I (c)	Disc.	(%)	Observado	Modelo II (c)	Disc.	(%)
1980/81	7.008	6.897	-111	-1,6	7.008	6.836	-172	-2,5
1981/82	6.128	5.967	-161	-2,6	6.185	6.295	110	1,8
1982/83	5.851	5.686	-165	-2,8	5.376	5.234	-142	-2,6
1983/84	5.438	6.078	640	11,8	5.968	6.316	348	5,8

(b) Eficiencia a la primera dosis (Valores en kg grano/kg N)								
		X (b)				XI (d)		
1980/81	7,77	12,69	4,92	63,3	7,77	10,27	2,50	32,2
1981/82	15,11	14,12	-0,99	-6,6	14,55	14,34	-0,21	-1,4
1982/83	10,92	12,47	1,55	14,5	12,75	12,47	-0,28	-2,2
1983/84	15,28	9,26	-6,02	-39,4	15,25	11,60	3,65	23,9

E1D nuevamente es homogénea dentro de cada variable: 1,00 y 1,98 kg grano/kg N/año y -0,0959 y -0,10 kg grano/kg N/mm, respectivamente.

En una etapa final y a modo de somero análisis de residuales, se presentan en el Cuadro 9 los valores observados y estimados para los promedios anuales de RT y E1D a través de los modelos estudiados. Las ecuaciones fueron alimentadas con promedios de variables transformadas, donde ello correspondiese.

Se aprecia un buen ajuste para RT en tanto que el observado para el E1D es aceptable. Las discrepancias porcentuales oscilan para el primer caso entre 11,8 y -2,8; y para el segundo entre 63,3 y -39,4.

Los modelos II (c) y XI (d) presentan la menor desviación promedio de los valores observados, lo que sumado a los R² correspondientes lleva a considerar a estas ecuaciones como aptas para explicar RT y predecir E1D.

CONCLUSIONES

Información producida a partir de 31 ensayos de fertilización nitrogenada en maíz desarrollados durante las 4 últimas campañas agrícolas fue sometida al análisis estadístico. En una primera etapa de caracterización, las medias aritméticas y los coeficientes de variación de las 30 variables consideradas mostraron la existencia de tendencias definidas.

Las variables meteorológicas y edáficas relacionadas con la intensidad de nitrógeno presentaron los mayores coeficientes de variación entre las variables de sitio. La eficiencia y el rendimiento relativo a la primera dosis (43 kg N/ha, en promedio) presentaron el mayor y menor coeficiente de variación, respectivamente, entre las variables de producción y respuesta.

Al efectuar una separación de las poblaciones en relación al cultivo antecesor, las medias correspondientes a las variables culturales y edáficas asociadas mostraron un aleja-

miento. Entre las primeras estuvieron años de agricultura y duración del barbecho y entre las últimas carbono y nitrógeno total, carbono sobrenadante y nitratos en la primera porción del ciclo.

Al efectuar el análisis de correlación simple entre las principales variables en estudio, pudieron detectarse grupos de variables asociadas entre sí: CT, NT, NH y CS, por un lado y todas las medidas de nitratos, por el otro. No fue dable observar vinculación entre ambos grupos de variables aunque sí fue posible hallar asociación negativa entre años de agricultura y CT y positiva entre lluvias en barbecho y contenido de nitratos.

El rendimiento del testigo, la eficiencia y rendimiento relativo a la primera dosis mostraron asociación con numerosas variables, ya mencionadas, RT, E1D y RR presentaron, asimismo, una estrecha interrelación.

El procedimiento Stepwise, empleado para la selección de variables significativas, generó familias o series de modelos para cada una de las poblaciones estudiadas. En dichas series el orden de ingreso de las variables mostró la existencia de un mecanismo subyacente susceptible de ser explicado en términos agronómicos.

Las ecuaciones explicativas del rendimiento del testigo (RT) llevan incorporadas las precipitaciones ocurridas entre 8-9 hojas y grano formado (P_2) como principal variable. El número de años de agricultura y el contenido promedio de nitratos a la siembra en los primeros 60 cm de suelo ingresan para completar modelos que llegan a un R^2 de 53 a 60 por ciento. Otras variables asociadas a estas, como nitratos presentes hasta 60 cm en la etapa de 4-6 hojas y nitratos producidos en 14 días de incubación, son seleccionadas en el caso de poblaciones extremas ("soja" y "no soja" reducida).

Los modelos predictivos, susceptibles de ser empleados para el diagnóstico de la respuesta tanto relativa (RR) como absoluta (E1D) presentan como variables independientes a los nitratos a la siembra hasta 60 cm de profundidad ($\text{NO}_3^{\text{S V}}$), contenido de carbono orgánico en capa arable (CT), lluvias ocurridas desde 90 días antes de la siembra (P_{90}) o hasta 4-6 hojas ($P_{1\cdot}$) y años de agricultura (AA). Los R^2 correspondientes a las pobla-

ciones "no soja" son los más elevados (75 a 87 por ciento).

BIBLIOGRAFIA

- 1) Abril, J. C., 1979. Programa de regresión múltiple. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Económicas. Instituto de Investigaciones Estadísticas. *Nota* No 20, 13 pp.
- 2) Berardo, A.; J. P. Culot; N. A. Darwich y J. A. Duarte, 1974. Evaluación del potencial de producción y de la respuesta a la fertilización del cultivo de maíz en los partidos de Gral. Alvarado, Gral. Pueyrredón y Balcarce. II Reunión Nacional de Fertilidad y Fertilizantes. *Actas*. Sociedad Científica Argentina. Buenos Aires.
- 3) Bonel, J. A.; R. Novello; R. I. Legasa; B. L. Masiere y G. Ayub, 1977. Métodos de diagnóstico para el asesoramiento técnico de fertilización nitrogenada del trigo y del maíz. III Reunión Nacional de Fertilidad y Fertilizantes. *Actas*. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires.
- 4) Chatterjee, S. and B. Price, 1977. Analysis of Collinear data. Chapter 7 of *Regression Analysis by example*. J. Wiley and Sons. New York.
- 5) Draper, N. R. and H. Smith, 1966. *Applied regression analysis*. J. Wiley and Sons. New York.
- 6) Novello, R. B. L. Masiere; M. A. Peretti y J. A. Bonel, 1979. Evaluación de la respuesta del cultivo de maíz a la fertilización ante distintos niveles de factores de productividad que afectan sus rendimientos. *Informe Técnico* No 100. EERA. INTA Marcos Juárez.
- 7) Puricelli, C. A.; P. Novello; J. A. Bonel y M. Zanelli, 1965. Pruebas de fertilización de maíz en la Región Maicera Central Norte. *Informe Técnico* No 5. EERA. INTA Marcos Juárez.
- 8) Senigagliaesi, C.; R. J. García y M. Galetto, 1979. Respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz en diferentes alternativas de cultivos. *Carpeta de Producción Vegetal*. Tomo II. EERA. INTA Pergamino.
- 9) Vivas, M.; R. Moresco; S. Cambaulo y O. Quaino, 1980. Evaluación de los rendimientos de maíz fertilizado en relación con distintos factores de productividad. Novena Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. *Actas*, Tomo II, pp. 549-561. Paraná (Entre Ríos).
- 10) Zourarakis, D., 1983. Evolución del contenido de nitratos en un arjuidol bajo cultivo de maíz. *Ciencia del Suelo*. 1 (1): 53-63.
- 11) 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*. 4 (2): 191-211.