

FERTILIZACION NITROGENADA DEL TRIGO EN EL SUDOESTE BONAERENSE I. RESPUESTA FISICA Y DIAGNOSTICO

Tomás Loewy

Estación Experimental Agropecuaria Bordenave INTA.
Casilla de Correo 44. 8187 Bordenave. Provincia de Buenos Aires.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue aportar información para el diagnóstico de la fertilización nitrogenada del trigo y el empleo eficiente del insumo, en los sistemas productivos del sudoeste bonaerense.

Entre los años 1980-85 se implementaron 31 ensayos de fertilización en trigo, principalmente sobre lotes pertenecientes a productores del área. Los suelos empleados incluyeron Haplustoles, Argiustoles, Hapludoles y Argiudoles. El diseño utilizado fue de bloques completos con parcela dividida, en franjas. Los tratamientos fueron dosis (30 a 90 kg de N/ha) y épocas de aplicación del N (siembra o macollaje). Los subtratamientos, de fertilización fosfórica, consistieron en 16 kg de P/ha (SPT-PDA) y testigo. La unidad experimental fue de 34 m². Se emplearon los cultivares Chasicó INTA, Cochicó INTA y Klein Chamaco.

En 2/3 de los casos se logró una respuesta significativa al nitrógeno. Para una dosis moderada (37 kg de N/ha) la eficiencia promedio con baja disponibilidad de P, la eficiencia del N aplicado se redujo aproximadamente en un 33 %. Las precipitaciones en septiembre, fueron las de mayor asociación con la respuesta del trigo al fertilizante ($r^2 = 0,70$), determinando entre un 70 y 80 % de la eficiencia del N aplicado. Cuarenta mm de lluvia en este período, constituiría un umbral "crítico" para la rentabilidad de la práctica. Utilizando este criterio el riesgo económico se puede reducir en el orden del 30 %. Otra variable a considerar, con valor predictivo de respuesta, es la "historia" reciente del lote (presencia o no de leguminosas). La necesidad de estudios más específicos sobre la distribución de lluvias, agua en el suelo y su utilización, se desprende de los resultados de esta experiencia.

Palabras clave: trigo, fertilización, nitrógeno.

NITROGEN FERTILIZATION OF WHEAT IN SOUTHWESTERN BUENOS AIRES PROVINCE I. YIELD RESPONSE AND DIAGNOSIS

ABSTRACT

The objective of this work was to contribute information for the diagnosis of N fertilization in wheat and efficient use of N fertilizer in the productive systems of southwestern Buenos Aires province.

Between 1980 and 1985, 31 experiments of wheat fertilization were set up, mainly in farmers' fields. The soils included Haplustolls, Argiustolls, Hapludolls and Argiudolls. The design was complete blocks with divided plots (in strips). The treatments were N dosis (30 to 90 kg/ha) and time of application (sowing or tillering). The sub-treatments -of P fertilization- consisted of 17 kg P/ha (TSP, DAP) and check. The experimental unit was 34 m². The following wheat varieties were used: Chasicó INTA, Cochicó INTA and Klein Chamaco.

In two thirds of the cases a significant response to N fertilizer was obtained. For a moderate dosis (37 kg N/ha), the average efficiency was 12, irrespective of time of application. In soils with low P availability, efficiency of applied N was reduced approximately by 33 %. Rainfall in September gave the best association with yield response to fertilizer ($r^2 = .70$) accounting for 70-80 % of its efficiency. During this month 40 mm of rainfall would be a critical level for fertilization profitability. Using this criterion, economic risk may be reduced by about 30 %. Another factor to be considered with predictive value of response is plot recent history (with or without legumes). The need of more specific studies on rainfall distribution, soil water and its efficient use arises from the results of this experience.

Key words: wheat, fertilization, nitrogen.

INTRODUCCION

El SO de la provincia de Buenos Aires, con aproximadamente un millón de ha sembradas por año aporta un 15 % a la producción nacional de trigo, (EEA Bordenave, 1985). En esta zona predominan las tierras con aptitud ganadero-agrícola, en rotación (Musto, 1983). El sistema mixto de producción, sin embargo, no emplea una proporción de leguminosas suficiente como para realizar un significativo aporte de nitrógeno a los demás cultivos. El trigo, en consecuencia, muestra serias deficiencias en la nutrición de este elemento esencial (Loewy y Seewald, 1980).

Históricamente el uso de fertilizantes en cultivos extensivos ha sido muy bajo en la Argentina. Con la reglamentación de la Ley 20.496, de promoción al uso de fertilizantes (1984) y los planes de canje promovidos oficialmente para el cultivo de trigo, se inicia una incorporación gradual de esta tecnología. Actualmente la fertilización nitrogenada se plantea, en el área, como un recurso complementario al uso de leguminosas.

La EEA Bordenave desarrolló experiencias con fertilizantes en el período 1963-77 (Glave y Puricelli, 1980) determinándose la prioridad en las respuestas al nitrógeno. Más recientemente la Cátedra Cereales y Oleaginosas (UNS) condujo ensayos en la zona cercana a Bahía Blanca, con menor intervalo de dosis (25-30 kg/ha) y aplicación del nitrógeno exclusivamente en macollaje (Cantamutto, et al., 1986).

El objetivo del presente trabajo es aportar información para el diagnóstico de la respuesta a la fertilización nitrogenada del trigo y el empleo eficiente del insumo, en los sistemas productivos del SO bonaerense. En otra publicación (Loewy, 1990) se discute el efecto de la aplicación de nitrógeno sobre la calidad del grano.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio se halla comprendida entre las isohietas de 500 y 700 mm. Una línea cercana a la isohieta de 650 mm divide el área en los subórdenes Ustoles, al O y Udoles, al E (Moscatelli et al., 1980) (Fig. 1). El clima se define como templado, subhúmedo al NE y en transición a semiárido al SO. En el período 1928/84 la lluvia media anual, en Bordenave, fue de 630 mm, con una fuerte tendencia creciente en los últimos 15 años. La concentración de precipitaciones ocurre en otoño y primavera. La temperatura media anual es de 15° C y la frecuencia media de heladas es de 245 días (Glave, 1975; Puricelli, 1981; EEA Bordenave, 1985).

denave, 1985).

Entre 1980 y 1985 se implantaron 31 ensayos de fertilización en trigo, principalmente en lotes pertenecientes a productores. Los suelos empleados incluyeron Hapludoles/Argiudoles, al E y Haplustoles/Argiustoles, al O. Los sitios con menos de 50 cm de profundidad fueron descartados. El diseño utilizado fue de bloques completos con parcela dividida en franjas. La unidad experimental fue de 34 m².

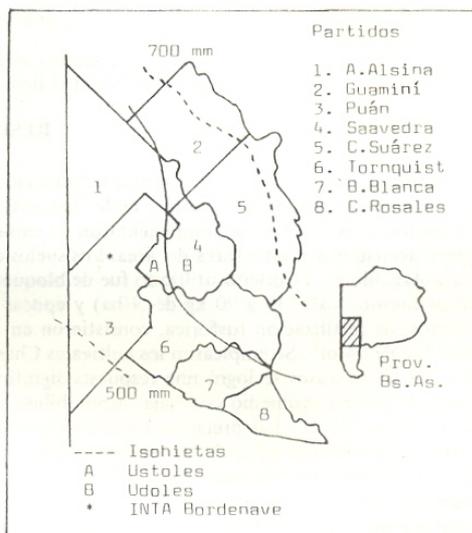


Fig. 1. Ubicación del área de estudio y delimitación de partidos.

Tabla 1. Epocas y dosis del nitrógeno aplicado (kg/ha).

época año	siembra	macollaje	siembra/ macoll.	n		
1980 y 81	40	80	— 40	— 40/40	6	
1982	40	80	120	40 80	— 5	
1983	20	50	70	20 50	20/20	6
1984 y 85	30	60	90	30 60	30/30	14

n: número de ensayos

Los tratamientos principales correspondieron a las dosis y épocas de aplicación del nitrógeno. (Tabla 1).

Las dosis y eficiencias medias se obtuvieron a través de un promedio ponderado. La respuesta a una dosis seleccionada, cuando fue necesario, se determinó por extrapolación de eficiencias en variaciones de 10 o menos kg de N/ha.

Hasta 1983 las subparcelas representaba 0 y 15 kg de P/ha como superfosfato triple. En 1984 y 85 se incorporó, además, una subparcela con 15 kg de P + 14,4 kg de N/ha, en forma de fosfato diamónico. La aplicación de fósforo se realizó en línea de siembra, mediante cajón fertilizador, mientras que el N se distribuyó manualmente —al voleo— en presiembra y/o macollaje. La preparación del suelo y cama de siembra fue realizada por el productor. Durante los dos primeros años fue empleada una sembradora de discos convencional continuando luego con el sistema de surco profundo. En todas las evaluaciones de rendimiento se utilizó una cosechadora experimental de parcelas (1,4 m de corte). Las variedades de trigo empleadas fueron Chasicó INTA (70 %), Cochicó INTA (15 %) y Klein Chamaco (15 %).

En la totalidad de los sitios se determinó materia orgánica (Walkley y Black) y fósforo disponible (Bray y Kurtz) en la capa arable de los suelos, y se incluyeron las precipitaciones mensuales. En una parte de los ensayos se registró el nivel de N-NO₃ (Bremner, 1965) y en algunos casos se especificó un uso previo del lote (diferencial).

En base a la información de 22 sitios-año (en 1984 se utilizó el promedio de ensayos contiguos, con diferente cultivar) se desarrollaron modelos lineales múltiples para 3 variables dependientes: rendimiento del testigo y respuesta a la fertilización (40 kg de N/ha) a la siembra o al macollaje. Las variables independientes para los 3 casos fueron: precipitaciones de agosto, septiembre, octubre y noviembre, lluvias totales, % de M O y P disponible en capa arable. Cálculos preliminares demostraron una baja asociación de las variables dependientes con las precipitaciones hasta la siembra (datos no presentados). La selección de variables a partir del modelo completo se realizó utilizando los criterios de Backward, Forward, Stepwise y C.P. de Mallows (Dráper y Smith, 1966). Se eliminaron 2 datos influyentes (testigos de 4.800 kg/ha), no representativos, que se comentan separadamente. Se realizó el análisis de residuales de los modelos originales (n = 20). Los problemas de ajuste detectados se intentaron superar a través de a) incorporación de interacciones entre las variables independientes originales, b) adición de términos cuadráticos y c) transformación de variables. Los nitratos y el uso previo del suelo se analizaron fuera de estos modelos debido al menor número de sitios evaluados.

RESULTADOS

a) Respuesta al nitrógeno según dosis y época de aplicación.

Sobre el total de ensayos un 65 % mostró respuesta significativa a la aplicación del fertilizante. No se observaron diferencias por la época de fertilización. Las eficiencias obtenidas se aprecian en la Tabla 2.

Tabla 2. Eficiencia del nitrógeno aplicado, en 28 ensayos de fertilización.

Dosis urea	kg/ha (1) N	época de aplicación	
		siembra	macollaje
80	37	12	12
150	69	8,7	—

(1) Promedios ponderados

Analizando 12 ensayos con igual dosificación y favorables condiciones climáticas (años 1984 y 1985) se verificó una respuesta lineal hasta los 90 kg/ha de nitrógeno. La eficiencia no fue modificada por la época de aplicación. El fraccionamiento de la dosis de 60 kg/ha, en cambio, la mejoró en dos puntos. Tabla 3.

Tabla 3. Eficiencia del nitrógeno según dosis (kg/ha) y épocas de aplicación. Años 1984 y 85. n = 12.

Dosis Epoca	30	60	90	30/30
siembra	16.8 a	12.4 b	12.1 b	14.3 ab
macollaje	17.0 a	12.5 b	—	—

Obs. Análisis global de los sitios. Letras distintas difieren al 5 %

b) Influencia de las lluvias, M O y P disponible de los suelos, sobre los rendimientos y respuesta al fertilizante.

Las variables utilizadas en el desarrollo de modelos lineales múltiples, sus unidades y caracterización se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Variables empleadas para los análisis de regresión. Años 1980 a 1985. n = 20.

Variable	Unidad	intervalo	media	SD	nota- ción
Rend. Testigo - Y	kg/ha	1179-3700	2266	659	T
Resp. siembra - Y	kg/ha	39-787	440	255	Δ S
Resp. macoll. - Y	kg/ha	45-816	463	273	Δ M
Materia Org. - X	%	1.3-5.2	3.1	0.99	M.O.
Fósforo disp. - X	ppm	2.5-25	13	5.99	P
Lluvia Agosto - X	mm	0 - 97	24	28	Ag.
Lluvia Sept. - X	mm	1 - 107	58	35	Sept.
Lluvia Oct. - X	mm	9 - 234	99	62	Oct.
Lluvia Nov. - X	mm	0 - 229	74	60	Nov.
Lluvias Tot. - X	mm	560 - 1221	850	170	Tot.

Nota: Los niveles de respuesta al fertilizante se refieren a una dosis de 40 kg de N/ha. En dos sitios, separados del análisis, los rendimientos del testigo y las lluvias entre agosto y noviembre duplicaron las respectivas medias del resto de los casos.

Los 4 criterios de selección utilizados coincidieron en las siguientes variables independientes, para los 3 modelos: 1) $T = f(M O \text{ y } P)$, 2) $\Delta S = f(\text{sept.})$ y 3) $\Delta M = f(\text{sept.})$. Previo a la exclusión de los dos datos extraños (n = 22), las variables independientes seleccionadas fueron las mismas para ΔS ΔM , mientras que las lluvias de agosto y septiembre desplazaron al P disponible para la explicación de T. En los 3 casos, el análisis de residuales reveló problemas de ajuste que fueron bastante atenuados al descartar los 2 puntos no representativos.

Los mejores ajustes logrados (n = 20) fueron:

$$T = 141,34 + 57,37 + 1296,98 \ln M O \quad R^2 = 0,37$$

$$\Delta S = 108,70 + 5,8 \text{ Sept.} \quad R^2 = 0,68$$

$$\Delta M = -24,98 + 17,68 \text{ Sept.} - 0,12 \text{ Sept.}^2 \quad R^2 = 0,71$$

Mientras que la producción del testigo se halló asociada a parámetros químicos del suelo, la respuesta al fertilizante fue regulada, en alto grado, por el nivel de las lluvias de septiembre. En el primer caso el P disponible y la M O explicaron, en conjunto, un 37 % de la variación de los rendimientos. En el segundo, la relación con las precipita-

ciones de este mes fue lineal y cuadrática cuando se aplicó el fertilizante a la siembra o al macollaje, respectivamente. Con la aplicación diferida hubo una disminución de la respuesta por encima de los 80 mm.

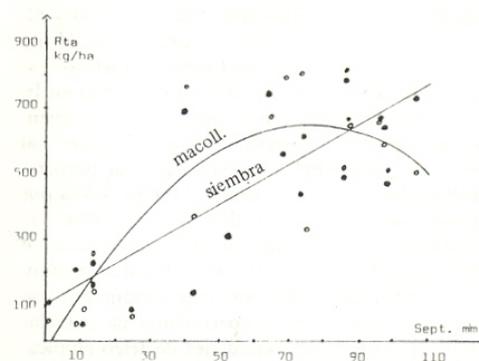


Fig. 2. Relación entre las lluvias de septiembre y la respuesta del trigo a 40 kg de N/ha, aplicados a la siembra (●) o al macollaje (○). n = 20.

Una comparación de las 2 épocas, en el intervalo 0 - 80 mm, dió rectas similares (pendientes 7 y 9 para siembra y macollaje.) Si bien no se puede afirmar estadísticamente que las pendientes sean diferentes, las repuestas para macollaje aparentan una mayor sensibilidad a las precipitaciones de septiembre que las obtenidas para la siembra.

c) Fertilidad nitrogenada del suelo y respuesta a la fertilización.

El nitrógeno disponible, en los años en que fue evaluado, no se relacionó con el nivel de respuesta al fertilizante. Este comportamiento contrastó marcadamente con el efecto de las lluvias, ya puntualizado. (Tabla 5)

Los suelos empleados, salvo 2 ó 3 casos, no registraron variaciones importantes en el uso previo como para explicar —por sí mismas— el carácter de la respuesta. Un ejemplo de la influencia del uso anterior de lote se puede apreciar en la Tabla 6.

En la E.E.A. Bordenave y en parcelas demostrativas de 1 ha, también se observó el efecto de los cultivos previos sobre la respuesta del trigo a la fertilización. Partiendo de un lote con "historia" común, se implementaron 3 sistemas productivos. El trigo sembrado en 1985 se fertilizó con N-P en la mitad de cada parcela. (Tabla 7)

Tabla 5. Relación de la eficiencia del fertilizante con el N de nitratos del suelo (presiembr) y con las lluvias. n = 9.

año	sitio	Eficiencia 40 kg N/ha	N de nitratos ppm; 0-60 cm	lluvia mm anual	sept.
1980	A. Venado	11,4	10	1132	53
1981	Casbas	6,4	14	961	43
1981	C. Mariano	3,3	12	581	1
1981	C. Mariano	1,0	7	581	1
1981	Bordenave	1,0	6	570	11
1981	Bordenave	2,4	5	570	11
1982	C. Suárez	16,0	6	968	98
1982	17 de Agosto	18,3	3	824	107
1982	A. Venado	18,6	8	794	65
Coef. correl. (r)		-	0,24	0,63	0,93
signific. estad. (%)			n.s	10	0,1

Tabla 6. Respuesta al fertilizante en dos ensayos con diferente uso anterior del suelo (Cabildo, año 1984).

Uso anterior del suelo	Rend. testigo kg/ha	Resp. a 40 kg de N/ha	lluvia mm
1982	1983	1984	1984
trigo	moha	3490	+ 550
avena/vicia	avena/vicia	4620	- 100
			700
			50

Tabla 7. Respuesta del trigo al fertilizante en 3 parcelas de la EEA. Bordenave. (Glave, inédito).

Uso ant. del suelo	Rend. testigo kg/ha	Respuesta * kg/ha	lluvia mm anual	sept.
1983	1984	1985	1985	1985
Trigo	Girasol	1180	1400	
Trigo	Trigo	1370	1060	965
Triticale	+ vicia	3870	- 130	

(*) a 78 kg de N más 16 kg de P/ha

d) Eficiencia del nitrógeno aplicado en relación a la fertilidad fosfórica del suelo.

Para estudiar este efecto se agruparon 8 ensayos que tenían en común una respuesta significativa a N-P. Sin la aplicación de fósforo, la eficiencia del nitrógeno fue relativamente baja y similar en las distintas dosis. Con la fertilización fosfórica (SPT), el nitrógeno aumentó su eficiencia en un 40 %. Los tratamientos más sensibles a la presencia de fósforo fueron 30 kg y 60 kg, fraccionado en siembra y macollaje (Fig. 3). El promedio de fósforo disponible (Bray y Kurtz) en los suelos fue de 12 ± 7 ppm.

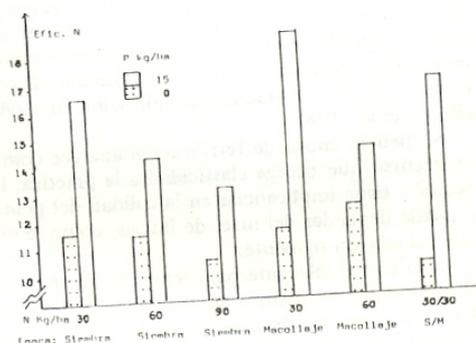


Fig. 3. Eficiencia diferencial del N aplicado al trigo. Según disponibilidad fosfórica, en ensayos con respuesta N-P. n = 8.

DISCUSION

a) Respuesta al nitrógeno según dosis, época de aplicación y fertilidad fosfórica del suelo.

Las respuestas significativas al nitrógeno se lograron en un 65 % de los casos. Este porcentaje podría mejorarse seleccionando años climáticamente favorables para la fertilización. La eficiencia obtenida en el conjunto de los ensayos, no obstante, puede considerarse muy buena (Tabla 2). El uso de variedades aptas para responder a los fertilizantes (Loewy et al., 1987) y una provisión asegurada de fósforo en la línea de siembra explican el comportamiento hallado. En las condiciones del productor, con buena tecnología en el cultivo, pueden esperarse eficiencias de 9 a 12 puntos, para dosis de 30 a 45 kg/ha. Estos valores se logran como promedio de 3 o más años y son comparables a los hallados en la pampa húmeda (Barberis et al., 1983a; Novello et al., 1986). Experiencias realizadas en el área, pero circunscriptas a un sector de

la zona ústica, arrojaron sólo un 50 % de los ensayos con respuesta al N. La eficiencia, computando sólo a los casos positivos, osciló entre 14 y 16 puntos, según dosis. (Cantamutto et al., 1986).

No se observaron variaciones de rendimiento por la aplicación del nitrógeno a la siembra o al macollaje. El contenido de proteína en grano, sin embargo, mejora con la fertilización tardía según información anterior (Loewy et al., 1987) y del presente estudio (Loewy, 1990). Si por razones climáticas o de otra índole se decide usar una dosis mayor a 50 kg/ha, el fraccionamiento puede ser una opción conveniente (Tabla 3). En Santa Fe (Oliveros) no se observó una respuesta distinta del trigo, por época o fraccionamiento del N aplicado (Bodrero y Macor, 1984). En la región O de las grandes planicies de EE.UU., actualmente se considera una alternativa válida la fertilización en primavera, frente a la tradicional aplicación en otoño (Russell et al., 1987).

Si bien la época de fertilización aparece como un recurso que otorga elasticidad a la práctica, la decisión tiene implicancias en la calidad del grano y puede depender del nivel de lluvias, como se verá en la sección siguiente.

Otro factor relevante para tener en cuenta es la disponibilidad de fósforo en el suelo. En 1980 se diagnosticaron deficiencias, según el método Bray y Kurtz, en el 50 % de los suelos del área (Loewy y Puricelli, 1982). En ensayos con respuesta N-P, el aumento de la eficiencia del nitrógeno —por fertilización fosforada— osciló entre un 40 y 60 %, en dosis de 30 kg/ha. Un efecto de magnitud similar fue hallado en experiencias realizadas por INTA Pergamino (Senigaglia et al., 1983): Este hecho implica la necesidad de contemplar una fertilización N-P en suelos con 15 o menos ppm de P (Bray y Kurtz).

b) Factores de sitio y respuesta al nitrógeno.

Para aumentar la eficiencia de la fertilización y reducir su riesgo económico se buscan ecuaciones de rendimiento y respuesta de los cultivos en función de factores de productividad. Los modelos aquí presentados fueron realizados a partir de experimentos no planificados para tal fin y las variables independientes no constituyen factores de crecimiento propiamente dichos. Existen variables "latentes" que no fueron medidas. Los parámetros utilizados, sin embargo, son de fácil obtención y las ecuaciones halladas representan modelos empíricos de aplicación práctica en la zona de estudio. A menudo los factores de crecimiento interaccionan entre sí (Laird y Cady, 1969). Los casos propuestos (sep. x oct., sept. x M O; M O x P, etc) em-

pero, no fueron seleccionadas porque no aportaban ninguna mejora de los modelos.

La relación de los rendimientos con las variables utilizadas generalmente se describe como cuadrática o exponencial (Melsted y Peck, 1977) y en el intervalo más bajo se pueden aproximar a una función lineal. Las ecuaciones de respuesta obtenidas siguen estas tendencias.

En la pradera pampeana se han diseñado o están en desarrollo diversos sistemas de diagnóstico para la fertilización nitrogenada del trigo. Para ello se utilizaron uno o más de los siguientes parámetros: nitrógeno de nitratos (en suelo y en plantas), humedad del suelo, lluvias en distintos períodos, años de agricultura, número de cultivos de escarada previos, cultivo antecesor, días de barbecho y tipo de cultivar empleado (Berardo et al., 1978; 1980; Bonel et al., 1978; Fagioli et al., 1982; Senigaglia et al., 1983; Barberis et al., 1983a y b; Novello et al., 1986). En este trabajo se ha evaluado el valor predictivo o interpretativo de las siguientes variables: materia orgánica y fósforo disponible (en el suelo) y nivel de lluvias en distintos períodos del año. Nitrógeno de nitratos en el suelo y uso previo del lote sólo se pudo estudiar en una fracción de los sitios.

1) Materia orgánica y fósforo disponible.

La cantidad de M O no tuvo relación con la respuesta al fertilizante pero explicó, conjuntamente con el P disponible, un 37 % de la variación de los rendimientos del testigo. El intervalo cubierto por las variables M O y P es adecuado para "anclar" el plano del modelo lineal propuesto. Si bien puede descartarse la colinealidad entre los dos parámetros, los coeficientes no deben considerarse en forma aislada por estar levemente correlacionadas entre sí. El comportamiento de la M O es común en parámetros de fertilidad potencial y registra antecedentes en otras áreas (Bonet et al., 1978; Barberis et al., 1983). El P disponible, además de su propio efecto (con déficit nitrogenado la respuesta no tiene lugar) puede relacionarse con variables tales como pH y profundidad del horizonte A (Loewy y Puricelli, 1982) entre otras. Es por esto que no existe una explicación agronómica simple para la ecuación de rendimiento del testigo aunque se puede especular ampliamente sobre la misma.

2) Lluvias.

El nivel de lluvias en septiembre fue el parámetro que tuvo más influencia sobre la respuesta

del trigo a la fertilización. Las precipitaciones en este mes, por otra parte, fueron las que mostraron mayor correlación con el milimetraje anual. La respuesta al N en macollaje tiende a decaer cuando la lluvia en este mes supera los 70-80 mm (Fig. 2). Para este nivel de precipitaciones podría suponerse la lixiviación de una parte del fertilizante, una vez nitrificado.

De acuerdo a la distribución pluvial en la zona y los requerimientos del trigo, el déficit mayor de agua se produce en octubre y noviembre (Paoloni y Vázquez, 1984). Los efectos del estrés hídrico sobre el rendimiento del trigo, sin embargo, varían según el estadio en que tienen lugar. La producción de grano tuvo una alta correlación con la deficiencia hídrica en el período septiembre-noviembre, según datos extraídos de la EEA Bordenave (Donnari y Mormeneo, 1987). Diversos trabajos destacan la incidencia de una buena provisión de agua, en las etapas previas a anthesis, sobre el rendimiento final (Fischer et al., 1977; French y Schultz, 1984a y Rickert et al., 1987). Para el SO bonaerense, las lluvias de septiembre parecen tener una influencia decisiva en la fijación del potencial reproductivo del trigo (Nº de espigas x Nº de espiguillas). Una experiencia previa en la zona determinó que las precipitaciones en este mes tuvieron mayor asociación con los rendimientos ($r = 0,82$), con o sin fertilizante, que las ocurridas con otros meses o períodos del cultivo (Loewy y Seewald, op. cit.). En el área circundante a Bahía Blanca se hallaron regresiones significativas entre la producción, con o sin N aplicado ($r^2 = 0,41$ y $0,32$, respectivamente) y las lluvias entre el 1º de julio y el 10 de septiembre (Cantamutto et al., 1988). Es conocido, por otra parte, que un adecuado abastecimiento de N, aumenta la eficiencia del uso del agua por el cereal (Fagioli, 1975; Novello y Díaz, 1984; French y Schultz, 1984b).

La aplicación del N en macollaje permite utilizar las lluvias de septiembre como índice predictivo de respuesta. La importancia relativa de este parámetro estará afectado por las lluvias previas y posteriores, tipo de suelo, calidad del barbecho y estado del cultivo, entre otros factores. Los resultados de este trabajo, no obstante, indican que la eficiencia de dosis medias de N (30-45 kg/ha) puede oscilar entre 10 y 16 para lluvias entre 40 y 80 mm, respectivamente. A pesar de la elevada dispersión de valores registrados entre los sitios (Fig. 2), las precipitaciones superiores a 40 mm pueden asociarse con respuestas económicas más seguras. El trigo en la zona finaliza el estadio de macollaje hacia fines de septiembre. El momento de fertilización puede fijarse de acuerdo a la distribución

de las lluvias dentro de este mes.

En Anguil (La Pampa) el INTA sugiere la determinación analítica de humedad del suelo, a fines de macollaje, como uno de los criterios para decidir la posibilidad de fertilizar (Fagioli, 1982). En Marcos Juárez (Córdoba) el INTA aconseja la aplicación del N a la siembra. El probable déficit de lluvias al macollaje o encañazón es considerado como un "riesgo implícito" de la fertilización (Novello, 1986). En nuestro caso el trigo responde similarmente a las dos épocas de aporte nitrogenado. En macollaje, no obstante, es posible regular la dosis o suspender la aplicación de N en base a un mayor conocimiento del abastecimiento hídrico del cultivo. Los datos estiman que utilizando este criterio el riesgo de la práctica se puede reducir en un 30 %.

3) Nitratos del suelo e "historia" del lote.

Varias experiencias realizadas en INTA Bordenave mostraron la sensibilidad del nivel de nitratos a los sistemas de labranza y uso previo del lote. Las diferencias de N disponible, sin embargo, no siempre se detectaron en los análisis o se expresaron en la respuesta física del cultivo (Loewy, 1978, 1980, 1981 y 1987). En el presente estudio este parámetro no tuvo correlación con la respuesta del trigo al fertilizante. Se considera que la influencia de las lluvias (por exceso o por defecto) tanto sobre el suelo como sobre el cultivo, condicionó fuertemente la asociación buscada. El nivel de variabilidad de este índice, por otra parte, fue relativamente bajo, coincidiendo con mediciones previamente realizadas en el área (Loewy y Seewald, 1980).

Una variable más consistente con la respuesta a la fertilización fue el uso previo del lote. La presencia o no de dos años de verdeo con vicia fue decisiva en el nivel de respuesta al fertilizante. Experiencias realizadas en la EEA Bordenave mostraron un buen comportamiento de la sucesión (Loewy, 1987).

No se registraron casos de pasturas mixtas o alfalfa, como antecesores cercanos al trigo. El barbecho sobre pradera o leguminosa perenne puede acumular elevados niveles de nitratos, a la siembra del trigo, en relación a otros antecesores (Loewy, 1981). La literatura es profusa en cuanto a la residualidad del N aportado por las leguminosas y sus efectos sobre los cultivos de trigo posteriores (Bonet et al., 1980; Whitehouse y Littler, 1984; Littler y Whitehouse, 1984; Ladd et al., 1986; Martino et al., 1986a y b). De los resultados presentes y la bibliografía citada puede inferirse,

orientativamente, que el antecedente verdeo con vicia (2 años) o pastura mixta (4-6 años) debería soportar un equivalente a 2 y 4 cosechas de trigo —respectivamente— sin necesidades adicionales de N.

Si bien el trigo en secuencia con girasol o con trigo parece tener requerimientos de N comparables son de esperar diferencias mayores si cambia el antecesor de verano. Así, por ejemplo la soja provocaría menores demandas ulteriores de N (Ammann y González, 1978; Senigaglia et al., 1983; Barberis et al., 1983) ocurriendo la inversa en el caso del sorgo, (Hargrove et al., 1983; Krüger, 1989).

Resumiendo, se puede afirmar que la "historia" reciente del lote (presencia o no de leguminosas) y el nivel de lluvias (principalmente en septiembre) son dos criterios básicos para definir necesidades y posibilidades de fertilización nitrogenada en trigo. Estas variables deben ser consideradas a la luz de particulares condiciones de sitio, tecnología del cultivo y relación de precios insumo/producto. Un enfoque similar fue propuesto en el O de Australia, donde las recomendaciones se explicitan para subáreas con intervalos de precipitaciones (Mason, 1982).

Los resultados del presente estudio cubren una etapa en el diagnóstico de la fertilización nitrogenada del trigo para el SO bonaerense. Una mayor precisión en las recomendaciones se podrá lograr a través de un tratamiento más detallado del uso previo del suelo, la distribución de las lluvias y la disponibilidad de agua en el suelo.

CONCLUSIONES

- Sobre 28 ensayos de fertilización en trigo, distribuidos en 6 años, se obtuvo respuestas significativas al N en un 65 % de los casos.
- Para una dosis moderada de N (37 kg/ha) la eficiencia promedio fue igual a 12, sin diferen-

cias por época de aplicación (siembra o macollaje). Se estima que, en lotes comerciales, con buena tecnología del cultivo pueden obtenerse eficiencias medias de 9 a 12 puntos, para dosis dentro del intervalo de 30 a 45 kg de N/ha.

- En suelos con baja disponibilidad de P, la eficiencia del N aplicado se redujo, aproximadamente, en un 33 %.
- El nivel de M O y P disponible (en el suelo) explicaron en conjunto un 37 % de la variación de los rendimientos del trigo sin aplicación con N. En los casos en que se determinó nitratos en el suelo (60 cm) y a la siembra, no se detectó relación entre este parámetro y las respuestas al fertilizante. El trigo cultivado sobre dos años de verdeo con vicia no acusó respuesta a la aplicación de N, independientemente de la disponibilidad hídrica.
- Las precipitaciones en septiembre fueron las de mayor asociación con las respuestas del trigo al fertilizante. Entre 40 y 80 mm en este mes, la eficiencia para 40 Kg de N/ha osciló entre 10 y 16 puntos, respectivamente.
- La "historia" del lote, el cultivo antecesor y el nivel de lluvias (como énfasis en el mes de septiembre) conforman los elementos más promisorios para diagnosticar la fertilización nitrogenada del trigo.
- Del presente trabajo se deduce la necesidad de estudios más específicos sobre la distribución de lluvias, agua en el suelo y su eficiente utilización.

AGRADECIMIENTOS

A los Ing. Agr. N. Ramos y H. E. Campi por los análisis de varianza y significación estadística. A las Ing. Agr. M. M. Ron y S. Hang por los análisis de regresión. A la firma Petrosur S. A. por la provisión de fertilizantes en los primeros años del trabajo.

REFERENCIAS

- Ammann, A. T. y J. González, 1978. Fijación simbiótica de nitrógeno. Su efecto sobre el cultivo de soja y acción residual en cultivo de trigo. VIII Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires. Resúmenes de trabajos y comunicaciones. p. 94.
- Barberis, L. A.; A. Nervi; H. del Campo; M. Conti; S. Urricariet; J. Sierra; P. Daniel; M. Vázquez y D. Zourarakis, 1983a. Análisis de la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en la pampa ondulada y su predicción. C. del Suelo. 1. 51-64.
- Barberis, L. A.; A. Nervi; A. Sfeir; P. Daniel; S. Urricariet; M. Vázquez y D. Zourarakis, 1983b. Análisis de la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en la pampa arenosa y su predicción. X Congreso Argentino y VII Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. Argentina. Cópia mimeográfica.

- Berardo, A. y C. Maneiro, 1978. Efecto del manejo anterior del suelo sobre la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo. VIII Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires. Resúmenes de trabajos y comunicaciones. p. 43.
- Berardo, A.; C. A. Navarro y H. Echeverría, 1980. Relación del contenido de fósforo disponible en el suelo y de nitratos en planta con la respuesta a la fertilización fosfatada y nitrogenada en trigo. Actas IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Paraná II: 515-526.
- Bodrero, M. L. y L. Macor, 1984. Fertilización nitrogenada en trigo: momentos y dosis. INTA. E. E. A. Oliveros. Informe Técnico N° 36. 11 p.
- Bonel, J. A.; P. Novello; A. I. Legasa; B. L. Masiero y G. Ayub, 1978. Método de diagnóstico para el asesoramiento técnico de fertilización nitrogenada del trigo y del maíz. INTA. E. E. R. A. Marcos Juárez. Publicación Técnica N° 5. 23 p.
- Bonel, J. A.; C. A. Puricelli; J. J. Cabrini y E. Weir, 1980. Influencia de la alfalfa sobre la fertilidad nitrogenada del suelo en la pampa húmeda. Actas IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Paraná. II: 749-760.
- Bremner, J. M., 1965. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by steam distillation methods. En: Methods of Soil Analysis. Black, C. A. (Ed.). Agronomy N° 9: 1191-1198. Am. Soc. of Agron. Madison, Wisconsin.
- Cantamutto, M. A.; F. E. Möckel; R. A. Rosell; R. M. Martínez; G. D. Gullace; M. R. Landriscini; L. M. Castelli; L. M. Galliz; E. G. Gaído y A. R. Vallati, 1986. Factores que condicionan la respuesta del trigo a la fertilización con N y P en el sur de la Provincia de Buenos Aires. Actas XI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Neuquén/Río Negro. p. 83.
- Cantamutto, M. A.; F. E. Möckel y A. R. Vallati, 1988. La disponibilidad de agua durante las etapas vegetativas del trigo y su efecto sobre la respuesta a la fertilización. Seminario sobre "Manejo de Suelos y Cultivo, en la Economía del Uso del Agua". INTA, EEA Bordenave, noviembre 1988. 11 p.
- Donnari, M. A. e I. A. Mormeneo, 1987. Estimación del rendimiento del trigo en función del déficit de evapotranspiración relativa. Actas III. Reunión Argentina de Agrometeorología. Córdoba. p. 39-46.
- Draper, N. R. y H. Smith, 1966. Applied Regression Analysis. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- E. E. A. Bordenave, 1985. Diagnóstico Regional. Tirada interna.
- Fagioli, M., 1975. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre rendimientos y consumos hídricos del trigo en la región semiárida pampeana. Rev. de Invest. Agrop. INTA. Serie 3, XII: 1-13.
- Fagioli, M.; A. Bono y H. E. Torroba Gentilini, 1982. Productividad de los cultivos de trigo en la región semiárida pampeana. INTA. E. E. A. Anguil. Publicación Técnica N° 24. 16 p.
- Fischer, R. A.; J. H. Lindt y A. E. Glave, 1977. Irrigation of dwarf wheats in the Yaqui Valley of Mexico. Expl. Agric., 13: 353-367.
- French, R. J. y J. E. Schultz, 1984a. Water use efficiency of wheat in a mediterranean-type environment. I The relation between yield, water use and climate. Aust. J. Agric. Res., 35: 743-764.
- French, R. J. y J. E. Schultz, 1984b. Water use efficiency of wheat in a mediterranean-type environment. II Some limitations to efficiency. Aust. J. Agric. Res. 35: 765-775.
- Glave, A. E., 1975. Caracterización física y económica de la región semiárida bonaerense. C. I. C. La Plata, Informe N° 9. 31 p.
- Glave, A. E. y C. A. Puricelli, 1980. Información preliminar de fertilización en trigo correspondiente a la E. E. A. Bordenave, período 1963-77. INTA E. E. A. Bordenave, Informe Técnico N° 23. 20 p.
- Hargrove, W. L., J. T. Touchton y J. W. Johnson, 1983. Previous crop influence on fertilizer nitrogen requirements for double-cropped wheat. Agron. J. 75: 855-859.
- Krüger, H. R., 1989. Informe anual Plan de Trabajo N° 5018: Sistemas de labranza y siembra en módulos de producción cosecha de verano trigo. INTA. Bordenave (Doc. interno).
- Ladd, J. N., J. H. A. Butler y M. Amato, 1986. Nitrogen fixation by legumes and their role as sources of nitrogen for soil and crop. Biological Agriculture and Horticulture, 3: 269-286.
- Laird, R. J. y F. B. Cady, 1969. Combined analysis of yield data from fertilizer experiments. Agron. J. 61: 829-834.
- Littler, J. W. y M. J. Whitehouse, 1984. Effect of pasture on a black earth soil of the Darling Downs. III. Comparison of nitrogen from pasture and fertilizer sources. Queensland J. of Agric. and An. Sci. 44: 1-8.
- Loewy, T., 1978. Variaciones del nitrógeno inorgánico en un suelo de la E. E. A. Bordenave. VIII Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires. Resúmenes de trabajos y comunicaciones. p. 31.
- Loewy, T., 1980. Relación entre métodos de labranza y fertilidad nitrogenada del suelo, para trigo, en Bordenave (Bs. As.). Actas IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Paraná. II: 771-775.
- Loewy, T., 1981. Fertilidad de suelos en el S. O. de la Provincia de Buenos Aires. INTA. E. E. A. Bordenave. Boletín de divulgación N° 8. 12 p.
- Loewy, T., 1987. Rotación leguminosa - trigo y fertilidad nitrogenada del suelo. C. del Suelo. 5: 57-64.
- Loewy, T., 1990. Fertilización nitrogenada del trigo en el sudoeste bonaerense. II Respuesta en la calidad del trigo. C. del Suelo. 8: 57-65.
- Loewy, T.; J. R. López y S. E. Garbini, 1987. Respuesta varietal del trigo al fertilizante nitrogenado en el sudoeste bonaerense. INTA E. E. A. Bordenave. Informe Técnico N° 43. 13 p.
- Loewy, T. y H. A. Seewald, 1980. Fertilidad nitrogenada para trigo en suelos del sudoeste bonaerense. Actas IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Paraná. II: 533-536.
- Loewy, T. y C. A. Puricelli, 1982. Disponibilidad de fósforo en suelos del área de la E. E. A. Bordenave. INTA. E. E. A.

- Bordenave. Informe Técnico N° 28. 16 p.
- Martino, D., M. Caldeyro, A. Bozzano, W. Baethgen y R. Díaz, 1986a. Residualidad del nitrógeno dejado por pasturas. I. Efecto de la composición botánica de las pasturas. *Investigaciones Agronómicas*, 7: 48-58.
- Martino, D., M. Caldeyro, A. Bozzano, W. Baethgen y R. Díaz, 1986b. Residualidad del nitrógeno dejado por pasturas. II. Efecto de la duración de las pasturas. *Investigaciones Agronómicas*, 7: 59-65.
- Mason, M. G., 1982. Predicting requirement for nitrogen fertilisers on cereals in Western Australia. *Commonwealth Agric. Bureaux Plant Nutrition Proceedings of the Winter International Plant Nutrition Colloquium*. Ed. A. Scaife. p. 372-377.
- Melsted, S. W. y T. R. Peck, 1977. The Mitscherlich -Bray Growth Function. En: "Soil Testing: Correlating and Interpreting the Analytical Results". ASA Special Publication N° 29. 1-18.
- Moscatelli, G.; J. C. Salazar Lea Plaza; R. Godagnone; H. Grinberg; J. Sánchez; R. Ferrao y M. Cuenca, 1980. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, Escala 1:500.000. *Actas IX R. A. C. S. Paraná*. III. 1079-1089.
- Musto, J. C., 1983. Agrupamiento de las tierras de la región pampeana según su aptitud para fines agrarios. *Actas X Congreso Argentino y VIII Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata. p. 212.
- Novello, P. y R. Díaz, 1984. Uso del agua y productividad del trigo, sin y con fertilización nitrogenada. Subregión triguera II norte. INTA EERA Marcos Juárez. *Publicación Técnica. Serie Suelos y Agrometeorología N° 6*. 46 p.
- Novello, P.; A. Legasa y M. Peretti, 1986. Evaluación conjunta de la fertilización y factores de productividad que explican la variación de los rendimientos en el cultivo de trigo. *Actas Primer Congreso Nacional de Trigo*. Pergamino. III: 332-349.
- Rickert, K. G.; R. H. Sedgley y W. R. Stern, 1987. Environmental response of spring wheat in the south-western Australian cereal belt. *Aust. J. Agric. Res.*, 38: 655-670.
- Rusell, R. E.; D. G. Westfall y K. A. Barbarick, 1987. Spring N fertilization of dryland winter wheat. *J. of Fert. Issues*, 4: 73-78.
- Senigagliesi, C. A., R. García, S. Meira, M. L. R. de Galetto, E. Frutos y R. Teves, 1983. La fertilización del cultivo de trigo en el norte de la Provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe. INTA. EERA. Pergamino. *Informe Técnico N° 191*. 28 p.
- Paoloni, J. D. y R. Vázquez, 1984. Necesidades teóricas de agua de los cereales de invierno y probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones como base para el balance hídrico. *Anales de Edaf. y Agrobiol.* XLIII: 1545-1556.
- Puricelli, C. A., 1981. Estudio de algunos parámetros que caracterizan el clima de Bordenave. INTA. E. E. A. Bordenave. *Informe Técnico N° 25*. 33 p.
- Whitehouse, M. J. y J. W. Littler, 1984. Effect of pasture on subsequent wheat crops on a black earth soil of the Darling Downs. II. Organic C, nitrogen and pH changes. *Queensland J. of Agric. and An. Sci.* 41: 13-20.