

Fertilización nitrogenada y fosfatada del trigo en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín¹

Víctor Volke H.²

INTRODUCCION

La producción de un cultivo agrícola es una actividad económica. Desde este punto de vista, la selección de un tratamiento de fertilización que maximice la utilidad, ya sea por superficie o por inversión, resulta

fundamental. Es claro que si el tratamiento seleccionado incluye un nutriente innecesario o una dosis mayor que la óptima económica, el agricultor no estará maximizando su utilidad y, más aún, puede estar sufriendo pérdidas. Por otra parte, si el tratamiento contiene una cantidad menor que la óptima, se estará explotando sólo parcialmente una fuente de ingresos.

La determinación de las dosis óptimas de fertilizantes es una tarea difícil, porque la respuesta de un cultivo a ellos es consecuen-

¹Recepción originales: 28 de febrero de 1972.

²Ing. Agr., M. S., Centro Suelos y Riego, Estación Experimental Carillanca, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile. Actualmente en CIMMYT, Londres 40, México, D.F., México.

cia de una serie de factores de orden edafológico, biológico y climático. Un cambio significativo de cualquiera de estos factores puede modificar la reacción del cultivo a la fertilización y hacer variar con ello, la magnitud de las dosis óptimas.

Bajo las condiciones agrícolas actuales del país, la fertilización del trigo en los suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín representa una parte importante de su costo de producción (Winkler, G. A., 1967). La causa de esta situación radica en las elevadas cantidades de fertilizantes nitrogenados y fosfatados que el cultivo exige en estos suelos (Frias M., H., 1967) (Letelier A., E., 1965) (Volke H., V., 1968) (Volke H., V., 1972), y en el alto costo de muchos de ellos (Oficina de Planificación Agrícola, 1971).

Si se considera acertada la suposición de que las dosis óptimas de fertilizantes para el trigo en los suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín cambian debido a variaciones de los factores edafológicos, biológicos y climáticos y, además, si se toma en cuenta el elevado costo de la fertilización actual del cultivo en ellos, resulta evidente la importancia de determinar las dosis óptimas de fertilizantes para el trigo en estos suelos.

El presente estudio tiene por objetivos: 1) Determinar las dosis óptimas económicas de nitrógeno y fósforo del trigo en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín, tomando como base los experimentos de campo de respuesta a ambos nutrientes, y 2) Determinar el grado de asociación existente entre las dosis óptimas económicas de nitrógeno y fósforo, y los respectivos contenidos asimilables de ambos nutrientes en el suelo, estimados analíticamente.

MATERIALES Y METODOS

Durante el período 1966-67 a 1968-69 se efectuaron 42 experimentos de campo de res-

puesta a nitrógeno y fósforo del trigo en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín. Estos experimentos comprenden los 13 tratamientos correspondientes a las combinaciones de cinco dosis de nitrógeno y de fósforo dadas por el diseño de tratamientos "cuadrado doble" (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 1967). Las dosis de nitrógeno y fósforo usadas fueron las siguientes:

| | (Kg/ha) | | | | |
|-------------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|
| | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 |
| N | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 |
| P ₂ O ₅ | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 |

Los tratamientos se distribuyeron en el terreno en un diseño de "bloques al azar" en tres repeticiones, y dos en algunos casos. El nitrógeno se aplicó como salitre sódico (16% de N) y el fósforo como superfosfato triple (47% de P₂O₅). Las variedades de trigo usadas fueron Cappelle Desprez, de invierno, y Chifén y Pumafén, de primavera (Volke H., V., 1972).

Los suelos estudiados se han agrupado en trumaos de lomajes y trumaos planos. Los suelos trumaos de lomajes —suelo Santa Bárbara— se encuentran ubicados en el sector de topografía ondulada comprendido entre el llano central y la cordillera de Los Andes de la provincia de Cautín; los suelos trumaos planos —suelos Victoria, Agua Fría y Vilcún— se encuentran en el llano central de la provincia de Malleco (suelo Victoria) y de Cautín (suelos Agua Fría y Vilcún). Estos últimos presentan una topografía plana a ligeramente ondulada (Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales-CORFO, 1964) (Sociedad Agronómica de Chile, 1964) (Valdés F., Alberto, 1969).

La relación de número de experimentos y variedad de trigo por suelo, se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1 — Relación de número de experimentos y variedad de trigo por suelo.

| Suelo | Número de experimentos | |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
| | Trigo Cappelle Desprez | Trigo Chifén y Pumafén |
| Trumao de lomajes: Santa Bárbara | 13 (1 al 8, 17 al 21) | 13 (9 al 16, 22 al 26) |
| Tumao plano: Victoria | 6 (34 al 38 y 40) | |
| Agua Fría | 2 (41 al 42) | |
| Vilcún | 5 (27 al 30 y 39) | 3 (31 al 33) |
| Total | 26 | 16 |

Determinación de las dosis óptimas económicas de nitrógeno y fósforo

Para determinar las dosis óptimas económicas, DOE, de nitrógeno y fósforo se procedió a ajustar a los valores de rendimiento de cada experimento, mediante el método de los mínimos cuadrados (Heady, E. O. y Dillon, G. L., 1961), una ecuación de regresión¹. Esto se efectuó con dos modelos de regresión.

En el primero, se consideraron las dosis de nitrógeno y fósforo en sus valores originales, o sea, en Kg/ha, expresándose en la siguiente forma:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1N + b_2P + b_3N^2 + b_4P^2 + b_5NP \quad (1)$$

donde \hat{Y} representa al rendimiento, b_0 estima al rendimiento sin fertilización, y b_1, b_2, b_3, b_4 y b_5 a los efectos lineales, cuadráticos y de interacción de nitrógeno y fósforo, respectivamente.

En el segundo, se codificaron las dosis originales de nitrógeno y fósforo según las expresiones siguientes:

$$X_1 = \frac{\text{Kg/ha de N} - 100}{50} \text{ y } X_2 = \frac{\text{Kg/ha de P}_2\text{O}_5 - 200}{100}$$

De acuerdo con esta codificación, el modelo de regresión queda expresado como:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1^2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2 \quad (2)$$

donde $\hat{Y}, b_1, b_2, b_3, b_4$ y b_5 representan lo mismo que en el modelo anterior, y b_0 estima al rendimiento del tratamiento correspondiente a las dosis medias de ambos nutrientes.

A partir de las ecuaciones de regresión (1) y (2) se calcularon las DOE de nitrógeno y fósforo para cada experimento. Para esto se procedió en forma diferente con cada modelo de regresión.

Con el modelo de regresión (1) se usó el método convencional para calcular las DOE, o sea, se obtuvo la primera derivada de Y con respecto a N y a P , y cada una de ellas se igualó con la respectiva razón de precios:

$$\frac{\text{Precio de la unidad del nutriente (Kg de N ó P}_2\text{O}_5)}{\text{precio de la unidad del producto (qqm de trigo)}}$$

despejándose los valores de N y P del sistema de ecuaciones (Heady, E. D. y Dillon, J. L., 1961). Matemáticamente, esto se expresa como:

¹Los rendimientos obtenidos experimentalmente corresponden a la producción real del trigo, por lo cual se disminuyeron en un 10%, cantidad en que pueden estimarse las pérdidas a nivel de siembras comerciales.

$$\frac{d_Y}{d_N} = \frac{P_N}{P_Y} \quad b_1 + 2b_3N + b_5P = \frac{P_N}{P_Y}$$

o sea,

$$\frac{d_Y}{d_{P_2O_5}} = \frac{P_{P_2O_5}}{P_Y} \quad b_2 + 2b_4P + b_5N = \frac{P_{P_2O_5}}{P_Y}$$

Con el modelo de regresión (2) se procedió de acuerdo al mismo principio que para el modelo (1), pero sin descodificar las variables X_1 y X_2 , por lo cual las relaciones de precios se expresaron como:

$$1) \text{ Para nitrógeno: } \frac{P_N}{P_Y} (50X_1 + 100)$$

$$2) \text{ Para fósforo: } \frac{P_{P_2O_5}}{P_Y} (100X_2 + 200)$$

Esto en base a que:

$$1) \text{ Kg/ha de N} = 50X_1 + 100$$

$$2) \text{ Kg/ha de P}_2\text{O}_5 = 100X_2 + 200$$

Los valores de nitrógeno y fósforo obtenidos mediante este último procedimiento no corresponden teóricamente a las DOE, por lo cual, a continuación se hablará solamente de dosis óptimas, DO.

Las razones de precios se obtuvieron a partir de los precios de los fertilizantes y del trigo en abril de 1971 (salitre sódico, E° 3,87 el Kg de N; superfosfato triple, E° 1,92 el Kg de P₂O₅; trigo E° 94 el qqm), considerando un mayor precio de los fertilizantes del orden del 20% para el salitre sódico y del 10% para el superfosfato triple por conceptos de transporte y aplicación. Estas razones fueron:

$$\frac{P_N}{P_Y} = 0,0500 \text{ y } \frac{P_{P_2O_5}}{P_Y} = 0,0225$$

Una vez calculadas las DO para cada experimento se procedió a estimar el rendimiento óptimo, RO. Este se obtiene reemplazando en las ecuaciones de regresión a N y P o a X_1 y X_2 , según sea el caso, por sus respectivos valores en DO. Con este valor y el costo del tratamiento de fertilización, expresado en qqm de trigo, se obtuvo una diferencia que, al restarle todos los demás costos de producción, equivale aproximadamente a la utilidad máxima obtenible al usar fertilizantes nitrogenados y fosfatados en cantidades óptimas. Para obtener esta utilidad se consideraron a los costos totales de producción, excluyendo aquéllos de los fertilizantes, igual a un promedio de 20 qqm/ha de trigo (Winkler G.,

A., 1967). Cabe aclarar sí, que este valor promedio presenta un amplio rango de variación.

Respecto a los costos adicionales de cosecha y mercadeo resultantes de la aplicación de fertilizantes, se asumirá que se compensan con el incremento de los residuos, subproductos y efecto residual de los fertilizantes, según el criterio dado por EPA/OEEC (European Productivity Agency, 1959).

Por último se procedió a determinar el grado de asociación existente entre las DO de nitrógeno y fósforo, y los respectivos contenidos asimilables de ambos nutrientes en el suelo (estimados analíticamente) mediante

análisis de correlación (Snedecor, G. W. y Cochran, W. G., 1967). Se usó este procedimiento para el estudio de estas relaciones porque no se contaba con los valores de nitrógeno de incubación del suelo para todos los experimentos sino sólo para 32 de ellos.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 se indican las DO para nitrógeno y fósforo, el RO y la utilidad por superficie, dados por los dos métodos seguidos para sus determinaciones, para los 42 experimentos por grupo de suelo.

Cuadro 2 — Dosis óptimas, DO, de nitrógeno y fósforo; rendimiento óptimo, RO, y utilidad, U, para cada experimento.

| Experimento | Método 1 | | | | Método 2 | | | |
|---|-----------------|-------------------------------|-------|----------------|--------------|-------------------------------|------|----------------|
| | DO ¹ | | RO | U ² | DO | | RO | U ² |
| | N (Kg/ha) | P ₂ O ₅ | | | N (Kg/ha) | P ₂ O ₅ | | |
| A. Suelo trumao de lomajes (suelo Santa Bárbara) | | | | | | | | |
| 1. | >200 | >342 | 52,1 | 14,4 | 75 | 177 | 38,5 | 10,8 |
| 2. | 133 | 244 | 58,3 | 26,2 | 77 | 164 | 52,3 | 24,8 |
| 3. | 106 | 382 | 45,8 | 11,9 | 69 | 200 | 37,5 | 9,6 |
| 4. | 116 | 319 | 66,5 | 33,5 | 67 | 194 | 59,5 | 31,8 |
| 5. | 0 | 288 | 46,8 | 21,9 | 30 | 182 | 44,3 | 18,7 |
| 6. | 78 | 0 | 46,3 | 22,4 | 65 | 31 | 45,7 | 21,5 |
| 7. | 103 | 315 | 57,8 | 25,6 | 62 | 212 | 52,0 | 24,1 |
| 8. | 0 | 0 | 18,1 | -1,9 | 91 | 194 | 37,5 | 8,6 |
| 9. | 114 | 322 | 38,1 | 5,2 | 62 | 185 | 30,8 | 3,6 |
| 10. | 0 | 283 | 44,3 | 17,9 | 22 | 191 | 42,0 | 16,6 |
| 11. | 148 | 282 | 50,1 | 16,4 | 88 | 149 | 42,3 | 14,6 |
| 12. | 88 | 280 | 39,9 | 9,2 | 63 | 220 | 36,3 | 8,2 |
| 13. | 0 | 307 | 47,6 | 20,7 | 30 | 234 | 45,9 | 19,2 |
| 14. | 151 | 261 | 39,4 | 6,0 | 83 | 172 | 32,2 | 4,2 |
| 15. | >200 | >400 | >44,8 | >5,8 | 91 | 111 | 28,4 | 1,4 |
| 16. | >200 | >318 | >41,5 | >4,4 | 62 | 153 | 28,6 | 2,1 |
| 17. | 22 | 267 | 59,1 | 32,0 | 42 | 202 | 57,7 | 31,1 |
| 18. | 95 | 331 | 58,7 | 26,5 | 71 | 249 | 54,0 | 24,9 |
| 19. | 171 | 341 | 59,0 | 22,8 | 97 | 172 | 48,3 | 19,6 |
| 20. | 64 | 341 | 60,5 | 29,6 | 50 | 239 | 55,7 | 27,9 |
| 21. | 139 | 318 | 48,5 | 14,4 | 78 | 231 | 41,6 | 12,5 |
| 22. | 0 | 213 | 36,4 | 11,6 | 10 | 149 | 34,1 | 10,2 |
| 23. | 125 | 341 | 60,7 | 26,8 | 82 | 190 | 50,9 | 22,5 |
| 24. | >200 | >400 | >37,1 | -1,9 | 59 | 196 | 20,3 | -7,1 |
| 25. | 106 | 361 | 29,6 | -3,8 | 52 | 172 | 20,0 | -6,5 |
| 26. | 58 | 241 | 25,5 | -2,8 | 40 | 151 | 21,5 | -3,9 |
| Promedio | 101 | 288 | 46,6 | 15,2 | 62 | 182 | 40,7 | 13,5 |
| B. Suelo trumao plano (suelos Victoria, Agua Fría y Vilcún) | | | | | | | | |
| 27. | 44 | 337 | 54,9 | 25,1 | 61 | 190 | 50,9 | 23,6 |
| 28. | 197 | 308 | 62,7 | 25,9 | 131 | 164 | 52,3 | 22,1 |
| 29. | 172 | 188 | 46,8 | 14,0 | 106 | 114 | 39,8 | 11,9 |
| 30. | 123 | 264 | 48,8 | 16,7 | 84 | 182 | 43,7 | 15,4 |
| 31. | 160 | 220 | 52,5 | 19,7 | 105 | 127 | 43,8 | 15,7 |
| 32. | 59 | 241 | 36,8 | 8,5 | 50 | 147 | 33,1 | 7,3 |
| 33. | 146 | 251 | 41,7 | 8,8 | 91 | 95 | 33,0 | 6,3 |

| Experimento | Método 1 | | | | Método 2 | | | |
|--|-----------------|-------------------------------|-------|----------------|--------------|-------------------------------|------|----------------|
| | DO ¹ | | RO | U ² | DO | | RO | U ² |
| | N (Kg/ha) | P ₂ O ₅ | | | N (Kg/ha) | P ₂ O ₅ | | |
| B. Suelo trumao plano (suelos Victoria, Agua Fría y Vilcún). | | | | | | | | |
| 34. | >200 | >400 | >46,9 | >7,9 | 90 | 195 | 30,1 | 1,2 |
| 35. | 193 | 317 | 33,3 | -3,5 | 91 | 132 | 21,2 | -6,3 |
| 36. | >200 | >400 | >44,9 | >5,9 | 108 | 185 | 29,1 | 0,4 |
| 37. | 175 | 347 | 39,1 | 2,5 | 104 | 199 | 28,7 | -1,0 |
| 38. | 127 | 287 | 48,0 | 15,2 | 77 | 205 | 41,9 | 13,5 |
| 39. | 0 | 0 | 5,7 | -14,3 | 138 | 131 | 26,9 | -2,9 |
| 40. | 0 | 303 | 51,3 | 24,5 | 29 | 225 | 49,3 | 22,8 |
| 41. | >200 | >345 | >42,0 | >4,3 | 66 | 182 | 27,8 | 0,4 |
| 42. | >200 | 300 | >52,1 | >15,4 | 0 | 238 | 47,9 | 22,5 |
| Promedio | 137 | 282 | 44,2 | 11,0 | 83 | 169 | 37,5 | 9,6 |
| Promedio General | 115 | 286 | 45,7 | 13,5 | 70 | 177 | 39,5 | 12,0 |

¹Cuando el cálculo indicó DO negativas para uno de los nutrientes, nitrógeno o fósforo, se consideró la DO negativa igual a cero y con este valor se calculó la DO para el otro nutriente.

²La utilidad se estimó restando al RO el costo de la fertilización nitrogenada y fosfatada óptima (expresado en qqm/ha de trigo), con la cual éste se obtuvo, y todos los demás costos de producción, cuyo valor promedio se fijó en 20 qqm/ha de trigo.

En cuanto a los contenidos de nitrógeno y fósforo asimilables del suelo (estimados analíticamente), el contenido de nitrógeno nítrico y amoniacal inicial más el de incubación varió de 57 a 202 ppm, con un valor medio de 119 ppm, y el de fósforo extractable de 4,1 a 20,5 ppm, con un valor medio de 12,5 ppm¹. Mayores antecedentes sobre los valores de nitrógeno y de fósforo de los suelos estudiados se indican en un trabajo anterior (Volke H., V., 1972).

A continuación se analizan los resultados señalados en el Cuadro 2 y la relación existente entre las DO de nitrógeno y fósforo, y los respectivos contenidos de estos nutrientes en el suelo.

Dosis óptimas de nitrógeno y fósforo

A partir del Cuadro 2 se desprende:

A. Para nitrógeno:

- El Método 1 dio DO de 0 a > 200 Kg/ha en los suelos trumao de lomajes, con el 61% de los experimentos con valores entre 50 y 200 Kg/ha, y de 0 a > 200 Kg/ha en los suelos trumao planos, con el 56%

¹El nitrógeno de incubación se determinó mediante el método de Keeney, D.R. y Bremner, J. M. (1966), y el fósforo extractable, por el método de Olsen *et al.* (1954) modificado por Schenkel *et al.* (1970).

de los experimentos con valores entre 50 y 200 Kg/ha. Los valores negativos se consideraron como iguales a cero.

- El Método 2 dio DO de 10 a 97 Kg/ha en los suelos trumao de lomajes, con el 81% de los experimentos con valores entre 50 y 97 Kg/ha, y de 0 a 138 Kg/ha en los suelos trumao planos, con el 75% de los experimentos con valores entre 50 y 125 Kg/ha.

B. Para fósforo:

- El Método 1 dio DO de 0 a > 400 Kg/ha en los suelos trumao de lomajes, con el 73% de los experimentos con valores entre 225 y 350 Kg/ha, y de 0 a > 400 Kg/ha en los suelos trumao planos, con el 69% de los experimentos con valores entre 225 y 350 Kg/ha. Los valores negativos se consideraron igual a cero.
- El Método 2 dio DO de 31 a 249 Kg/ha en los suelos trumao de lomajes, con el 92% de los experimentos con valores entre 150 y 250 Kg/ha, y de 95 a 238 Kg/ha en los suelos trumao planos, con el 81% de los experimentos con valores entre 125 y 225 Kg/ha. De lo expuesto anteriormente, se desprende que las DO determinadas mediante el Método 1 son superiores a aquéllas dadas por el Método 2, tanto para nitró-

geno como para fósforo, en ambos grupos de suelos.

Relación entre las DO de nitrógeno y fósforo, y los respectivos contenidos de nitrógeno y fósforo asimilables del suelo

Según se ha visto anteriormente, existe una variación importante de las DO, tanto de nitrógeno como de fósforo, en los suelos trumaos estudiados. Esto puede tener una implicancia económica importante, en el sentido de que: 1) si se aplica una cantidad mayor de fertilizantes que la óptima, no se está maximizando la utilidad, y 2) si se aplica una cantidad menor que la óptima, se estará explotando sólo parcialmente una fuente de ingresos. Si a esto se agrega el hecho de que la fertilización nitrogenada y fosfatada en estos suelos constituye una parte importante de los costos de producción del cultivo del trigo, se puede ver cuán importante sería entrar a diagnosticar, mediante el análisis de suelo, o también de la planta para el caso del nitrógeno, las DO de nitrógeno y fósforo para este cultivo en estos suelos. A este respecto, se estudiará el grado de asociación existente entre las DO determinadas por ambos métodos y los respectivos valores de nitrógeno nítrico y amoniacal inicial más el de incubación y fósforo extractable del suelo. Este análisis parte del supuesto de que "existe una relación entre las necesidades de un nutriente del cultivo, DO en este caso, y el contenido asimilable de dicho nutriente en el suelo, estimado analíticamente".

A. Nitrógeno

La estimación del nitrógeno asimilable del suelo ha sido un problema de difícil solución porque el aporte de nitrógeno por parte del suelo depende de muchos factores, tanto del suelo como climáticos. Sin embargo, se han desarrollado una serie de métodos analíticos con miras a efectuar esta estimación. En esta ocasión se usó el método de incubación de Keeney, D. R. y Bremner, J. M. (1966), considerando, además, el contenido de nitrógeno nítrico y amoniacal inicial del suelo (al momento de la siembra).

Al estudiar el grado de asociación entre las DO obtenidas con ambos métodos y los valores de nitrógeno del suelo, mediante análisis de correlación se observa:

- Para el Método 1, un coeficiente de correlación, r , igual a $-0,716$ (significativo al nivel de probabilidad de 0,01).
- Para el Método 2, un $r = -0,778$ (significativo al nivel de probabilidad de 0,01).

En este análisis se excluyeron los Experimentos 29 — 30 — 31 — 32 — 33 — 39, correspondientes al suelo Vilcún los cinco primeros y a uno similar el último, en donde el trigo parece reaccionar en forma diferente al nitrógeno aplicado que en los demás suelos. También se excluyeron los Experimentos 15 — 24 — 34 — 42 para el Método 1, por presentar valores de DO muy altos, y los Experimentos 11 — 23 — 42 para el Método 2, los cuales no siguen la tendencia general predominante.

B. Fósforo

El análisis de correlación para determinar el grado de asociación entre las DO de fósforo obtenidas con ambos métodos y los valores de fósforo extractable del suelo indica:

- Para el Método 1, un $r = -0,550$ (significativo al nivel de probabilidad de 0,01) para el suelo trumao de lomajes, y un $r = -0,566$ (significativo al nivel de probabilidad de 0,05) para el suelo trumao plano.
- Para el Método 2, un $r = -0,817$ (significativo al nivel de probabilidad de 0,01) para el suelo trumao de lomajes, y un $r = -0,926$ (significativo al nivel de probabilidad de 0,01) para el suelo trumao plano.

En el análisis para el Método 1 se excluyeron los Experimentos 8 y 15, por presentar valores de DO negativos el primero y muy altos el segundo. Por otra parte, los Experimentos 6 — 25 — 35 — 39 se excluyeron en el análisis para ambos métodos por presentar daños visibles de enfermedades (Experimento 6), de sequía (Experimento 25) y de drenaje deficiente (Experimentos 35 — 39).

El análisis de correlación anterior indica diferentes grados de asociación entre las DO de nitrógeno y fósforo dadas por ambos métodos y los respectivos contenidos de nitrógeno y fósforo asimilables del suelo. Tanto para nitrógeno como para fósforo, fue superior el grado de asociación para con las DO dadas por el Método 2. De acuerdo con este análisis, y el supuesto de que "existe una relación entre las necesidades de un nutriente del cultivo, o sea de las DO en este caso, y el contenido asimilable de dicho nutriente en el suelo", se puede inferir que las DO obtenidas mediante el Método 2 presentarían una base más real. Cabe agregar a esto, que un 18% de las DO obtenidas mediante el Método 1 presentaron valores negativos o muy elevados (es necesario aclarar que en este estu-

dió no se consideraron factores que posiblemente modificaron la respuesta del trigo al nitrógeno y/o fósforo y, consecuentemente, las DO, que de haberlo hecho pudiesen haber aumentado las asociaciones antes indicadas). Por otra parte, de este análisis se desprende también que los métodos analíticos usados para estimar el nitrógeno y fósforo asimilables del suelo, parecen ser satisfactorios para los suelos trumaos estudiados.

Previamente se ha visto que, desde el punto de vista de la relación existente entre las DO de nitrógeno y fósforo y los respectivos contenidos asimilables de ambos nutrientes en el suelo, las DO dadas por el Método 2 presentarían una base más real. Sin embargo, debido a que en la determinación de las DO entra en juego el aspecto económico, es necesario considerar precisamente dicho aspecto para tomar la última decisión sobre ellas.

Del Cuadro 2 se desprende que usando el Método 1 se obtuvo una utilidad promedio para todos los suelos de 13,5 qqm/ha de trigo, y al usar el Método 2, de 12 qqm/ha, o sea, existe una diferencia de 1,5 qqm/ha a favor del Método 1. Esta mayor utilidad está relacionada con mayores DO de nitrógeno y fósforo originadas por el Método 1. Ahora bien, esto significa que el Método 1 presupone una mayor inversión en fertilizantes. Esta mayor inversión llegó a ser, en promedio para todos los suelos, del orden de 4,7 qqm/ha de trigo y, según lo señalado anteriormente, ella originó una mayor utilidad de sólo 1,5 qqm/ha. Tanto razones de tipo económico (escasez de capital) como el riesgo que significa toda inversión en fertilizantes, inducen a concluir que la escasa mayor utilidad que puede lograrse usando el Método 1 no sería razón suficiente en elegirlo para la determinación de las DO ya que presupone una mucho mayor inversión en fertilizantes. Este análisis económico refuerza la suposición de que las DO dadas por el Método 2 presentan una base más real y un mayor valor práctico. Cabe hacer presente sí, que el Método 1 originó RO superiores a los originados por el Método 2. Los promedios de RO para todos los suelos fueron de 45,7 qqm/ha para el Método 1 y de 39,5 qqm/ha para el Método 2.

En base a los análisis de correlación y económico anteriores, se puede aceptar como DO de nitrógeno y fósforo para el trigo en los suelos trumaos estudiados a aquéllas dadas por el Método 2. Las relaciones entre estas DO de nitrógeno y fósforo y los respectivos contenidos asimilables de ambos nutrientes en el suelo se indican en las Figuras 1 y 2.

En la Figura 1 puede observarse que en el suelo Vilcún el trigo parece reaccionar en forma diferente al nitrógeno aplicado respecto

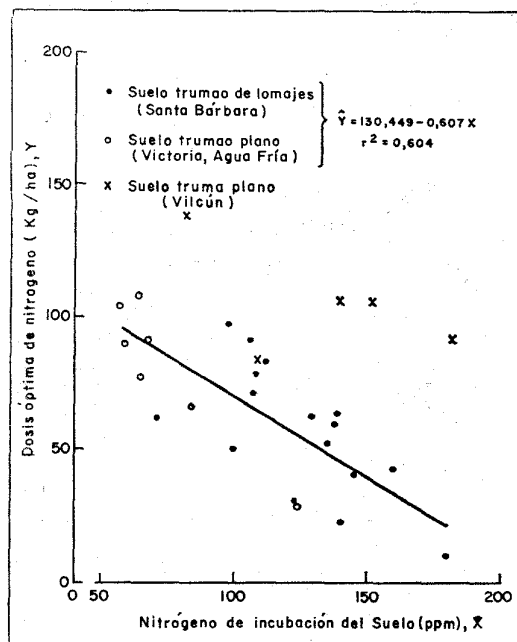


Figura 1 — Relación entre la dosis óptima de nitrógeno y el nitrógeno de incubación del suelo.

a los demás suelos. En efecto, en este suelo se observan DO superiores para contenidos similares de nitrógeno asimilable del suelo. Por otra parte, en los demás suelos trumaos planos, Victoria y Agua Fría, también se observan DO superiores, aunque en este caso ello coincide con menores valores de nitrógeno asimilable del suelo en comparación con aquellos de los suelos Vilcún y trumaos de lomajes, Santa Bárbara. Todo esto concuerda con la observación de que el trigo presenta mayores necesidades de nitrógeno en los suelos trumaos planos que en los trumaos de lomajes. Será necesario sí, investigar más detalladamente si realmente el trigo reacciona en forma similar al nitrógeno aplicado en los suelos trumaos planos, Victoria y Agua Fría, y trumaos de lomajes, Santa Bárbara.

Según la Figura 2, el trigo presentaría mayores necesidades de fósforo en los suelos trumaos de lomajes que en los trumaos planos. Esto resulta concordante con el hecho de que los primeros presentan una mayor fijación de fósforo que los segundos. Así, la fijación promedio para los primeros fue de 86,6% contra un 75,8% para los segundos¹.

Del presente estudio se desprende que sería posible usar el análisis de suelo para diagnosticar las DO de nitrógeno y fósforo del trigo

¹La fijación de fósforo se determinó mediante el método descrito por Bleiholder E., H. (1965).

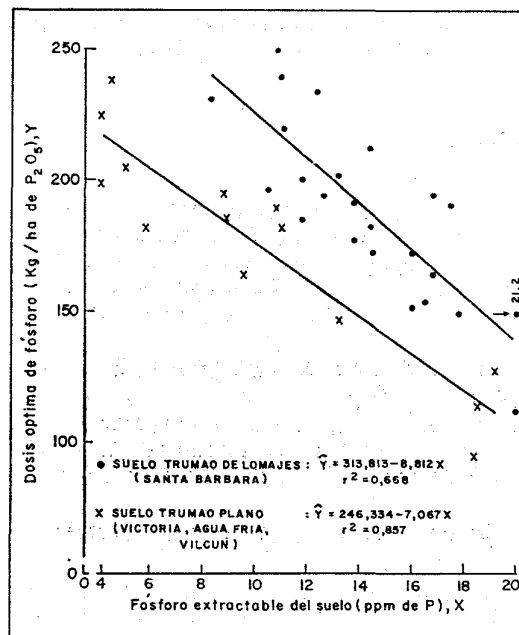


Figura 2 — Relación entre la dosis óptima de fósforo y el fósforo extractable del suelo.

en los suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín. Sin embargo, mientras no se cuente con un servicio de análisis de suelo a nivel de agricultores, solamente cabrá efectuar este diagnóstico en base a promedios para cada grupo de suelos con características similares, considerando, por supuesto, los antecedentes del manejo previo del suelo.

Las DO promedio de nitrógeno y fósforo para cada uno de los grupos de suelos estudiados serían:

1. Para nitrógeno:

- de 60 a 90 Kg/ha en los suelos trumaos de lomajes, Santa Bárbara, y
- de 80 a 110 Kg/ha en los suelos trumaos planos, Victoria, Agua Fría y Vilcún.

2. Para fósforo:

- de 180 a 220 Kg/ha, como P_2O_5 , en los suelos trumaos de lomajes, y
- de 160 a 200 Kg/ha en los suelos trumaos planos.

En relación con estos valores de DO, cabe señalar que las DO menores se usarán en suelos sometidos a rotaciones adecuadas, que incluyan praderas con trébol rosado (*Trifolium pratense* L.) por ejemplo, para el caso de nitrógeno, o que hayan recibido aplicaciones previas de fósforo (efecto residual) para el

caso del fósforo. A su vez, en suelos con manejo deficiente o más húmedos, se usarán las dosis mayores de nitrógeno, e igual cosa es válida para las dosis de fósforo en los suelos pobres en este nutriente.

Por otra parte, conviene tener en cuenta que las DO no sólo dependen de las necesidades de nitrógeno y fósforo del trigo en cada grupo de suelos, sino también del costo de estos nutrientes como fertilizantes. A este respecto, cabe recordar que ellas se obtuvieron con salitre sódico, como fuente de nitrógeno, y superfosfato triple, como fuente de fósforo. Por lo tanto, al usar una fuente nitrogenada que proporcione una unidad de nitrógeno de menor costo, como ser urea o nitrato de amonio, las DO de nitrógeno serán superiores. Al contrario, el uso de fertilizantes fosfatados con costos más elevados de la unidad de fósforo que el superfosfato triple, se traducirá en una disminución de las DO de fósforo. En cuanto a un aumento del precio del trigo, ello producirá un incremento de las DO, tanto de nitrógeno como de fósforo.

En último término, cabe dejar claramente establecido que la fertilización nitrogenada y fosfatada del trigo y cualquiera otra que fuere necesaria, debe considerarse en conjunto con otras prácticas, tanto o más importantes, para lograr un nivel satisfactorio de rendimientos. Entre ellas, se pueden señalar la adecuada preparación de la cama de semilla, la siembra oportuna y con máquina, y el control de malezas, como algunas de las más importantes.

CONCLUSIONES

De la presente investigación, realizada en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín, se concluye que:

- Las dosis óptimas promedio de nitrógeno y fósforo del trigo, tanto de invierno como de primavera, serían:

a) Para nitrógeno:

- de 60 a 90 Kg/ha en los suelos trumaos de lomajes, Santa Bárbara, y
- de 80 a 110 Kg/ha en los suelos trumaos planos, Victoria, Agua Fría y Vilcún.

b) Para fósforo:

- de 180 a 220 Kg/ha, como P_2O_5 , en los suelos trumaos de lomajes, y
- de 160 a 200 Kg/ha en los suelos trumaos planos.

- Existiría un grado de asociación suficientemente alto entre las dosis óptimas de nitrógeno y fósforo del trigo, y los respectivos

contenidos asimilables de ambos nutrientes en el suelo, estimados analíticamente,

lo que permitiría diagnosticar dichas dosis óptimas mediante el análisis de suelo.

RESUMEN

En base a 42 experimentos de respuesta a nitrógeno y fósforo del trigo, realizados durante el período 1966/67 a 1968/69 en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín, se trató de determinar: 1) las dosis óptimas de nitrógeno y fósforo del trigo, y 2) el grado de asociación existente entre las dosis óptimas de nitrógeno y fósforo y los respectivos contenidos asimilables de ambos nutrientes en el suelo, estimados analíticamente.

Los suelos estudiados se agruparon en trumaos de lomajes (suelo Santa Bárbara) y en trumaos planos (suelos Victoria, Agua Fría y Vilcún).

El nitrógeno asimilable del suelo se estimó mediante el método de incubación de Keeney y Bremner, considerando, además, el nitrógeno nítrico y amoniacal inicial; el fósforo asimilable, se determinó mediante el método de Olsen modificado por Schenkel.

Las variedades de trigo usadas fueron Cappelle Desprez, de invierno, y Chifén y Pumafén, de primavera.

Los experimentos de respuesta a nitrógeno y fósforo se basaron en un diseño de tratamientos "cuadrado doble" (5 dosis de cada nutriente y 13 tratamientos). Las fuentes de nitrógeno y de fósforo fueron salitre sódico (16% de N) y superfosfato triple (47% de P_2O_5), respectivamente.

A esos valores de rendimiento de cada experimento se les ajustó una ecuación de regresión de modelo polinomial de segundo grado en dos variables (nitrógeno y fósforo aplicados). A partir de las ecuaciones, mediante derivación y en base a las respectivas razones de precios insumo-producto, se obtuvieron las dosis óptimas de nitrógeno y fósforo para cada experimento.

Se determinó que:

1. Las dosis óptimas promedio de nitrógeno y fósforo del trigo, tanto de invierno como de primavera fueron:
 - a) Para nitrógeno: 1) de 60 a 90 Kg/ha en los suelos trumaos de lomajes, y 2) de 80 a 110 Kg/ha en los suelos trumaos planos.
 - b) Para fósforos: 1) de 180 a 220 Kg/ha, como P_2O_5 , en los suelos trumaos de lomajes, y 2) de 160 a 200 Kg/ha en los suelos trumaos planos.
2. El grado de asociación entre las dosis óptimas de nitrógeno y fósforo del trigo y los respectivos contenidos asimilables de ambos nutrientes en el suelo, estimados analíticamente, fue de una magnitud tal que permitiría diagnosticar dichas dosis óptimas mediante el análisis del suelo.

SUMMARY

Based on 42 experiments on the response of wheat to nitrogen and phosphorus applied to "trumao" soils in the provinces of Malleco and Cautín, a study was made on the optimal dosis of these nutrients for wheat, and on the degree of association of these optimal dosis and the level present in the soils when determined at the assimilable state in the laboratory.

The soils under study were trumao Santa Bárbara (slopes) and trumaos Victoria, Agua Fría and Vilcún (plains).

Nitrogen in the soil was determined with the Keeney and Bremner incubation method, considering nitric and ammonium nitrate; the Olsen method, modified by Schenkel, was used for phosphorus determination.

Wheat cultivars sown in the present study were Capelle Desprez (winter), and Chiffen and Pumafer (spring).

Nitrogen was applied as sodium nitrate (16% N) and phosphorus as triple superphosphate (47% P_2O_5), both at 5 different treatment levels.

A polynomial second grade regression equation was adjusted to treatment yields obtained. Based on these equations and the price relationships of fertilizers and the production obtained, optimal dosis for nitrogen and phosphorus were calculated.

The following was concluded:

1. Optimal dosis for both winter and spring wheat cultivars were:

a) Nitrogen: — For trumaos on slopes, 60-90 Kg/ha.

— For trumaos on plains, 80-110 Kg/ha.

b) Phosphorus: — For trumaos on slopes, 180-220 Kg/ha (expressed in P_2O_5).

— For trumaos on plains, 160-200 Kg/ha.

2. The high level of association observed between the optimal dosis of nitrogen and phosphorus determined as yield response in wheat production, and content of these assimilable nutrients in the soil determined by laboratory analysis, gives good support for determination of an optimal dosis of fertilization through soil analysis.

LITERATURA CITADA

- BLEIHOLDER E., H. 1965. Factores que afectan a la fijación de fósforo en algunos suelos chilenos. Chillán, Chile, Universidad de Concepción. pp. 49-50. (Tesis Ing. Agr. mimeografiada).
- CENTRO INTERNACIONAL DE METORAMIENTO DE MAÍZ Y TRIGO. 1967. Informe 1966-67. México, D. F., México, pp. 85-93.
- EUROPEAN PRODUCTIVITY AGENCY. 1959. Economic optimum fertilizer use. Paris, Organization for European Economic Cooperation. pp. 60-76 (Documentation in Food and Agriculture).
- FRÍAS M., HERNÁN. 1967. Experimentos en los fundos sobre fertilización de trigo en Malleco y Cautín, 1966-67. Santiago, Ministerio de Agricultura, Departamento de Extensión Agrícola. 15 p.
- HEADY, EARL O. and DILLON, JOHN L. 1961. Agricultural production functions. Ames., Iowa State University Press. 667 p.
- CHILE. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE RECURSOS NATURALES-CORFO. 1964. Suelos, descripciones. Proyecto aerofotogramétrico CHILE/OEA/BID. Publicación N° 2. Santiago. pp. 15, 342, 379-381.
- CHILE. OFICINA DE PLANIFICACIÓN AGRÍCOLA. 1971. Precios nominales de los principales insumos agropecuarios. Anexo a la publicación N° 1. Precios. Ministerio de Agricultura, Santiago. 16 p.
- KEENEY, D. R. and BREMNER, J. M. 1966. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. Agronomy Journal. 58: 498-503.
- LETELIER A., ELÍAS. 1965. Uso actual y necesidad potencial de fertilizantes en la agricultura chilena (II). Agricultura Técnica (Chile). 25 (4): 137-154.
- OLSEN, STERLING R., COLE, C. V., WATANABE, FRANK, S. and DEAN, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. Washington, U. S. Department of Agriculture. Circular N° 939. 19 p.
- SCHENKEL S., GOTARDO, BAHERLE V., P., FLOODY A., T. y GAJARDO M., M. 1970. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. I. Experiencia preliminar. Agricultura Técnica (Chile). 30 (4): 173-187.
- SNEDECOR, GEORGE W and COCHRAN, WILLIAM G. 1967. Statistical methods. Ames., Iowa State University Press. 593 p.
- SOCIEDAD AGRONÓMICA DE CHILE. 1964. Mesa redonda de los suelos volcánicos. Publicación especial N° 1. Valdivia, Chile. 144 p.
- VALDÉS F., ALBERTO. 1969. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica. pp. A I. I.-A. I. 14.
- VOLKE H., VÍCTOR. 1968. Efectos del nitrógeno y del fósforo sobre el rendimiento y contenido de ambos nutrientes en trigo Cappelle Desprez. Agricultura Técnica (Chile). 28 (4): 162-168.
- . 1972. Factores de producción del trigo en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín. Agricultura Técnica (Chile). 32 (4): 189-200.
- WINKLER G., ANNELORE. 1967. Análisis de costos de producción del trigo a nivel predial en las provincias de Valdivia y Osorno, 1965-1966. Valdivia, Chile, Ministerio de Agricultura. 12 p.