

RECONOCIMIENTO E INVESTIGACION DE LOS SUELOS

CHILE

PRODUCTIVIDAD Y MANEJO
DE LOS SUELOS CHILENOS



PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO



ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA
AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION

ROMA, 1973

RECONOCIMIENTO E INVESTIGACION DE LOS SUELOS

C H I L E

PRODUCTIVIDAD Y MANEJO DE LOS SUELOS CHILENOS

Informe preparado para
el Gobierno de Chile
por
la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
en su carácter de Organismo Ejecutivo del
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO
ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION
Roma, 1973

FAO. Reconocimiento e investigación de los suelos, Chile. Productividad y manejo de los suelos chilenos. Roma, 1973. 119 páginas, 3 mapas, 21 gráficas. AGL:SF/CHI 18. Informe técnico 2.

EXTRACTO

El Gobierno de Chile, con la ayuda de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación como organismo ejecutor del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, emprendió un Proyecto de reconocimiento e investigación de los suelos de Chile, cuyas actividades se iniciaron en octubre de 1966 y concluyeron en diciembre de 1971.

El presente informe constituye el resultado de la labor realizada sobre la productividad de los suelos chilenos y las investigaciones relativas al manejo de suelos, que corresponden a las dos partes en las que está dividido el texto.

La primera parte, dedicada al estudio de la productividad de los suelos en Chile, expone en detalle el programa de investigación específico, para el cultivo del trigo en dos zonas ecológicas del país, el valle central regado entre las provincias de Aconcagua a Curicó y la precordillera andina entre las provincias de Ñuble a Malleco. Los objetivos de este programa eran estudiar la productividad del cultivo del trigo en función de los factores agroecológicos, la amplitud y la variabilidad de la respuesta a la fertilización, el efecto de los factores edáficos y ambientales sobre la intensidad de aquella respuesta en particular, y calibrar el análisis del suelo con fines de diagnóstico ulterior de las necesidades de fertilizantes. El estudio concluye que estos objetivos eran alcanzables y que es perfectamente factible, a partir de datos experimentales apropiados, llegar a poder hacer recomendaciones específicas de fertilización de un cultivo en base a una ecuación general de rendimiento y datos cuantitativos sobre los niveles alcanzados por los factores de productividad en las condiciones particulares de los predios. Las funciones de producción obtenidas para dos variedades de trigo en dos regiones ecológicas contrastantes de Chile son lógicamente muy distintas, tanto por la naturaleza de los factores de producción implicados como por la magnitud de los coeficientes de regresión respectivos. Pero ambas funciones cumplen con sus propósitos de cuantificar la productividad del trigo en función de las condiciones ecológicas imperantes en la zona. Por último, se concluye que la metodología de investigación que se estableció tiene una amplia aplicación para otros cultivos y las diversas regiones ecológicas del país.

La segunda parte está dedicada a las investigaciones sobre el manejo de suelos, principalmente en tres zonas: las tierras de secano de la costa de Valparaíso, Santiago, Colchagua y Curicó, con suelos derivados de roca granítica y de terrazas marinas muy antiguas, los suelos de cenizas volcánicas (suelos Trumao) de la precordillera, y los suelos de arcilla roja al oeste y al sudoeste de Temuco. Las investigaciones realizadas permiten afirmar que en la primera de estas zonas el mejoramiento del manejo del suelo permitiría realizar una agricultura rentable; en la segunda zona se hizo hincapié en las operaciones de labranza, mientras que en la tercera se examinaron los futuros programas de investigación. Las recomendaciones que se ofrecen atañen la labranza del suelo, en el sentido de reducirla, la rotación de cultivos y el uso de fertilizantes, la iniciación de una campaña intensiva del servicio de extensión para introducir nuevas prácticas de manejo, como la modificación del manejo de suelos para el cultivo del trigo, la introducción de sembradoras de cereales, y la capacitación de los oficiales de extensión agrícola en la interpretación de los mapas de posibilidades de aprovechamiento de la tierra para dedicarse a una campaña de enseñanza de los agricultores prestándoles asesoramiento para la utilización apropiada de las tierras.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación expresa su vivo reconocimiento a las organizaciones y personas que colaboraron en la ejecución del proyecto facilitando datos, asesoramiento y servicios.

El presente informe sobre la aplicación de una nueva metodología para cuantificar la productividad de los cultivos en función del medio ecológico es el resultado de un trabajo en equipo en el cual participaron las siguientes personas:

Manuel José Gandarillas I.	Ingeniero Agrónomo	IIA	La Platina
Ramón García L.	Ingeniero Agrónomo	IIA	La Platina
Hernán Hernández V.	Ingeniero Agrónomo	IIA	Chillán
Nicasio Rodríguez S.	Ingeniero Agrónomo	IIA	Chillán
Hernán Tejada S. M. S.	Ingeniero Agrónomo	IIA	Chillán
J. Ph. Culot	Asesor de la FAO		

La descripción y clasificación de los suelos estuvieron a cargo de J. Ph. Culot y R. Langoho, asesores de la FAO.

Los análisis estuvieron a cargo de:

Nicasio Rodríguez S.	IIA	Chillán
José Infante	IIA	La Platina

A la interpretación estadística y la programación de los cálculos sobre computadora colaboró:

Raúl Varnier	IIA	La Platina
--------------	-----	------------

Ayudaron al establecimiento de los ensayos y a su supervisión:

Emilio Daroch	Técnico Agrícola	IIA	Chillán
René Sepúlveda	Técnico Agrícola	IIA	Chillán
Robert Wolf H.	Técnico Agrícola	IIA	La Platina

La recopilación de los resultados y su redacción estuvo a cargo de:

Ramón García Lascano y J. Ph. Culot

Asimismo, se expresa el más vivo reconocimiento al Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile, y en particular a los Sres. Elías Letelier A. y Maximiliano Martínez V. por su colaboración en las labores reflejadas en este informe.

INDICE

	<u>Página</u>
PARTE 1 -- PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS CHILENOS	1
<u>Capítulo 1</u> INTRODUCCION	3
1.1 La investigación en fertilidad de suelos en Chile	3
1.2 La productividad de los cultivos en función del medio ecológico	5
1.3 Propósitos del estudio	8
<u>Capítulo 2</u> PRODUCTIVIDAD DEL TRIGO EN LAS PROVINCIAS DE ACONCAGUA A CURICO	9
2.1 Generalidades sobre el medio ecológico del área del estudio	9
2.2 Factores que inciden en la productividad del trigo en campos de agricultores en la zona comprendida entre Aconcagua y Curicó	10
2.3 Funciones de producción de trigo en la zona comprendida entre Aconcagua y Curicó	17
2.4 Calibración de la respuesta a la fertilización con el análisis de suelo	41
<u>Capítulo 3</u> PRODUCTIVIDAD DEL TRIGO EN LA PRECORDILLERA ENTRE LAS PROVINCIAS DE ÑUBLE Y MALLECO	47
3.1 Generalidades sobre el medio ecológico del área de estudio	47
3.2 Función de producción en trigo en la precordillera de Ñuble a Malleco	47
<u>Capítulo 4</u> CONCLUSIONES	67
BIBLIOGRAFIA	68
PARTE 2 -- MANEJO DE SUELOS	81
<u>Capítulo 1</u> INTRODUCCION	83
<u>Capítulo 2</u> EXAMEN DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIONES DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (IIA) SOBRE MANEJO DE SUELOS	84
2.1 La Platina	84
2.2 Quilamapu (Subestación de Humán)	85
2.3 Carillanca	85
2.4 Observaciones generales	86
<u>Capítulo 3</u> LOS PROBLEMAS DEL MANEJO DE SUELOS EN LA AGRICULTURA CHILENA Y SU IMPORTANCIA RELATIVA PARA LA PRODUCCION AGRICOLA Y LA CONSERVACION DE SUELOS	87
3.1 Los principales problemas del manejo de suelos en la agricultura chilena	87
3.2 Observaciones generales	88

	<u>Página</u>
<u>Capítulo 4</u> LABOR REALIZADA	92
4.1 Resumen	92
4.2 Investigaciones de campo sobre manejo de suelos en las tierras de secano de la costa de Valparaíso, Santiago y Colchagua	93
<u>Capítulo 5</u> RECOMENDACIONES	106
5.1 Labranza del suelo	106
5.2 Rotación de cultivos y uso de fertilizantes	106
5.3 Manejo de suelos en las tierras de secano de la costa de Valparaíso, Santiago y Colchagua	106
5.4 Capacitación	106
 BIBLIOGRAFIA SELECTA	 107

LISTA DE CUADROS

Parte 1

1. Valores promedios de rendimientos de parcelas de trigo de agricultores y algunos factores de incidencia en ellos	13
2. Correlaciones simples entre rendimiento de parcelas de trigo fertilizadas por el agricultor y factores manejables y no manejables en 45 sitios experimentales entre las provincias de Aconcagua y Curicó	13
3. Coeficientes de correlación obtenidos en 45 sitios experimentales de trigo, entre variables estudiadas, para parcelas fertilizadas por el agricultor	14
4. Correlación entre los rendimientos de parcelas fertilizadas en un nivel alto constante y factores manejables y no manejables en 45 sitios desde Aconcagua a Curicó	15
5. Combinación de tratamientos y dosis de fertilizantes empleados en los experimentos de fertilización del trigo en la zona comprendida entre las provincias de Aconcagua y Curicó - Años 1968 - 1970	18
6. Características del horizonte superficial de los experimentos de fertilización en trigo en el Llano Central	21
7. Déficit hídrico en diversos periodos fisiológicos, pluviometría, época de preparación del suelo y de siembra para 66 ensayos de fertilización de trigo en el Valle Central	24
8. Rendimientos promedios obtenidos en 66 experimentos de fertilización nitrogenada y fosfatada de trigo en el Valle Central. Los rendimientos se expresan en quintales métricos por hectárea de grano a 14% de humedad	26
9. Valores y significancia de los coeficientes de regresión de un modelo polinomial de segundo grado para expresar la respuesta a nitrógeno y fósforo de 66 experimentos de fertilización de trigo en el Valle Central entre las provincias de Aconcagua y Curicó	30
10. Coeficientes de correlación simple entre los valores de los coeficientes bi y algunos factores de clima, suelo y manejo medidos en 66 experimentos de fertilización de trigo en el Valle Central	32

	<u>Página</u>
11. Factores incluidos en las pruebas para obtener una ecuación general de rendimiento para el cultivo del trigo en el Valle Central de Chile	35
12. Coeficientes de regresión para una función de producción del trigo para el Valle Central de Chile	37
13. Recomendaciones promedias de dosis óptimas económicas de fertilización nitrogenada y fosfatada para trigo regado en el Valle Central en función de la disponibilidad de N y P del suelo	39
14. Rendimientos promedios de trigo alcanzables para cuatro tipos de suelo en condiciones óptimas de manejo en el Valle Central	40
15. Rendimientos de los testigos, expresados en porcentajes de los rendimientos máximos, disponibilidades de nitrógeno y fósforo, y valores de materia orgánica y pH de 47 suelos entre las provincias de Aconcagua y Curicó	43
16. Rendimientos obtenidos para 4 rangos de nitrógeno disponible en el suelo	45
17. Rendimientos obtenidos para 4 rangos de P disponible en el suelo	45
18. Combinación de tratamientos y dosis de fertilizantes empleados en los experimentos de fertilización del trigo en la zona precordillerana de las provincias de Ñuble a Malleco - Años 1968-1970	49
19. Características del horizonte superficial de 37 experimentos de fertilización en trigo en la zona precordillerana de las provincias de Ñuble a Malleco	50
20. Distribución de las lluvias, precedente cultural, época de siembra, pendiente y altura en 37 sitios de experimentación de fertilización de trigo en la precordillera de Ñuble a Malleco	51
21. Rendimientos promedios en 37 experimentos de fertilización nitrogenada y fosfatada de trigo en la precordillera de Ñuble a Malleco	53
22. Valores y significancia de los coeficientes de regresión de un modelo polinomial de segundo grado para expresar la respuesta a nitrógeno y fósforo de 37 experimentos de fertilización de trigo en la zona precordillerana de las provincias de Ñuble a Malleco	55
23. Coeficientes de correlación simple entre los valores de los coeficientes bi y algunos factores de clima, suelo y manejo medidos en 37 experimentos de fertilización de trigo en la precordillera de las provincias de Ñuble a Malleco	57
24. Matriz de correlación entre sí de los factores de clima, suelo y manejo medidos en 37 experimentos de fertilización de trigo en la precordillera de las provincias de Ñuble a Malleco	58
25. Factores incluidos en las pruebas para obtener una ecuación general de rendimiento para el cultivo del trigo en la precordillera de Ñuble a Malleco en el sur de Chile	59
26. Coeficientes de regresión para una función de producción del trigo en la precordillera andina entre las provincias de Ñuble a Malleco	60
27. Recomendaciones promedios de dosis óptimas económicas de fertilización nitrogenada y fosfatada para trigo regado en la precordillera de las provincias de Ñuble a Bío-Bío en función de la disponibilidad de N y P del suelo	62
28. Matriz de correlaciones totales entre los diversos factores, 68/70	65

Parte 2

1. Area sembrada de trigo en las provincias de Valparaíso, Santiago y Colchagua (dentro de la esfera de competencia de la Estación Experimental La Platina)	94
2. Análisis de suelos (Valores medios por lugar)	98

LISTA DE GRAFICAS

	<u>Página</u>
<u>Parte 1</u>	
1. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre los rendimientos de trigo de Aconcagua y Curicó	69
2. Contribución al rendimiento de algunos factores de suelo y manejo para trigo regado	70
3 y 4. Curvas de respuesta a nitrógeno y fósforo para trigo	71
5. Rendimientos de trigo en función de la fertilización nitrogenada para distintos índices de déficit hídrico	72
6. Relación entre el rendimiento del testigo expresado en % del rendimiento máximo al aplicar nitrógeno y disponibilidad del elemento en el suelo	73
7. Relación entre el rendimiento del testigo expresado en % del rendimiento máximo al aplicar fósforo y disponibilidad del elemento en el suelo	74
8. Contribución al rendimiento de algunos factores de suelo y manejo para trigo en suelos derivados de cenizas volcánicas en las provincias de Ñuble a Malleco	75
9. Curvas de respuesta a nitrógeno para trigo en la precordillera de las provincias de Ñuble a Malleco	76
10. Curvas de respuesta a fósforo para trigo en la precordillera de las provincias de Ñuble a Malleco	76
<u>Parte 2</u>	
1. Trigo 1969 - Efecto de la modificación de siembra	109
2 y 3. Trigo 1969 - Respuesta a la fertilización con nitrógeno bajo diferentes métodos de manejo	110-111
4 y 5. Trigo 1969 - Respuesta promedio a la fertilización con diferentes combinaciones de nitrógeno y fósforo	112-113
6. Trigo 1969 - Respuesta a la fertilización con nitrógeno en distintas condiciones de humedad disponible	114
7. Trigo 1970 - Efecto promedio del método de la siembra en surcos profundos a 35 cm entre surcos	115
8. Trigo 1970 - Respuesta a la fertilización con nitrógeno en distintas condiciones de humedad disponible	116
9. Trigo 1970 - Respuesta a la fertilización con nitrógeno para diferentes métodos de siembra	117
10. Trigo 1970 - Efecto del método de siembra sobre el rendimiento de 3 distintas variedades	118
11. Trigo 1970 - Interacción variedad por respuesta al nitrógeno	119

LISTA DE MAPAS

<u>Parte 1</u>	
1. Subdivisión geomorfológica de Chile	77
2. Distribución geográfica de 66 experimentos de fertilización en trigo	78
3. Distribución geográfica de 37 experimentos de fertilización en trigo de secano	79

Parte 1

PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS CHILENOS

Capítulo 1

INTRODUCCION

La producción agrícola, particularmente bajo condiciones de agricultura intensiva, es una actividad económica compleja y el productor se enfrenta permanentemente al dilema de elegir entre varias alternativas, la combinación de cultivos y prácticas de manejo aplicables a las condiciones específicas de su establecimiento que maximice sus ingresos. Es función de la investigación la de perfeccionar las bases técnicas cuantificadas en términos de insumos e ingresos, que ayuden al productor en la toma de decisiones.

La productividad de un cultivo tiene una relación causal con los factores de suelo, clima y manejo, cuya combinación constituye un sistema y el nivel de rendimiento alcanzado resulta de la interrelación de los niveles de estos factores, entre los cuales la fertilización juega un papel preponderante. En efecto, se ha observado que las cantidades de fertilizantes necesarias para alcanzar una producción económica óptima de un cultivo sufren amplias variaciones dentro de una región y de año en año. Como consecuencia, beneficios potenciales se ven perdidos, ya sea porque la fertilización es insuficiente para lograr el rendimiento potencial o porque supera los requerimientos, lo que aumenta los costos y posiblemente puede llegar a deprimir los rendimientos. La variabilidad en los requerimientos de fertilizantes puede atribuirse a varios factores como, por ejemplo, diferentes métodos de manejo del suelo y del cultivo, diferentes grados de infestación por malezas, plagas y enfermedades, diferencias en las calidades de los suelos y su dotación de elementos nutritivos y variaciones climáticas durante la temporada de crecimiento. Para un programa regional de investigaciones en fertilidad de suelos, no basta entonces con establecer indicaciones generales sobre las necesidades de fertilizantes de los cultivos en esa región, sino que debe tender a estimar estos requerimientos para las condiciones específicas que se encuentran en los predios. Sobre este planteamiento básico descansa todo el programa de la línea de fertilidad de suelos del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile, al cual el proyecto de estudios y reconocimiento de los suelos de Chile prestó su apoyo.

1.1 LA INVESTIGACION EN FERTILIDAD DE SUELOS EN CHILE

El consumo promedio de fertilizantes en Chile, según fuentes recientes (FAO, 1970), es de 33 kg/ha de tierra arable, el segundo en orden de importancia en América Latina. Sin duda esto se debe a la situación privilegiada de Chile como productor de nitratos naturales, lo que favoreció el empleo temprano de fertilizantes nitrogenados, así como a la tecnificación avanzada de la agricultura en la zona de regadío del centro del país. Pero dicho consumo también fue promovido por el respaldo técnico que los agricultores recibieron por parte del Ministerio de Agricultura en los últimos treinta años.

En efecto, ya en el año 1939, el departamento de genética y fitotecnia de este Ministerio inició, con una serie de experimentos de fertilización en trigo en sus campos experimentales a lo largo del país, lo que puede considerarse como la experimentación moderna sobre fertilidad de los suelos y el uso racional de los fertilizantes en Chile. Estos experimentos que tenían como propósito el ubicar las regiones donde se producían respuestas a los elementos nutritivos principales - nitrógeno, fósforo y potasio - y al encalado prosiguieron hasta 1946. Permitieron destacar la

generalidad del efecto del nitrógeno, la generalidad del efecto del fósforo y su intensificación hacia el sur del país, particularmente en suelos derivados de cenizas volcánicas, el efecto escaso y errático del potasio y la restricción del efecto del encalado a los suelos ácidos, graníticos y rojo-arcillosos. Cabe mencionar aquí que ya en aquella época los investigadores chilenos no trataron solamente de estudiar una repartición geográfica del efecto de los fertilizantes, sino de vincularlo a la naturaleza de los suelos.

En base a estos resultados preliminares, el programa se amplió progresivamente en los años subsiguientes para abarcar las mayores regiones ecológicas y los mayores suelos del país y los principales cultivos en cada uno de ellos. Se diversificó con estudios de interacciones entre nutrientes, determinaciones de dosis óptimas, correlación entre efecto de fertilizantes y análisis de suelos, estudios sobre época de aplicación del nitrógeno y fraccionamiento de dosis, comparación entre abonos fosfatados, estudios sobre encalado y posibles deficiencias en otros elementos que los clásicos NPK, entre ellos azufre y boro. Las conclusiones de esta extensa experimentación han sido sintetizadas por Letelier y otros (1961) y Letelier (1967).

Paralelamente, el servicio técnico de la Industria Azucarera Nacional (IANSA) estableció un programa extenso entre las provincias de Curicó y Llanquihue para estudiar la fertilización de la remolacha, cuyos resultados fueron sintetizados por Letelier (1969) y difundidos entre los agricultores por la misma empresa.

La creación en 1964 del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, y el establecimiento en su seno de una línea de fertilidad del suelo, marca una nueva etapa en el desarrollo de los estudios sobre fertilidad y manejo de los suelos en Chile. En efecto, todos los programas relativos y hasta la fecha dispersos que se llevaban a cabo en distintas zonas del país por el Ministerio de Agricultura, fueron reagrupados en los siguientes temas de investigación:

- propiedades de los suelos agrícolas
- exploración de deficiencias nutritivas
- determinación de las necesidades de fertilizantes mediante análisis del suelo
- manejo de los suelos
- tecnología del uso de fertilizantes
- microbiología del suelo
- salinidad y alcalinidad de suelos y aguas
- ecología
- productividad de los cultivos

La simple enumeración de estos temas basta por sí sola para ilustrar el alcance de los estudios sobre fertilidad del suelo en el país. La reagrupación en temas dentro de una sola línea de todas las actividades relacionadas resultó en una mayor coordinación y en una unificación de los métodos de trabajo. Promovió además la integración de las investigaciones y hoy día se están cubriendo progresivamente todos los aspectos importantes de la relación suelo-clima-cultivo, incluyendo el manejo del primero, que permiten explicar los niveles de rendimiento alcanzados por distintos cultivos en las principales zonas ecológicas del país y derivar recomendaciones de manejo y fertilización específicas para situaciones ecológicas determinadas. Tres laboratorios de análisis de suelos y plantas en las estaciones experimentales de Carillanca, Chillán y La Platina apoyan los ensayos de campo e invernadero y participan activamente en el programa de la línea.

Es dentro de ese marco que el componente fertilidad y manejo del proyecto de estudios y reconocimiento de los suelos chilenos se integró en 1967 para prestar apoyo al programa en general y desarrollar estudios específicos en nuevas áreas de investigación. El conjunto de los resultados obtenidos por la línea de suelos desde la creación del Instituto en julio de 1964 hasta junio de 1970 fueron analizados bajo la dirección de E. Letelier y están publicados en los capítulos fertilidad del suelo y productividad de los cultivos en el libro "Investigaciones Agropecuarias" del Instituto (An., 1971) en donde además se encuentra una extensa bibliografía sobre temas particulares.

Entre las nuevas áreas de investigación que el proyecto apoyó con mayor énfasis figura el tema de productividad de los cultivos, el que trata de sintetizar bajo el común denominador del rendimiento, el conjunto de los efectos de los factores del medio ambiente sobre la producción. El presente informe relata las actividades de la línea de fertilidad de suelos del Instituto al respecto, entre los años 1968 y 1970. Estas tenían más bien como propósito el establecimiento de una metodología de trabajo aplicable en el futuro, y es por eso que en los capítulos que siguen se hace particularmente hincapié a los procedimientos experimentales y de interpretación que hay que seguir para alcanzar tales funciones que cuantifican los efectos de los factores de producción y atribuyen a cada cual su importancia relativa en el logro de determinados niveles de rendimiento para un cultivo.

1.2 LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CULTIVOS EN FUNCION DEL MEDIO ECOLOGICO

Los temas de evaluación cuantitativa de la productividad de los suelos, de la predicción de rendimientos de los cultivos y de la contribución de los factores o parámetros relevantes bajo diversas condiciones de suelo, clima y manejo, son a la vez complejos y difíciles de estudiar.

Si consideramos los factores que condicionan los rendimientos de los cultivos e influyen sobre los resultados económicos de la agricultura, se les puede agrupar en dos categorías (Pesek, 1966).

Factores no controlables, es decir, aquellos que aunque cuantificables, están determinados por el ambiente y no pueden ser modificados fácilmente. Corresponden a los factores climáticos, tales como distribución de pluviometría y temperaturas y a factores edáficos, tales como profundidad del suelo, drenaje interno, pendiente, profundidad del horizonte superficial, clase textural, contenido de materia orgánica, disponibilidad de nutrientes y en general las características físico-químicas del complejo coloidal. Entran en la misma categoría los factores socio-económicos que indudablemente gravitan también en la productividad, pero que no cabe analizar aquí.

Factores controlables, es decir, aquellos que el agricultor puede manejar en intensidad, duración y época. Entrarían en esta categoría las prácticas culturales, tales como elección de variedad, época y densidad de siembra, época y forma de preparación del suelo, labores culturales, control de malezas, plagas y enfermedades, rotación de cultivos, fertilización, y en el caso de una agricultura de regadío, frecuencia y eficiencia del riego.

Numerosas publicaciones en el campo de la fertilidad del suelo están dedicadas a la discusión de estos factores. Sin embargo, no se está dando la debida atención a la interacción entre ellos, a pesar de que ésta haya sido reconocida en los últimos años (Voss y Pesek, 1967). La respuesta a la fertilización, por ejemplo, no puede ser analizada correctamente si no se la considera en relación con varios de los factores mencionados.

Desgraciadamente la evaluación de estos factores y de sus interacciones está impedida porque faltan o son inadecuadas las mediciones cuantitativas sobre clima, antecedentes culturales, plagas y enfermedades, variedades, suelos y los demás.

Quantificar el efecto de estos factores sobre la producción no es tarea fácil, pero los conceptos con respecto a la experimentación del campo están cambiando, y las tentativas de integración de algunos factores de suelo, planta, clima y manejo ya realizadas en algunos estudios pueden servir de guía (Voss y Pesek, 1967; Laird y Cady, 1969).

Hasta una fecha reciente, la única metodología de experimentación vigente consistía en estudiar el efecto de un número reducido de factores manejables en diseños factoriales en los cuales se hacía variar experimentalmente y en forma sistemática el nivel de aquéllos, manteniendo los demás a un nivel constante. Esta metodología aporta información valdadera para las condiciones específicas en las cuales el experimento se realiza, pero no resuelve el problema de la utilización de la información así adquirida para otras condiciones ecológicas. Eso explica la multiplicación de los experimentos y su repetición año tras año sin que aporten necesariamente mayor información que la de carácter particular, así como la dificultad de llegar a recomendaciones de fertilización para el rango amplio de condiciones específicas de producción que se encuentran en una zona. Sin embargo, hacen falta pautas para interpolar resultados de investigaciones de un suelo a otro y desde distintas condiciones de suelo y clima.

Solo un análisis multifactorial permite considerar conjuntamente un grupo más numeroso de factores en su relación con la producción. Aunque conocido, el método no tenía aplicación práctica por los problemas de computación que implica y es solamente en los últimos años cuando, gracias al potencial de cálculo de las computadoras, que el análisis multifactorial ha llegado a constituir una herramienta, ahora imprescindible, para los estudios de productividad de los cultivos y de fertilidad del suelo.

Aún así, por razones de carácter conceptual (Walker *et al.*, 1969) existen límites en el número de factores que pueden considerarse conjuntamente para cuantificar la productividad de un cultivo en función de ellos. Sin embargo, asumiendo que se conozcan ya cualitativamente por experiencia previa los más importantes, el problema puede circunscribirse a tratar de generar, para condiciones ecológicas determinadas, una función de rendimiento que involucre además de las variables fertilizantes y nutrientes en el suelo, aquellos factores que se suman o interaccionan con los primeros para lograr determinados niveles de producción.

Existen dos vías para recolectar datos que se presten al análisis cuantitativo de la relación entre la producción de un cultivo y los factores que inciden en ella (Ferrari, 1965).

En la vía "no manipulativa" los datos cuantitativos surgen de observaciones y mediciones de los rendimientos y de los factores que se consideran importantes en una serie de sitios de observación distribuidos en siembras o cultivos de la zona de estudio. Los sitios de observación, siembras del agricultor en general, se eligen para cubrir, en la medida de lo posible, todo el rango de variación que cada uno de los factores considerados puede alcanzar. Esa vía no manipulativa, interesante en una primera aproximación, tiene sin embargo un limitante grave en el hecho de que el rango cubierto por una variable dentro de una zona puede no llegar a incluir valores óptimos, y en consecuencia afectar la validez de las relaciones cuantitativas derivadas para esta variable, así como para los factores que interaccionan con ella.

En la vía "manipulativa", se establece una red de experimentos en campos de agricultores, en cada uno de los cuales se mide el efecto sobre los rendimientos de la variación sistemática y experimental de algunos factores que se sabe no alcanzan un valor óptimo en las condiciones ecológicas y de manejo imperantes en la zona. Los sitios se eligen para cubrir todo el rango de variación que el valor de los demás

factores considerados como importantes puede alcanzar, los cuales se cuantifican en cada sitio. El conjunto de datos así logrados sirve al establecimiento de las relaciones rendimientos-factores que permiten llegar a la función de rendimiento aludida.

Son éstos, brevemente esbozados, los métodos modernos de investigación en fertilidad de suelos que ahora empiezan a desarrollarse. Son todavía escasos los estudios publicados al respecto, pero sus conclusiones son muy alentadoras por su alcance, si se las compara con aquéllas obtenidas por métodos más tradicionales (Voss y Pesek, 1967, Voss et al., 1970, Laird y Cady, 1969).

Para la utilización exitosa de aquellos métodos, hay sin embargo algunas exigencias que se necesita respetar.

En primer lugar, el nivel de los factores debe ser medido, sea a nivel de sitio o de parcela, y surgen dificultades al respecto cuando se trata de cuantificar factores como el tipo de rotación o el antecedente cultural, los daños por plagas, la influencia del enmalezamiento, la estructura del suelo y en general factores que se prestan mejor a observaciones aproximadas o cualitativas que a mediciones exactas. Aquí, el investigador debe recurrir a los recursos de su experiencia y de su imaginación creativa para encontrar una forma satisfactoria de resolver el problema. A veces, el uso de una variable "dummy" puede ser la solución, aunque no del todo satisfactoria (Draper y Smith, 1967).

Importante, esencial se debería decir, para el establecimiento de relaciones que tengan sentido, es la estandarización de las técnicas de campo y mediciones, tanto para lograr datos compatibles, como para reducir el error experimental.

Además, para determinar la influencia de un rango amplio de varios factores no controlables, se debe considerar un número suficiente de sitios. Estos no se deben elegir al azar, sino que deben seleccionarse para cubrir adecuadamente y con una densidad aproximadamente pareja todo el rango de variación de los factores estudiados. Como cada sitio se caracteriza por una combinación de niveles definidos para los distintos factores a tomar en cuenta, el número de sitios experimentales debe superar el número de factores incluyendo las interacciones que participan de la función de rendimientos, y Pesek (1966) estima que un exceso de por lo menos 15 sitios, sobre el número de factores considerados es necesario a fin de alcanzar un número de grados de libertad al error adecuado para las pruebas estadísticas de la ecuación de regresión.

No basta, sin embargo, cumplir con estos requisitos y contar con un conjunto de datos experimentales y mediciones adecuadas para alcanzar la función de rendimiento. También se debe tener un modelo matemático que exprese adecuadamente la relación continua entre la producción considerada como variable dependiente y los factores considerados como variables independientes. Aun cuando la forma matemática de la función se desconozca, es posible utilizar modelos estadísticos que la aproximen con un grado de precisión razonable y permitan estimar sus parámetros. Los rendimientos pueden así predecirse para valores determinados de los factores considerados en ella, y se les puede atribuir a estas predicciones límites de confianza utilizando las técnicas estadísticas. Varios modelos han sido utilizados desde que en 1909 Mitscherlich propuso su conocida ley de los incrementos menos que proporcional, y le debemos a Heady y Dillon (1961) entre otros un exhaustivo análisis de sus respectivas ventajas. Más frecuentemente se han considerado las funciones polinomiales para el análisis multifactorial en el campo de la agricultura, y particularmente las funciones cuadrática y de raíz cuadrada, las cuales tienen la muy deseable propiedad de permitir el cálculo de óptimos económicos.

Como en ellos se asume la ya alegada continuidad de la función de rendimiento, pierde utilidad el análisis de varianza como herramienta estadística, dada su finalidad eminentemente cualitativa, y a aquélla se sustituye el análisis de regresión múltiple. Este último permite estimar en base a datos experimentales apropiados, los términos de la función aproximativa de rendimiento, la cual tiene la suficiente flexibilidad y amplitud como para incluir como variables independientes, no sólo los fertilizantes sino también la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y otros factores de producción mencionados. En cuanto a la información necesaria para ajustar la producción a niveles lucrativos de operación, ésta se deriva de la función de rendimiento utilizando el análisis económico.

Existen por lo tanto dos razones importantes que justifican el empeño que se está poniendo en tratar de establecer estas funciones de rendimiento: una razón práctica inmediata, que es ayudar a los productores en la elección de las prácticas de manejo más beneficiosas para la producción. Una razón más de fondo, que es obtener una mejor comprensión de las interrelaciones básicas del ambiente, del manejo del suelo, del cultivo y de la producción, no solamente para su propio fin, sino también para la transferencia de experiencias adquiridas en una región a las demás que comparten condiciones ecológicas similares.

1.3 PROPOSITOS DEL ESTUDIO

Adoptando el planteamiento que acabamos de describir brevemente, se estableció un programa de investigación específico para el cultivo del trigo en dos zonas ecológicas del país, el valle central regado entre las provincias de Aconcagua a Curicó y la precordillera andina entre las provincias de Nuble a Malleco, con el fin de

- estimar la productividad de este cultivo en función de los distintos factores ecológicos imperantes en aquellas zonas;
- estudiar la amplitud y la variabilidad de la respuesta a la fertilización, incluyendo la interacción entre los nutrientes agregados;
- estudiar el efecto de los factores edáficos y ambientales sobre la intensidad de aquella respuesta en particular;
- calibrar el análisis del suelo con fines de diagnóstico ulterior de las necesidades de fertilizantes;
- llegar a poder hacer recomendaciones específicas de fertilización para los agricultores en base a la ecuación general de rendimiento para el cultivo y los niveles alcanzados por los factores de productividad en las condiciones particulares de sus predios.

Capítulo 2

PRODUCTIVIDAD DEL TRIGO EN LAS PROVINCIAS DE ACONCAGUA A CURICO

2.1 GENERALIDADES SOBRE EL MEDIO ECOLOGICO DEL AREA DEL ESTUDIO

El área del estudio abarca el valle del Aconcagua y el valle Central de Chile entre los paralelos 32°40' y 35°00' de latitud sur. Está dedicada a una agricultura intensiva bajo condiciones de riego, y se ha alcanzado un nivel de productividad relativamente alto en comparación con el resto del país. Desde temprano el uso de fertilizantes ha sido incluido como práctica normal, aunque involucre un costo bastante alto dentro de los insumos.

Las mejores tierras tienden a ser ocupadas por frutales, pero la mayoría de las superficies cultivadas están ocupadas por sembradas dentro de una rotación de cultivos anuales en la cual el trigo sigue al maíz u otros cultivos de chacras, frecuentemente interrumpida por praderas artificiales regadas de corta duración. El trigo se riega en la estación seca que comienza a partir del mes de septiembre correspondiente al principio del verano.

2.1.1 El clima

El clima del área es de tipo mediterráneo marítimo (6.22, 6.23, 6.24, 6.27 según Papadakis) con máximas medias superiores a 25° en los meses de verano, siendo esto excepcional para este tipo de clima y atribuible a las condiciones topográficas del llano. La temperatura media anual disminuye de norte a sur, mientras aumentan las precipitaciones.

El invierno es de tipo Ci (Papadakis, 1970), es decir que el mes más frío se presenta con una temperatura media mínima comprendida entre -2,7° y 7°C, y temperaturas máximas y mínimas medias comprendidas entre 10 y 21° y superiores a 8°C, respectivamente. En verano es de tipo O, es decir, con temperatura media diaria comprendida entre 21 y 25°C para los seis meses que van desde octubre a marzo. El régimen de pluviosidad es de tipo Me a ME, mediterráneo seco a húmedo y la lluvia anual alrededor de 400 mm no alcanza a cubrir la evapotranspiración potencial. Hay cinco meses secos.

2.1.2 Los suelos

Fisiográficamente el Valle Central es una depresión tectónica en parte rellenada por sedimentos fluvioglaciales y aluviales, encerrada entre la Cordillera de los Andes al este y la Cordillera de la Costa al oeste. Transversalmente, el valle está cortado por ríos y esteros de régimen mixto, pluvial y nival, sujetos a fuertes y repentinas crecidas. Entre Aconcagua y Curicó, la subdivisión geomorfológica de Bürgel (mapa 1) distingue un área de sedimentación fluvial de los ríos Aconcagua, Maipo, Cachapoal, Tinguiririca y Chimbarongo, un área de las cuencas del llano Central (llano del Maipo, de Rancagua y de San Fernando) y la parte norte del llano Central longitudinal a la altura de Curicó. La topografía es plana con leve declive hacia el oeste e interrumpida por la presencia de cerros transversales y cerros islas.

El área estudiada se extiende en estas tres formaciones, abarcando una gama extensa de suelos representativos del valle Central.

- i) En el área de sedimentación fluvial, predominan suelos recientes de escasa diferenciación de horizontes. Una secuencia topográfica típica puede encontrarse de acuerdo a la ubicación respecto al lecho del río ya que tiende a aumentar la profundidad y ponerse más fina la textura a medida que se aleja de aquél. Los suelos cercanos al río son inceptisoles o entisoles pasando progresivamente a molisoles y, por ende, a vertisoles, los cuales ocupan las depresiones bordeadas por los cerros transversales y la cordillera de la Costa. La mayoría de los molisoles y vertisoles son imperfectamente drenados y presentan horizontes cálcicos en la zona de fluctuación de la capa freática, la cual tiende a subir en verano a consecuencia del riego. Asimismo, se presentan problemas de salinidad moderada en partes de los valles de Aconcagua y Maipo en su penetración dentro de la cordillera de la Costa.

El fenómeno de calcificación en las áreas de sedimentación fluvial disminuye en intensidad hacia el sur. Ya reducido en el valle del río Cachapoal, desaparece casi por completo en el valle del río Tinguiririca.

- ii) En las cuencas del llano Central predominan suelos delgados sobre sedimentos fluvioglaciales, con fuerte proporción de cantos rodados, los que se encuentran en general a profundidades inferiores a un metro. La mayoría son de textura franca a franco-limosa y pertenecen al orden de los inceptisoles. Existen, sin embargo, áreas pequeñas de suelos más desarrollados y de perfil más diferenciado con fuerte horizonte argílico de color rojizo, pertenecientes al grupo de los alfisoles, los que parecen relacionados con sedimentos más antiguos. Además es bastante común encontrar estos suelos decapitados y enterrados por debajo de los inceptisoles antes mencionados. La presencia de los alfisoles es más frecuente en el llano de San Fernando en donde, por lo demás, la distinción entre el área de sedimentación es más difícil de apreciar.
- iii) La parte del llano Central longitudinal abarcada por este estudio, está dominada por la formación del Teno, antigua brecha sobre la cual descansa un suelo poco profundo perteneciente también al grupo de los alfisoles, pero imperfectamente a pobremente drenado. Al norte de esta formación, la llanura tiene la misma característica que las cuencas del llano Central con su asociación de inceptisoles y alfisoles, existiendo además una notable influencia de cenizas volcánicas en los inceptisoles cercanos a la localidad de Esmeralda.

De norte a sur del área, los suelos pasan de una reacción alcalina o neutra a una reacción levemente ácida de acuerdo con el aumento de la pluviosidad y la calidad de las aguas de riego, siendo las del llano del Maipo muy calcarías, lo que a la larga ha inducido un aumento de carbonato de calcio del orden del 5 por ciento del horizonte superficial.

2.2 FACTORES QUE INCIDEN EN LA PRODUCTIVIDAD DEL TRIGO EN CAMPOS DE AGRICULTORES EN LA ZONA COMPRENDIDA ENTRE ACONCAGUA Y CURICO

Hemos visto en el capítulo de introducción que dada la complejidad de los factores que determinan el rendimiento de una especie cultivada, los investigadores tratan generalmente de aislar los fenómenos y estudiarlos por separado, con el fin de encontrar los mecanismos que los rigen y conocer su importancia en la producción. A tal efecto, controlan en la medida de lo posible o mantienen a un nivel fijo los factores manejables, tanto del suelo como del cultivo, que no constituyen el objeto específico de la experimentación. Al utilizar el agricultor los resultados así logrados, surge la dificultad de definir en qué grado la optimización recomendada se ve afectada cuando los demás factores de producción sufren las amplias variaciones

que suelen ocurrir en los cultivos de una zona. Sin embargo, teniendo un conocimiento cabal de cómo los rendimientos obtenidos por los agricultores pueden fluctuar por variaciones en los factores de clima, suelo y manejo, es posible obviar el inconveniente, ubicando en su contexto ecológico el fenómeno estudiado.

Quantificar en el cultivo del agricultor los factores de producción y asociarlos a los rendimientos obtenidos puede realizarse estableciendo una red de observaciones en sitios elegidos para alcanzar una amplia variedad de condiciones ecológicas. Supone que el nivel medio de tecnificación de la agricultura es ya bastante elevado, como ocurre en el valle Central de Chile. Un primer estudio de esta índole sobre la productividad del maíz en la provincia de Santiago arrojó conclusiones interesantes (Gandarillas *et al.*, 1968) y una metodología de trabajo similar se siguió para el presente estudio.

2.2.1 Método experimental

Se ubicaron en siembras de trigo, comprendidas entre Aconcagua y Curicó, 45 sitios de observación en campos del agricultor, estableciéndose 2 parcelas. Una de ellas contenía la fertilización del agricultor y en la segunda se completó, a una dosis estimada no limitante, de 100 kg/ha de N y 200 kg/ha de P₂O₅.

En la medida de lo posible, se trató de abarcar una amplia variación para los factores estudiados, a fin de cubrir sus valores cuantitativos con igual densidad de observación en toda su extensión. En otras palabras, se consideraron las siembras de los agricultores como una población multivariable que puede muestrearse por mediciones cuantitativas de dichas variables.

Respecto a los tipos de suelos en que estas parcelas estaban ubicadas, corresponden en su mayoría (60 por ciento) a suelos aluviales recientes de textura media, descansando sobre ripio a profundidad variable (entisoles e inceptisoles). Otro grupo (35 por ciento), corresponde a suelos arcillosos de mayor contenido en materia orgánica y de drenaje imperfecto (molisoles y vertisoles). Un tercer grupo (5 por ciento) de suelos antiguos rojizos con desarrollo de perfil, que tienen la característica de tener un horizonte B textural (alfisoles).

La experiencia se llevó a cabo bajo condiciones de riego, durante la época de cultivo 1968-69.

Se midieron un total de 23 variables, a saber:

1. Rendimiento
2. Número de labores
3. Días entre rotura y siembra
4. Fecha de siembra
5. Nitrógeno aplicado como fertilizante por el agricultor
6. Fósforo aplicado como fertilizante por el agricultor
7. Porcentaje de malezas entre siembra y macolla
8. Porcentaje de malezas entre macolla y encañado
9. Porcentaje de tendidura
10. Pluviometría durante el cultivo
11. Número de riegos
12. Días de déficit hídrico entre encañado y espigazón total

13. Días de déficit hídrico entre espigazón total y formación del grano lechoso
14. Profundidad del suelo
15. Profundidad del horizonte humífero (A)
16. Profundidad de la napa de agua
17. Conductividad del extracto saturación del horizonte A
18. pH del mismo
19. Capacidad de intercambio de cationes del mismo
20. Porcentaje de carbonato de calcio del mismo
21. Materia orgánica del mismo
22. Fósforo en partes por millón (ppm) del mismo
23. Porcentaje de arcilla del mismo

Las observaciones se hicieron en siembras de la variedad Huelquen, de alto rendimiento potencial, que es utilizada por un 85 por ciento de los agricultores. La densidad de siembra no se retuvo como variable, ya que no fluctúa suficientemente alrededor de 120 kg/ha como para influir sobre los rendimientos en forma significativa.

Mediante correlaciones totales de los factores con los rendimientos y de los factores entre sí, se determinó el grado de asociación e importancia de los factores considerados en el rendimiento del trigo. Se propusieron además varias alternativas de regresión para expresar los rendimientos en función de grupos de factores elegidos a partir del estudio de correlación.

2.2.2 Resultados y discusiones

En el cuadro 1 aparecen los valores promedios de un grupo de factores en parcelas testigo y con fertilización suplementaria, que permiten formarse una idea de algunas características importantes del cultivo de trigo en la zona.

Del mismo cuadro se desprende que las parcelas testigo del agricultor tuvieron menor rendimiento promedio (35,9 quintales contra 45,9), de lo que se concluye que la fertilización hecha por el agricultor dista mucho todavía de alcanzar un nivel adecuado. Cabe hacer notar aquí por otra parte la altura del rendimiento promedio ya alcanzado por el agricultor en el área.

i) Parcelas fertilizadas por el agricultor

Los rendimientos mostraron una correlación significativa con seis factores, como puede deducirse del cuadro 2.

Cuadro 1

VALORES PROMEDIOS DE RENDIMIENTOS DE PARCELAS DE TRIGO DE AGRICULTORES
Y ALGUNOS FACTORES DE INCIDENCIA EN ELLOS

F A C T O R	Expresado en	Testigo del agricultor valor promedio	Fertilizado valor promedio
Rendimiento	qq/ha	35,9	45,9
Nitrógeno aplicado al cultivo	kg/ha	45,2	100
Fósforo " " "	kg/ha	50,0	200
% malezas siembra-macolla	%	23,6	20,6
% malezas macolla-encañado	%	28,3	27,9
% tendidura	%	5,9	11,2
Pluviometría (durante el cultivo)	mm	79,7	79,7
Déficit hídrico entre espigazón total y grano lechoso	días	12,5	15,1
Profundidad del horizonte A	cm	20,9	20,9
Capacidad intercambio catiónico - horizonte A	meg/100 g	28,6	28,6
Arcilla % - horizonte A	%	32,3	32,3

Cuadro 2

CORRELACIONES SIMPLES ENTRE RENDIMIENTO DE PARCELAS DE TRIGO FERTILIZADAS
POR EL AGRICULTOR Y FACTORES MANEJABLES Y NO MANEJABLES EN 45 SITIOS
EXPERIMENTALES ENTRE LAS PROVINCIAS DE ACONCAGUA Y CURICO

F A C T O R	r
Días entre rotura y siembra	0,72 **
Fertilización nitrogenada	0,89 **
Días de déficit hídrico entre espigadura y grano lechoso	-0,33 *
Profundidad del horizonte A	0,43 **
% Carbonatos del suelo	0,39 **
% Materia orgánica	0,35 *

Nivel de significancia: 1% = 0,373 (**)

5% = 0,288 (*)

Tres de los factores que resultaron significativos son manejables, es decir susceptibles de ser mejorados con prácticas culturales adecuadas. En orden de importancia, las prácticas manejables de mayor incidencia en los rendimientos según los resultados de la correlación total fueron: fertilización nitrogenada, días entre la rotura del suelo y la siembra, déficit hídrico entre la espigazón total y el grano lechoso. La fertilización nitrogenada fue el factor más importante que afectó los rendimientos; en promedio, las parcelas del agricultor presentaron una aplicación de nitrógeno de 45,2 kg/ha, lo que se puede considerar insuficiente para las condiciones del valle Central regado. En la gráfica 1, se aprecia el efecto de la fertilización sobre los rendimientos y se puede observar que con adiciones de más de 100 kg de nitrógeno por ha, los rendimientos siguen aumentando en forma lineal.

Otro factor significativo y probablemente relacionado directamente con el nitrógeno, es el tiempo transcurrido entre la primera labor y la siembra, ya que la mineralización de la materia orgánica experimentaría un aumento al romperse el suelo más tempranamente, debido a mejores condiciones de aireación y temperatura. Es lógico esperar que este factor apareciera asociado con los rendimientos en condiciones de fertilización nitrogenada baja, ya que contribuiría en mayor proporción al aporte de nitratos del suelo a la nutrición del cultivo que bajo condiciones de fertilización nitrogenada alta y no limitante.

Los factores no manejables, que afectaron significativamente los rendimientos fueron, en orden de importancia: profundidad del horizonte A, porcentaje de carbonatos y porcentaje de materia orgánica.

Como era lógico esperar, un cierto número de factores medidos están relacionados entre sí, y en el cuadro 3 se presentan los valores de las correlaciones significativas de las variables consideradas en el presente trabajo.

Cuadro 3

COEFICIENTES DE CORRELACION OBTENIDOS EN 45 SITIOS EXPERIMENTALES DE TRIGO, ENTRE VARIABLES ESTUDIADAS, PARA PARCELAS FERTILIZADAS POR EL AGRICULTOR

Variables relacionadas	r
Fertilización nitrogenada - Días entre rotura y siembra	0,427 xx
Fertilización nitrogenada - Días stress entre espigazón y grano lechoso	-0,40 xx
" fosfatada - Fertilización potásica	0,594 xx
" " - Días stress entre macolla y encanado	-0,443 x
Stress ent. espig. tot. grano lech. - Nº riegos	-0,346 x
Stress ent. encan. y esp. total - Stress ent. esp. y grano lechoso	0,336 x
Profundidad del suelo - Prof. de arraigamiento	0,648 xx
Profundidad del suelo - " del horizonte A	0,435 xx
Conductividad - Na	0,431 xx
pH - CaCO ₃	0,506 xx
Capacidad de intercambio (C.I.C.) - K	0,536 xx
C.I.C. - Ca + Mg	0,810 xx
C.I.C. - Materia orgánica	0,727 xx
C.I.C. - % arcilla	0,496 xx
K intercambio - Na	0,390 xx
CaCO ₃ - P Olsen	-0,321 x
M. orgánica - N Total	0,694 xx
M. orgánica - Arcilla	0,476 xx

Es interesante destacar entre estas correlaciones aquellas que reflejan el vínculo existente entre las prácticas de manejo aplicadas por los agricultores, las que en su conjunto permiten lograr altos rendimientos. Es así como un mejor manejo del cultivo por parte del agricultor está reflejado por una mayor aplicación de nitrógeno; de esta forma, se explica que exista una correlación positiva significativa entre la longitud del barbecho (número de días entre rotura y siembra) y la aplicación de nitrógeno. El efecto es multiplicador en el sentido de que los suelos mejor preparados que hayan acumulado mayor cantidad de agua y de nitratos reciben una mayor dotación de fertilizantes.

A su vez también existe correlación negativa entre la fertilización nitrogenada y el número de días de déficit hídrico entre espigazón total y grano lechoso, lo que reflejaría una mejor conducta del agricultor frente al riego, ya que, por otra parte, existe una correlación negativa entre el déficit hídrico, entre espigazón total - grano lechoso y el número de riegos.

El hecho de que exista correlación entre aplicación de N y profundidad del horizonte A también muestra una conducta del agricultor; a mayor profundidad del horizonte A, vale decir en suelos de más alta productividad, se aplica mayor cantidad de nitrógeno.

Se observan también asociaciones entre variables del suelo que confirman que se puede tener una idea aproximada del conjunto de las características de los suelos en estudio, a partir de un número reducido de elementos clave.

Se propusieron cuatro alternativas de regresión múltiple para explicar la variación de los rendimientos debido a distintos factores. Confirmaron que entre los factores manejables, la fertilización nitrogenada tiene importancia tan destacada (explica 80 por ciento de la variación de rendimiento) que oculta el efecto de los demás factores, varios de ellos, por lo demás, asociados con ella. Una alternativa en la cual se considerarían solamente los factores no manejables del suelo, no explicaba en forma satisfactoria las variaciones de rendimiento, aunque el efecto de la profundidad del horizonte A y del contenido en carbonatos pudieran destacarse.

ii) Parcelas con fertilización alta constante

Como ya se ha indicado, las dosis de fertilizantes aplicadas por los agricultores eran fluctuantes y para determinar el efecto de los demás factores sobre el rendimiento a un nivel adecuado de fertilización, se completó la fertilización básica del agricultor en cada sitio para alcanzar niveles de 100 kg de N y 200 kg de P_2O_5 por ha.

Los rendimientos mostraron una correlación significativa con seis factores dados en el cuadro 4.

Cuadro 4

CORRELACION ENTRE LOS RENDIMIENTOS DE PARCELAS FERTILIZADAS EN UN NIVEL ALTO CONSTANTE Y FACTORES MANEJABLES Y NO MANEJABLES EN 45 SITIOS DESDE ACONCAGUA A CURICO

Factor	r
Días entre rotura y siembra	0,43 **
Días de déficit hídrico entre macolla y encañado	-0,31 *
Días de déficit hídrico entre espigadura y grano lechoso	-0,50 **
Profundidad arraigamiento	0,31 *
" suelo	0,29 *
" del horizonte A	0,41 **

Los factores manejables significativos que están asociados con el rendimiento fueron los días entre rotura y siembra y el déficit hídrico en dos períodos. El primer factor (días rotura-siembra) correlaciona en forma altamente significativa con los rendimientos. Ya se señaló que la aradura precoz, además de proporcionar mejores condiciones físicas al cultivo, favorece un mayor suministro de N por parte del suelo. La influencia positiva de este factor sugiere que a pesar de haber agregado 100 kg/ha de N, esta dosis fue insuficiente para contrarrestar el probable efecto de inmovilización de N debido a la lenta descomposición de los residuos de maíz, precedente cultural de la gran mayoría de las siembras, en el caso de aradura tardía.

Como era de esperar, el efecto negativo sobre los rendimientos de déficit hídrico en los períodos fisiológicos críticos entre macolla y formación del grano también se manifestó en forma muy significativa en el Cuadro de Correlación. Aquí, sin embargo, la eliminación parcial del factor limitante nitrógeno tuvo como efecto de incrementar la importancia relativa de aquel factor sobre los rendimientos.

Tres alternativas de regresión fueron ensayadas para explicar las variaciones en los rendimientos: factores manejables, factores no manejables, conjunto de factores manejables y no manejables. En el mejor de los casos, el tercero, la relación resultó significativa en la prueba de F, pero no explicó los rendimientos en más de 55 por ciento. Resultaron, sin embargo, significativos los efectos del déficit hídrico, del largo del barbecho y de la profundidad del horizonte A. Es el caso clásico en el cual variaciones en un número demasiado alto de factores de importancia similar no permiten destacar el efecto respectivo de cada cual, particularmente cuando estos factores están parcialmente correlacionados.

2.2.3. Conclusiones

Esta aplicación de la vía no manipulativa para estimar el efecto de factores de suelo, clima y manejo sobre la producción de trigo en campos de los agricultores en la parte norte del valle Central de Chile ha permitido detectar algunos factores, principalmente de manejo que juegan un papel preponderante. Entre éstos, en primer lugar, la fertilización nitrogenada, ya que se obtuvo una regresión lineal entre los rendimientos y las dosis aplicadas. Propiedades del suelo o prácticas de manejo que tienden a aumentar la dotación de nitrógeno disponible, tales como mayor profundidad del horizonte orgánico, mayor contenido de materia orgánica del mismo horizonte, presencia de carbonato de calcio en el mismo horizonte, y rotura temprana de suelo, también tuvieron un efecto positivo significativo sobre los rendimientos.

También se pudo demostrar un efecto detrimental del riego insuficiente.

Sin embargo, dado el peso relativo preponderante del nitrógeno para la producción del trigo en el área, la influencia de otros factores no se pudo establecer en forma cuantitativa.

Una importante conclusión de esta investigación concierne la conducta del agricultor respecto a los factores de manejo que se mostraron significativamente vinculados a la producción. En efecto, se puso en evidencia una tendencia neta por parte del agricultor de llevar conjuntamente a un cierto nivel las varias técnicas de manejo que se tomaron en cuenta, y paradójicamente, en cuanto a la fertilización, de emplear dosis más elevadas en suelos de mayor potencialidad y mejor dotados en nutrientes disponibles.

2.3 FUNCIONES DE PRODUCCION DE TRIGO EN LA ZONA COMPRENDIDA ENTRE ACONCAGUA Y CURICO

Los méritos y deficiencias del método "no manipulativo" para el estudio de los factores de producción fueron ilustrados por los resultados analizados en el capítulo anterior. El método no se presta para derivar funciones de producción cuando un factor, como el nitrógeno en este caso, es preponderante y no llega a alcanzar un nivel óptimo, ni tampoco cuando algunos factores fluctúan en forma paralela.

Para cumplir con los objetivos, se hacía necesario contar con datos experimentales suficientemente precisos sobre la respuesta a la fertilización y distribuidos en espacio y tiempo para cubrir un rango amplio de las condiciones ecológicas que afectan los rendimientos, pero sin interferencia de aquellos factores de manejo para los cuales existen ya niveles óptimos recomendados y aplicados. Para eso, se instaló una red de experimentos distribuidos en la zona, cuyos resultados fueron procesados para alcanzar esta función de producción.

2.3.1 Método experimental

66 1/ Durante las estaciones de cultivo 1968-1969 y 1969-1970, se realizó una red de experimentos de fertilización nitrogenada y fosfatada distribuidos en el área. Los sitios fueron elegidos para abarcar las principales series de suelos existentes, ubicando los ensayos en los siguientes órdenes:

entisoles e inceptisoles	33 ensayos
alfisoles	11 ensayos
molisoles y vertisoles	22 ensayos

representados en su mayoría por los siguientes grandes grupos: Xerorthent, Xerofluvent, Haplaquept, Xerochrept, Haploxeralf, Palexeralf, Ochraqualf, Fragiaqualf, Calcicquoll, Calcixeroll, Haploxeroll, Argixeroll, Pelloxerert y Caromoxerert.

Se trató además de abarcar diversas combinaciones para los factores de suelo y manejo de mayor trascendencia en el área que, se creyó, pueden influir en forma diferencial sobre el rendimiento y la respuesta a la fertilización.

Los experimentos se ubicaron junto a siembras de los agricultores y en colaboración con ellos. La distribución geográfica de los experimentos aparece en el mapa 2.

i) Diseño experimental

En cada sitio se instalaron 26 parcelas de combinaciones de fertilizantes N y P, repartidas en 2 bloques de 13 tratamientos cada uno. Las combinaciones correspondían a un diseño de cuadrado doble derivado del diseño compuesto de Box para 2 factores a 5 niveles. Los tratamientos empleados aparecen en el cuadro 5. Las escalas de dosis crecientes se eligieron en función de las recomendaciones regionales para que al punto central le corresponda las dosis consideradas como óptimas.

Cada parcela tenía una dimensión de 6 m de largo por 2,4 m de ancho, y la distribución de los tratamientos entre ellas se hizo por randomización.

1/ Un total de 90 ensayos fueron instalados; 14 tuvieron que descartarse porque no se pudieron regar por falta de agua durante la intensa sequía de 1969. Otros 10 se perdieron por causas diversas, como daño de pájaros (2), intervención intempestiva del agricultor al trabajar su propio campo, manejar su cultivo, o cosecharlo.

Cuadro 5

COMBINACION DE TRATAMIENTOS Y DOSIS DE FERTILIZANTES EMPLEADOS
EN LOS EXPERIMENTOS DE FERTILIZACION DEL TRIGO EN LA ZONA
COMPRENDIDA ENTRE LAS PROVINCIAS DE ACONCAGUA Y CURICO
AÑOS 1968 - 1970 1/

N \ P	0	80	160	240	320
0	*		*		*
64		*		*	
128	*		*		*
192		*		*	
256	*		*		*

1/ Las dosis están expresadas en kg/ha de N y kg/ha de P_2O_5 , agregados como nitrato de sodio y superfosfato triple.

ii) Caracterización de los sitios

En cada experimento se efectuó una descripción completa del perfil y se tomaron muestras de los horizontes principales con fines de caracterización del tipo de suelo. Además, se cuantificó la profundidad del suelo hasta 150 cm o un impedimento al desarrollo de las raíces tales como una estrata de grava o piedras, un nivel freático o un fragipán. Igualmente se cuantificó la profundidad del horizonte A y la profundidad real de arraigamiento.

Muestras compuestas del horizonte superficial (A_p+A_1) fueron tomadas a razón de 2 por bloque, el día de la siembra, para fines de caracterización general y determinación de disponibilidad de nutrientes.

Se realizaron las siguientes determinaciones: nitratos y amonio iniciales y nitrógeno mineralizable expresados como nitrógeno en ppm según Bremner; disponibilidad de fósforo según Olsen; disponibilidad de potasio por el método de intercambio con acetato de amonio neutro normal; materia orgánica según Walkley y Black; nitrógeno total por Kjeldahl; pH en agua en relación de 1:2,5; conductividad del extracto acuoso en relación 1:5; granulometría por el método del hidrómetro; capacidad de intercambio y calcio más magnesio intercambiables por el método de intercambio con acetato de amonio neutro normal; porcentaje de carbonato cálcico. También se determinaron las capacidades de retención de humedad para puntos característicos de succión matriz.

iii) Conducción de la experimentación y observaciones de campo

A fin de reducir las interferencias provenientes del manejo previo de los campos por el agricultor, el precedente cultural fue maíz regado para todos los ensayos. Este cultivo es por otra parte el antecedente normal y recomendado para el trigo en el área.

La preparación del suelo anterior a la siembra resultó de las labores que hace habitualmente el agricultor, ya que los experimentos se ubicaron en siembras de éstos. Generalmente esta labor consta de dos araduras con dos cruces de rastra y luego, del paso de una rastra tipo "offset". Hubo, sin embargo, variaciones entre ensayos sobre el particular, las que desafortunadamente, no se pudieron cuantificar. Asimismo, el lapso transcurrido entre rotura y siembra, varió desde 11 hasta 156 días. El día de la siembra se descartó el rastrojo de maíz que hubiera subsistido y se acondicionó la cama de semilla con una pasada de "rototiller". Las siembras se efectuaron con densidad de 120 kg/ha de la variedad Huelquen certificada. Se sembró en líneas con distancia entre hileras de 25 cm.

Las siembras tuvieron lugar desde fines de mayo hasta principios de agosto, a la par con las siembras que los agricultores realizaban en sus potreros, efectuándose la primera el 20 de mayo de 1968, fecha que se retuvo como día uno para el cómputo de la época de siembra en días. La siembra tardía no es recomendada, pero era necesaria en una parte de los ensayos para cuantificar su efecto depresivo sobre la producción.

El control de malezas durante el crecimiento fue total, ya que se aplicó herbicidas de preemergencia y luego cuando fuera necesario.

Para el control de la humedad del suelo, se colocaron bloques de Bouyoucos previamente calibrados a dos profundidades, 20 cm y 45 cm, los que se midieron con una frecuencia de 10 a 12 días. Las lluvias que recibió el cultivo se midieron con pluviómetros de acumulación ubicados en los mismos ensayos, anotándose las lecturas simultáneamente con las de los bloques de Bouyoucos.

El riego se dejó como una variable no controlada, es decir, éste se llevó a cabo cuando el agricultor lo efectuaba en su cultivo. De dos a cinco riegos se dieron según los casos, midiéndose la humedad antes de cada riego por medio de los bloques de resistencia. Además, durante la temporada 69-70, se llevó a cabo una investigación paralela en la cual se controló por medio de un aspersor de neutrones la exactitud de las mediciones por medio de bloques de resistencia eléctrica (Cope, 1970), encontrándose que un método de medición no difiere apreciablemente del otro. Combinando los datos de pluviometría, riego y control de humedad, se pudo graficar la variación de la tensión de humedad del suelo en función del tiempo en cada ensayo. El período vegetativo se dividió en 5 edades fisiológicas a saber: de siembra a macolla, de macolla a encañado, de encañado a espigazón, de espigazón a la formación del grano lechoso, de la formación del grano hasta su endurecimiento, anotándose las fechas en que ocurrieron, las cuales fueron también superpuestas al gráfico de tensión de humedad. El cómputo del déficit hídrico sufrido por el cultivo en distintas edades fisiológicas se hizo calculando el número de días durante los cuales la tensión de humedad estuvo por arriba del valor de 12 atmósferas que un estudio paralelo por regresión múltiple indicó como umbral crítico.

Los ensayos fueron visitados cada 10 días, haciéndose las observaciones fenológicas y las mediciones mencionadas, y anotándose daños e irregularidades.

Desde el punto de vista fitosanitario no se observaron daños, salvo ataques leves y aislados de pulgón y fusarium, que aparentemente no tuvieron mayores consecuencias. En un solo caso, se intervino con insecticida contra pulgón.

Hubo tendidura en varios ensayos, principalmente después de la formación del grano cuyo efecto sobre los rendimientos no se pudo medir y está incluido en el error.

En cada ensayo se cosecharon 10 m² por parcela, y el rendimiento se expresó en quintales por ha de grano con 14 por ciento de humedad, obteniéndose el factor de corrección por secado y peso de muestras de cosecha.

iv) Análisis estadístico

Se usó el método de regresión múltiple para el análisis de los resultados, el que se efectuó en tres etapas. En una primera, se le ajustó a cada experimento un modelo polinomial de segundo grado para describir la respuesta a los fertilizantes y estimar la significancia estadística del efecto de los tratamientos. En una segunda, se calculó la matriz de correlación entre los parámetros del modelo polinomial obtenidos en cada experimento y el valor de los factores medidos en cada sitio, lo que permitió detectar cuales de ellos, ya sea de manejo o de suelo, tenían influencia en los rendimientos o las respuestas y que deberían incluirse en una función generalizada. En una tercera etapa, se propusieron y verificaron estadísticamente varias ecuaciones generalizadas de respuesta que incluyeron diversas combinaciones de factores.

Como procedimiento para obtener una función que predijera los rendimientos con mejor precisión, se fueron descartando o agregando términos en cada uno de los modelos propuestos, en base a la observación de la significancia de los valores de "t" para cada coeficiente, así como del coeficiente de regresión y parámetro F.

Los cálculos fueron efectuados sobre una computadora IBM 360/40.

2.3.2 Resultados experimentales

i) Los suelos y los factores de manejo

En el cuadro 6 aparecen los valores promedio de algunas características del horizonte superficial de los suelos en cada experimento. Se puede apreciar el amplio rango de características físicas y químicas de los suelos en los sitios elegidos para la experimentación, ya que como se ha mencionado anteriormente, se trató de muestrear un universo bastante heterogéneo de suelos pertenecientes a distintos órdenes en la clasificación. Independientemente de eso, las disponibilidades de nitrógeno y fósforo varían en un rango amplio, respectivamente entre 3,9 y 100,8 ppm de N y entre 3,1 y 26,7 ppm P, mientras las disponibilidades de potasio varían entre 0,22 y 1,83 mE/100 g de suelo.

En cuanto a los factores de manejo, déficit hídrico en los distintos períodos fisiológicos, pluviometría, época de siembra y días entre rotura y siembra, están indicados en el cuadro 7.

ii) Los rendimientos y la respuesta física a la fertilización

En el cuadro 8 aparecen los resultados de cada experimento, expresados en quintales métricos/ha. Estos resultados corresponden al promedio de dos repeticiones.

Los rendimientos obtenidos sin fertilización fluctuaron entre 11,3 y 55,6 qq/ha con un promedio de 30,7, y las máximas variaron de 25,8 a 75,2 qq/ha. El tratamiento (192-240) fue el que obtuvo mayor rendimiento promedio, con valor de 41,1 qq/ha, o sea un aumento del 34 por ciento. Un rendimiento promedio de 40,5 qq/ha se logró con el tratamiento (128-160) que representa un 32 por ciento de aumento sobre el testigo.

Cuadro 6

CARACTERÍSTICAS DEL HORIZONTE SUPERFICIAL DE LOS EXPERIMENTOS DE FERTILIZACIÓN
EN TRIGO EN EL LLANO CENTRAL

No de ensayo	NH ₄ +NO ₃ inicial ppm.	NH ₄ +NO ₃ + incubado ppm.	P Olsen 1:20 ppm.	Materia orgánica %	N Total %	C/N	pH	Conductividad 1:5 mmhos/cm	Arcilla %	C.I.C. mE/100 g	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ mE/100 g	K ⁺ mE/100 g	% CaCO ₃	Prof. Ap + A ₁ cm	Prof. suelo cm
3	12,1	33,1	10,0	3,11	0,19	9,7	7,2	0,10	43,1	40,8	37,0	0,98	0,0	25	65
4	3,9	18,4	9,1	1,10	0,08	8,3	7,6	0,01	23,9	28,1	26,1	0,41	0,0	15	25
11	17,9	33,0	7,0	2,25	0,16	9,0	7,9	0,15	25,5	18,4	-	0,43	5,5	21	130
14	40,0	59,8	12,0	5,81	0,35	9,7	7,8	0,25	40,5	45,0	38,0	1,00	0,0	15	32
15	18,0	26,1	7,8	1,14	0,08	8,3	8,2	0,10	17,4	18,2	19,2	0,33	6,0	22	110
16	52,0	42,0	12,8	6,43	0,36	10,4	8,0	0,27	31,6	39,6	-	0,62	18,6	25	68
18	59,6	86,0	15,3	3,62	0,20	10,5	6,7	0,17	34,5	30,3	23,9	0,41	0,0	25	135
19	8,6	37,8	9,2	2,06	0,12	10,2	7,6	0,10	20,6	16,5	15,6	0,20	0,0	17	70
21	28,2	70,2	8,3	5,01	0,22	9,0	9,3	0,10	35,5	39,6	16,3	0,85	0,0	22	103
23	100,8	137,7	12,6	3,96	0,27	9,2	5,7	0,23	36,3	24,3	16,5	0,50	0,0	22	94
24	64,0	77,0	14,0	3,91	0,22	10,7	6,0	0,10	31,9	32,5	19,2	0,58	0,0	23	112
26	30,7	57,0	7,0	3,59	0,21	10,2	6,2	0,10	36,6	34,0	19,1	1,50	0,0	18	97
27	6,1	50,5	10,6	3,46	0,21	9,6	6,4	0,05	30,9	22,8	12,1	0,22	0,0	17	43
28	50,0	62,4	18,0	3,18	0,18	10,4	5,8	0,10	41,8	30,6	20,4	0,43	0,0	21	104
29	48,0	65,9	24,0	4,01	0,27	9,0	5,9	0,18	37,9	26,4	16,7	0,60	0,0	20	80
30	26,8	73,2	26,0	4,21	0,28	8,8	5,9	0,10	28,4	30,7	15,0	0,63	0,0	20	52
31	14,6	37,0	13,4	2,66	0,14	11,5	6,6	0,10	21,0	25,7	13,3	0,79	0,0	17	68
32	35,0	62,8	7,8	3,12	0,11	9,3	6,0	0,10	40,6	25,3	16,1	0,49	0,0	19	67
33	84,0	125,6	28,0	6,64	0,38	10,3	7,3	0,40	38,1	44,1	36,3	0,75	0,0	17	96
37	24,9	54,8	9,0	4,43	0,25	10,5	7,8	0,24	37,3	31,8	-	0,28	14,5	18	33
38	76,3	112,5	8,8	2,77	0,17	9,6	7,8	0,24	33,0	23,4	-	1,14	3,5	17	77
40	10,8	39,5	11,0	4,82	0,27	10,3	8,2	0,21	39,5	38,6	-	0,78	15,2	31	93
41	31,7	67,3	9,6	4,92	0,31	9,2	7,9	0,30	40,0	37,5	-	0,46	18,9	30	100
44	5,7	28,4	10,1	3,94	0,24	9,8	7,2	0,22	41,2	39,3	-	0,84	2,5	20	70

Cuadro 6 (Cont.)

Nº de ensayo	NH ₄ +NO ₃ inicial ppm.	NH ₄ +NO ₃ + incubado ppm.	P Olsen 1:20 ppm.	Materia orgánica %	N total %	C/N	pH	Conductividad 1:5 mmhos/cm	Arzolla %	C.I.C. mg/100 g	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ mg/100 g	K ⁺ mg/100 g	CaCO ₃ %	Prof. Ap + A ₁ cm	Prof. suelo cm
46	12,3	42,6	15,3	5,64	0,29	11,3	7,8	0,15	29,5	40,5	-	1,08	5,9	26	120
47	46,3	64,4	9,1	2,12	0,14	8,5	6,0	0,03	22,5	20,0	11,4	0,32	0,0	16	53
48	52,5	93,2	4,3	6,00	0,36	9,8	6,1	0,1	23,2	28,2	15,6	0,78	0,0	23	50
49	45,2	88,3	15,9	2,93	0,18	9,1	5,7	0,18	36,3	19,8	14,2	0,37	0,0	18	67
51	13,8	31,1	5,0	1,35	0,05	8,0	7,8	0,15	9,6	15,7	-	0,43	5,0	22	100
201	17,4	32,5	9,0	3,44	0,17	11,8	7,2	0,10	46,9	40,8	35,9	1,15	0,0	21	88
101	18,4	27,8	14,1	3,35	0,19	10,5	7,2	0,10	48,8	39,6	33,3	1,18	0,0	21	88
102	21,4	58,5	21,5	5,16	0,37	8,6	8,0	0,50	55,0	54,6	54,1	0,65	0,0	30	120
103	8,7	30,3	5,1	1,13	0,09	7,3	8,2	0,25	21,0	12,6	-	0,22	5,0	26	42
104	12,7	37,5	13,0	2,54	0,12	12,3	8,3	0,10	26,0	16,8	-	0,22	4,9	30	110
105	27,8	42,9	14,9	2,27	0,14	9,8	8,2	0,30	32,3	18,6	-	0,22	5,4	30	44
106	33,4	59,1	26,7	3,85	0,22	10,4	7,8	0,20	33,3	21,1	-	0,41	3,9	20	35
107	12,3	38,7	12,6	1,80	0,13	8,4	8,1	0,30	18,7	15,6	-	0,26	4,0	20	70
108	26,5	66,3	13,7	2,55	0,13	11,4	7,8	0,10	24,9	15,6	-	0,26	3,9	36	55
109	33,9	42,5	16,0	3,20	0,18	13,1	7,9	0,30	36,8	21,0	-	0,36	3,2	20	40
110	18,7	51,7	8,2	1,98	0,10	11,6	8,0	0,15	22,2	14,4	-	0,43	5,4	15	95
111	7,1	49,9	15,2	2,77	0,13	9,3	8,0	0,20	32,3	17,7	-	0,32	4,4	26	80
112	24,8	48,6	20,6	3,67	0,27	7,9	7,9	0,10	33,5	22,5	24,9	0,57	0,0	20	50
113	24,0	31,3	8,9	2,75	0,16	10,4	7,8	0,20	28,5	21,0	25,4	0,56	0,0	28	62
114	24,5	54,9	17,8	6,70	0,45	8,3	7,5	0,20	30,2	44,3	38,0	1,02	0,0	40	40
115	30,6	67,8	6,7	6,96	0,43	9,5	7,6	0,20	30,9	52,1	44,7	1,02	0,0	35	120
116	25,3	49,8	3,6	5,47	0,35	9,2	8,2	0,30	35,8	30,9	-	0,39	9,5	42	75
117	18,9	40,5	3,1	4,83	0,29	9,7	7,9	0,40	43,8	30,6	28,0	0,25	0,0	50	113
118	21,2	31,6	22,6	2,32	0,13	10,4	7,2	0,25	20,1	16,5	14,4	0,23	0,0	40	150
119	52,1	93,4	17,3	2,70	0,16	10,2	8,3	0,10	31,2	17,4	-	0,30	2,8	24	150
120	42,3	49,4	5,5	2,15	0,12	10,4	7,7	0,40	31,7	16,8	-	0,15	3,3	43	130
121	67,3	93,9	16,7	3,54	0,28	7,4	7,1	0,10	37,5	38,4	31,2	0,30	0,0	28	100
122	10,2	30,1	3,9	2,75	0,17	9,4	6,8	0,10	31,1	16,5	16,3	0,51	0,0	17	35
123	63,3	90,1	9,2	4,20	0,22	11,4	7,5	0,10	47,6	39,9	37,5	0,31	0,0	48	130
124	18,5	46,8	2,2	5,31	0,34	9,1	7,7	0,10	31,3	35,4	-	1,83	10,0	22	140
125	42,5	54,4	13,5	4,37	0,21	12,4	7,3	0,10	37,7	43,8	36,2	0,57	0,0	21	55
126	13,2	35,9	22,0	4,34	0,23	11,0	8,5	0,10	25,7	34,2	-	0,49	10,8	36	74
127	67,7	93,7	20,5	3,99	0,24	9,7	7,3	0,10	37,2	36,0	30,9	0,27	0,0	20	95

Cuadro 6 (Cont.)

Nº de ensayo	NH ₄ +NO ₃ Inicial ppm.	NH ₄ +NO ₃ + incubado ppm.	P Olsen 1:20 ppm.	Materia orgánica %	N Total %	C/N	pH	Conductividad 1:5 mmhos/cm	Arcilla %	C.I.C. mE/100 R	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ mE/100 R	K ⁺ mE/100 R	CaCO ₃ %	Prof. Ap + A ₁ cm	Prof. suelo cm
128	49,6	74,1	10,5	4,22	0,31	8,1	6,0	0,10	28,4	33,6	23,4	0,53	0,0	23	68
129	21,8	50,6	8,5	4,33	0,26	9,9	6,5	0,10	28,6	22,5	18,8	0,33	0,0	12	19
130	60,0	88,0	22,7	3,40	0,18	11,3	6,8	0,10	44,6	36,3	31,3	0,14	0,0	26	150
131	56,6	69,7	22,0	2,63	0,17	9,0	6,6	0,10	41,1	23,7	19,9	0,25	0,0	18	140
132	62,8	96,9	4,0	2,60	0,16	9,5	6,6	0,10	35,1	21,0	19,8	0,17	0,0	19	150
134	20,2	52,5	11,3	2,60	0,33	11,9	6,7	0,15	21,6	25,2	12,1	0,62	0,0	22	35
135	16,0	36,2	8,5	4,55	0,27	9,8	6,5	0,10	16,4	23,4	11,7	0,62	0,0	18	50
136	20,8	45,6	12,9	3,97	0,22	10,5	6,6	0,10	22,7	23,7	11,5	0,76	0,0	25	95
137	7,3	27,0	5,2	1,97	0,21	5,5	6,4	0,10	32,3	22,5	13,9	0,66	0,0	13	100
138	13,5	28,3	22,9	3,09	0,22	8,2	6,4	0,10	30,6	26,4	19,2	0,29	0,0	12	60
139	19,0	36,1	8,3	2,37	0,17	8,1	6,7	0,10	28,7	24,0	18,3	0,48	0,0	13	80

Cuadro 7

DEFICIT HIDRICO EN DIVERSOS PERIODOS FISIOLOGICOS, PLUVIOMETRIA, EPOCA DE PREPARACION DEL SUELO Y DE SIEMBRA PARA 66 ENSAYOS DE FERTILIZACION DE TRIGO EN EL VALLE CENTRAL

Número ensayo	siembra macolla		macolla encañado		Días de déficit hídrico entre		espiquizón		gr. lechoso		Pluviometría mm durante el cultivo	Epoca de siembra (días)	Días entre rotura y siembra
	siembra macolla	macolla encañado	siembra macolla	macolla encañado	espiquizón	gr. lechoso	espiquizón	gr. lechoso					
3	14	0	0	14	9	5	9	5	32,0	39	51		
4	25	3	0	0	17	18	17	18	32,0	39	26		
11	0	0	0	0	19	19	19	19	50,5	56	97		
14	8	0	0	0	0	0	0	0	45,8	16	58		
15	0	0	0	0	0	0	0	0	42,0	31	31		
16	0	0	0	0	0	0	0	0	46,8	11	94		
18	0	0	0	0	0	0	0	0	57,0	17	77		
19	0	0	0	0	11	34	11	34	41,0	95	28		
21	0	0	0	0	0	0	0	0	58,0	38	60		
23	4	0	0	0	10	23	10	23	75,0	1	33		
24	0	0	0	0	22	11	22	11	95,0	51	54		
26	22	0	0	0	14	6	14	6	88,0	2	89		
27	0	0	0	0	15	18	15	18	141,0	18	32		
28	40	0	0	5	0	22	0	22	83,0	23	82		
29	0	0	0	0	0	4	0	4	166,0	23	33		
30	0	0	0	0	5	0	5	0	170,0	23	25		
31	0	0	0	0	14	0	14	0	141,0	24	51		
32	42	0	0	0	29	8	29	8	95,0	1	13		
33	12	0	0	0	0	4	0	4	58,0	11	52		
37	0	0	0	0	0	9	0	9	32,0	64	53		
38	10	4	4	4	8	0	8	0	68,0	32	14		
40	41	0	0	0	6	27	6	27	37,1	30	83		
41	45	0	0	16	7	11	7	11	46,8	16	91		
44	9	10	3	3	4	15	4	15	52,1	18	25		
46	26	5	0	0	0	25	0	25	58,0	17	75		
47	0	0	4	4	0	3	0	3	103,0	31	89		
48	0	0	0	0	15	39	15	39	201,0	14	71		
49	0	0	0	0	26	0	26	0	70,0	11	30		
51	11	0	0	0	9	0	9	0	52,5	55	19		

Cuadro 7 (Cont.)

Número ensayo	siembra macolla		Días de déficit hídrico entre		espigazón gr. lechoso		Pluviometría		Epoca de siembra (días)	Días entre rotura y siembra
	macolla	encañado	macolla encañado	encañado espigazón	gr. lechoso	gr. duro	mm durante el cultivo			
201	4	5	5	2	11	16	27,0	47	61	
101	4	5	2	2	11	16	27,0	47	61	
102	0	0	0	0	0	0	100,0	29	4	
104	0	5	2	2	0	29	100,0	29	74	
105	0	0	2	2	3	0	96,0	32	83	
106	5	5	13	13	14	5	76	32	44	
107	5	16	18	18	21	7	76,0	56	15	
108	0	0	16	16	12	0	86,0	41	62	
109	0	20	16	16	18	10	75,0	32	79	
110	4	22	0	0	4	17	90,0	33	86	
111	0	0	2	2	0	2	147,0	33	40	
112	4	0	3	3	19	0	82,0	73	56	
113	0	21	0	0	0	2	119,0	41	27	
114	0	0	0	0	4	0	82,0	62	156	
116	0	2	0	0	8	0	107,0	73	36	
117	0	2	20	20	0	0	184,0	6	54	
118	0	0	17	17	17	21	232,0	6	60	
119	0	0	0	0	0	0	100,0	41	55	
120	0	2	18	18	0	27	107,0	6	30	
121	0	3	6	6	25	3	107,0	77	4	
122	2	8	0	0	12	0	115,0	73	64	
123	0	0	6	6	15	6	230,0	4	46	
124	0	2	19	19	2	0	96,0	49	56	
125	0	2	0	0	0	0	100,0	53	80	
126	0	0	19	19	15	0	95,0	54	101	
127	0	0	11	11	13	17	230,0	4	21	
128	0	0	0	0	14	0	100,0	55	52	
129	0	0	4	4	0	0	393,0	3	57	
130	0	0	14	14	4	0	392,0	3	48	
131	0	0	2	2	10	9	392,0	7	27	
132	0	0	15	15	7	20	392,0	3	58	
134	0	3	4	4	12	5	406,0	14	9	
135	0	0	14	14	0	0	154,0	49	66	
136	0	0	0	0	0	0	406,0	14	28	
137	0	0	0	0	0	0	34,0	90	40	
138	0	8	0	0	0	0	97,0	62	78	
139	0	0	6	6	0	20	4,0	91	48	

Cuadro 8

RENDIMIENTOS PROMEDIOS OBTENIDOS EN 66 EXPERIMENTOS DE FERTILIZACION NITROGENADA Y FOSFATADA DE TRIGO EN EL VALLE CENTRAL. LOS RENDIMIENTOS SE EXPRESAN EN QUINTALES METRICOS POR HECTAREA DE GRANO A 14% DE HUMEDAD

Tratamientos en kg N y kg P₂O₅ por hectárea

Nº Experimento	0 - 0	128-0	256-0	64-80	192-80	0-160	128-160	256-160	64-240	192-240	0-320	128-320	256-320
3	25,09	29,52	32,85	33,78	30,98	23,77	33,02	26,83	31,10	32,77	37,83	31,99	27,62
4	11,26	25,60	26,84	23,80	26,65	12,16	26,07	27,21	28,35	28,09	13,22	24,44	32,56
11	24,27	24,41	30,57	28,05	31,79	29,17	38,92	32,56	33,58	28,75	24,32	35,14	22,11
14	32,20	48,81	42,98	48,69	50,33	31,29	46,06	51,16	46,55	53,15	26,46	36,60	45,86
15	32,51	38,24	41,78	46,42	58,01	34,75	43,16	53,85	43,57	52,10	31,63	46,70	56,09
16	33,55	52,55	50,99	54,41	55,00	39,47	60,34	51,30	59,49	56,12	26,53	46,33	48,81
18	53,88	51,64	66,68	52,98	75,25	69,09	73,94	47,76	75,11	72,24	62,75	65,90	46,45
19	22,57	24,08	22,75	27,88	31,07	28,50	29,66	30,03	33,41	37,47	16,08	24,75	26,43
21	36,90	49,30	51,53	54,30	61,75	57,74	66,47	51,75	53,33	69,14	69,72	65,32	61,13
23	51,04	49,95	51,69	54,05	60,07	51,61	47,35	50,90	44,89	45,45	48,29	54,14	57,32
24	35,41	32,35	25,75	35,81	30,16	42,42	30,97	29,15	45,41	25,61	45,57	31,12	24,86
26	38,49	35,79	40,43	32,41	36,41	37,04	37,27	30,72	35,48	32,51	34,31	38,15	32,88
27	16,66	23,13	24,04	22,02	26,90	13,60	23,94	39,04	23,50	27,66	20,80	29,34	41,67
28	34,11	58,72	39,26	63,92	48,77	22,23	52,33	36,73	48,26	47,24	41,73	52,11	46,89
29	29,63	33,66	27,22	32,06	27,71	40,22	26,98	40,38	41,37	43,96	42,33	50,57	47,80
30	39,45	49,07	43,64	33,39	37,47	43,92	50,72	44,23	33,47	40,82	42,72	47,67	52,40
31	21,57	49,91	48,66	40,66	40,54	26,31	45,54	34,78	39,65	43,06	21,28	41,65	40,19
32	28,27	26,49	28,81	30,75	27,39	35,53	31,64	27,49	35,15	21,75	32,74	30,53	34,27
33	28,57	44,01	57,31	33,95	52,00	35,26	37,86	24,70	28,88	29,03	24,77	25,22	24,49
37	36,39	41,01	40,24	40,39	45,95	25,24	42,01	48,61	39,70	46,91	19,07	36,54	45,87
38	49,56	53,65	57,18	51,76	53,68	45,73	59,01	52,74	52,44	50,96	49,92	39,96	47,80
40	20,90	51,90	40,25	40,93	43,76	21,82	53,80	46,44	47,06	48,27	22,41	45,53	41,60
41	55,62	55,10	59,16	57,63	59,79	60,48	57,47	65,06	68,12	64,06	38,59	58,26	58,32
44	41,99	44,40	48,19	46,71	52,44	45,31	52,93	42,15	44,33	56,12	44,27	54,41	41,06
46	43,67	60,66	42,58	52,76	64,27	42,77	60,74	40,78	56,20	54,03	45,98	57,71	53,82
47	44,50	54,64	55,30	46,84	63,72	46,26	58,31	60,40	57,36	47,46	34,02	47,39	39,48
48	20,77	21,76	24,47	18,51	15,27	33,30	47,86	25,50	46,39	26,70	39,58	27,28	19,38
49	34,06	51,75	32,10	42,63	42,85	46,09	28,31	29,41	39,58	19,68	42,07	23,56	19,07
51	21,07	39,30	42,30	45,16	41,29	20,84	41,87	58,77	51,39	57,76	31,20	62,39	60,07

Cuadro 8 (Cont.)

Tratamientos en kg N y kg P₂O₅ por hectárea

Nº Experimento	0 - 0	128-0	256-0	64-80	192-80	0-160	128-160	256-160	64-240	192-240	0-320	128-320	256-320
201	18,81	21,34	22,97	19,92	23,41	15,20	20,39	25,95	22,92	26,88	17,68	20,44	24,46
101	13,05	18,80	21,50	22,97	25,38	14,98	17,89	25,63	22,42	26,88	14,71	18,30	22,42
102	22,50	24,63	22,37	32,75	22,31	21,19	31,94	24,81	30,06	28,45	22,13	22,12	27,00
104	39,45	46,55	56,15	36,23	46,30	34,69	51,45	59,34	58,67	61,70	28,75	43,95	39,33
105	36,21	46,57	36,27	42,34	43,27	33,18	44,38	41,58	53,08	50,70	40,57	43,54	44,65
106	45,94	39,60	43,15	39,45	37,03	38,53	35,22	32,05	36,60	34,57	51,52	41,61	29,45
107	18,77	21,36	24,52	21,28	22,24	19,18	26,64	27,61	21,34	21,32	22,69	24,64	24,37
108	43,35	37,47	32,92	34,97	36,72	38,89	36,38	35,47	34,87	32,79	44,61	34,51	35,28
109	22,01	29,13	34,25	23,73	29,83	22,81	28,51	34,15	24,68	30,13	23,62	25,43	28,27
110	22,77	30,09	39,23	35,03	43,89	27,57	31,61	39,83	37,12	45,46	27,37	32,64	41,30
111	40,47	62,41	55,79	54,62	55,50	42,50	57,26	52,71	56,09	63,53	41,43	63,53	47,21
112	17,08	23,92	11,53	20,23	17,82	17,60	22,25	13,44	19,64	17,01	20,60	25,83	14,99
113	45,19	40,99	40,26	42,54	33,07	43,01	48,00	43,16	44,05	43,40	36,07	42,70	38,26
114	22,82	23,84	29,14	23,31	19,53	23,62	24,16	21,46	21,28	25,75	24,66	25,72	25,96
116	12,69	22,90	30,57	35,74	39,35	21,43	30,17	36,77	40,89	45,48	26,01	38,32	37,80
117	21,34	33,50	41,66	39,50	44,33	23,83	42,16	48,49	42,33	51,00	25,33	44,66	49,00
118	30,40	40,21	22,92	40,85	46,90	31,81	30,61	26,79	33,77	27,04	23,47	26,62	28,68
119	43,81	46,98	45,13	47,15	47,78	43,60	48,15	44,66	45,10	46,44	48,04	46,55	49,21
120	24,18	28,42	33,46	36,10	37,69	31,90	38,96	40,88	38,67	44,54	34,06	39,31	40,26
121	26,94	26,75	31,75	33,13	21,37	27,31	25,56	22,44	31,44	24,87	37,56	28,81	22,94
122	18,23	20,65	19,75	20,96	31,73	20,01	33,69	26,51	23,10	31,29	18,17	34,29	28,40
123	47,25	42,40	42,08	51,08	42,75	46,40	49,52	36,76	60,32	32,70	50,05	41,76	34,62
124	41,40	56,96	39,14	51,76	47,54	56,31	61,07	56,69	59,32	60,75	41,97	46,80	53,62
125	24,21	51,78	51,55	45,06	57,06	25,64	54,86	47,49	53,58	55,52	29,27	57,15	50,10
126	16,46	20,07	29,98	25,11	25,60	17,28	18,94	23,40	20,23	27,18	20,96	29,77	32,52
127	33,27	38,93	30,06	31,27	26,90	44,60	34,89	32,47	28,58	33,45	41,66	32,20	34,72
128	36,51	38,20	37,88	49,13	41,59	37,74	40,17	33,24	46,44	36,62	46,17	52,93	33,64
129	24,19	30,78	34,75	32,11	49,25	34,27	37,55	44,65	33,80	39,39	39,75	41,90	43,10
130	36,52	46,50	43,62	36,06	44,38	36,19	38,99	45,68	33,97	47,07	36,49	41,23	38,21
131	43,99	44,51	52,12	41,22	40,34	46,05	47,07	40,11	47,99	42,81	47,80	54,50	40,94
132	45,14	43,58	45,57	44,51	43,52	46,13	46,68	41,67	43,23	45,09	43,58	40,82	39,27

Cuadro 8 (Cont.)

Tratamientos en kg N y kg P₂O₅ por hectárea

Nº Experimento	0 - 0	128-0	256-0	64-80	192-80	0-160	128-161	256-160	64-240	192-240	0-320	128-320	256-320
134	12,59	21,22	25,93	24,98	34,02	11,84	25,92	38,57	19,13	46,28	12,43	33,68	40,35
135	22,33	43,19	40,45	33,83	46,46	24,60	31,35	32,11	34,09	44,34	19,35	28,98	38,24
136	30,10	48,68	53,24	46,65	45,77	44,38	48,55	46,52	54,54	47,92	50,10	65,12	54,66
137	18,96	31,42	42,95	34,97	47,18	25,54	47,93	47,65	39,94	55,63	24,88	48,47	47,49
138	21,67	34,42	39,37	28,30	36,21	20,50	26,01	40,90	22,53	40,03	18,05	29,07	39,77
139	24,62	22,60	29,85	22,35	25,07	25,03	33,32	24,31	28,85	27,13	22,50	28,86	29,70

iii) Ajuste de un modelo polinomial a cada experimento

Se ajustó un modelo polinomial de segundo orden a dos variables del siguiente tipo:

$$Y = b_0 + b_1N + b_{11}N^2 + b_2P + b_{22}P^2 + b_{12}NP$$

cuya representación gráfica es una superficie de respuesta. En esta ecuación "Y" representa el rendimiento estimado en qq/ha de trigo y N y P corresponden a las dosis de fertilizantes en kg/ha de N y P₂O₅ respectivamente. Los coeficientes b₀ corresponden a la ordenada en el origen y comprenden el ajuste del tratamiento testigo absoluto. Los coeficientes b₁ y b₂ representan la respuesta lineal al nitrógeno y fósforo respectivamente. Los coeficientes b₁₁ y b₂₂ representan el efecto cuadrático del nitrógeno y del fósforo aplicados, o sea la tendencia de la respuesta a apartarse de una recta a medida que aumenta la dosis de fertilizantes. El coeficiente b₁₂ representa el efecto de la interacción entre el fósforo y el nitrógeno agregados. Los valores de los coeficientes, junto con su significancia a la prueba de t, el coeficiente de regresión múltiple R, y el valor y significancia del parámetro F de la razón de varianzas para la regresión respecto a la varianzas para el error, aparecen en el cuadro 9.

Del total de 66 experimentos, hubo 53 en los cuales los resultados se ajustaron estadísticamente al modelo propuesto. Del análisis generalizado de éstos, se desprende que hay una gran respuesta al nitrógeno y moderada a baja al fósforo. El término interacción resultó significativo y positivo solamente en 6 casos. Se observó interacción negativa significativa al nivel de probabilidad p = 0,10 en 15 casos.

La respuesta al nitrógeno fue mayor en los suelos delgados y con poco contenido de materia orgánica. Los alfisoles en general no respondieron al fósforo.

iv) Correlación entre factores y respuesta

Con el objeto de conocer el grado de asociación de los factores del suelo, clima y manejo con la respuesta a los fertilizantes, se calcularon matrices de correlación simple entre éstos y los valores de los coeficientes de regresión del modelo polinomial utilizado para expresar la respuesta a la fertilización. Por otra parte, se obtuvieron también matrices de correlación de los factores entre sí.

En el cuadro 10 aparecen los valores de correlación entre los coeficientes de la función de respuesta b₀, b₁, b₂, b₁₁, b₂₂ y b₁₂ de todos los experimentos y los factores de suelo y manejo medidos en cada sitio y en el cuadro 28, la matriz de correlación simple lineal de los factores entre sí, junto con su significancia.

Cabe destacar aquí que estas correlaciones simples implican un modelo lineal para expresar la relación entre los factores considerados, lo que evidentemente es una simplificación. Sin embargo, el análisis de estas correlaciones permitió conocer en primera aproximación los efectos que aparecieron afectando la respuesta a la aplicación de fertilizantes y que podrían ser incluidos dentro de una ecuación general de rendimientos. Paralelamente, se examinaron y estudiaron detenidamente las correlaciones entre factores para conocer las relaciones de causa y efecto entre ellos, permitiendo seleccionar para su inclusión dentro de un modelo a aquellos factores causantes importantes y relativamente independientes entre sí.

También se obtuvieron matrices de correlación estratificando los experimentos por año y por tipo de suelo, con el objeto de verificar si las relaciones se mantenían, se reforzaban o si aparecían otras nuevas. Al comparar las matrices de correlaciones estratificadas o no, no se apreció mayor diferencia, aunque para algunos factores hubiera una tendencia a reforzarse el coeficiente de correlación. Es así como aumentaron los coeficientes de correlación entre el rendimiento testigo ajustado b₀ y el fósforo del suelo para los molisoles, y la materia orgánica para los inceptisoles respectivamente.

Cuadro 2

VALORES Y SIGNIFICANCIA DE LOS COEFICIENTES DE REGRESION DE UN MODELO POLINOMIAL DE SEGUNDO GRADO
 PARA EXPRESAR LA RESPUESTA A NITROGENO Y FOSFORO DE 66 EXPERIMENTOS DE FERTILIZACION DE TRIGO
 EN EL VALLE CENTRAL ENTRE LAS PROVINCIAS DE ACONCAGUA Y CURICO

Nº	b ₀	b ₁	b ₂	b ₁₁	b ₂₂	b ₁₂	R	F
3	24,66	0,103 ^{XX}	0,005	-0,000310 ^{XX}	0,000020	-0,000079 ^X	0,738 ^{XX}	4,79 ^{XX}
4	12,59	0,144 ^{XX}	0,011 ^{XX}	-0,000360 ^{XX}	-0,000020	0,000034 ^{XX}	0,911 ^{XX}	19,45 ^{XX}
11	21,10	0,093 ^{XX}	0,085 ^{XX}	-0,000250 ^{XX}	-0,000200 ^{XX}	-0,000122 ^X	0,749 ^{XX}	5,14 ^{XX}
14	33,69	0,203 ^{XX}	-0,006 ^X	-0,000640 ^{XX}	-0,000020	0,000066 ^X	0,801 ^{XX}	7,16 ^{XX}
15	32,42	0,097 ^{XX}	0,060 ^X	-0,000200 ^{XX}	-0,000200 ^{XX}	0,000165 ^X	0,901 ^{XX}	17,21 ^{XX}
16	35,37	0,221 ^{XX}	0,079 ^X	-0,000700 ^{XX}	-0,000290 ^{XX}	0,000068 ^X	0,839 ^{XX}	9,52 ^{XX}
18	52,57	0,118 ^X	0,115 ^{XX}	-0,000340 ^{XX}	-0,000200 ^{XX}	-0,000361 ^{XX}	0,566 ^{XX}	1,89 ^{XX}
19	21,68	0,049 ^X	0,094 ^{XX}	-0,000230 ^{XX}	-0,000330 ^{XX}	0,000154 ^{XX}	0,872 ^{XX}	12,65 ^{XX}
21	40,05	0,104 ^X	0,096 ^X	-0,000230 ^{XX}	-0,000040	-0,000129	0,825 ^{XX}	8,52 ^{XX}
23	53,04	-0,013 ^X	-0,035 ^X	0,000050	0,000060	0,000080	0,396 ^{XX}	0,74 ^{XX}
24	36,34	-0,064 ^X	0,060 ^X	0,000110	0,000090 ^X	0,000167 ^X	0,899 ^{XX}	17,05 ^{XX}
26	37,24	0,015 ^X	-0,031 ^X	-0,000040	0,000020	-0,000058 ^X	0,559 ^{XX}	1,82 ^{XX}
27	16,78	0,030 ^{XX}	-0,001 ^X	0,000040	0,000020	0,000152 ^X	0,924 ^{XX}	23,25 ^{XX}
28	37,77	0,320 ^{XX}	-0,083 ^X	-0,001200 ^{XX}	0,000200 ^{XX}	0,000040	0,814 ^{XX}	7,84 ^{XX}
29	32,41	-0,051 ^X	-0,001 ^X	0,000100	0,000100	0,000136	0,829 ^{XX}	8,82 ^{XX}
30	41,74	0,013 ^{XX}	-0,051 ^X	-0,000010	0,000200	0,000072	0,524 ^{XX}	1,51 ^{XX}
31	22,28	0,306 ^{XX}	-0,010	-0,000900	0,000049	-0,000130	0,911 ^{XX}	19,63 ^{XX}
32	30,60	-0,050 ^{XX}	0,018	0,000100	-0,000009	-0,000017 ^{XX}	0,481 ^{XX}	1,20 ^{XX}
33	31,07	0,152 ^{XX}	-0,022	-0,000230 ^{XX}	-0,000290	-0,000380 ^{XX}	0,867 ^{XX}	12,19 ^{XX}
37	34,25	0,106 ^{XX}	-0,004	-0,000310 ^{XX}	-0,000130	0,000260 ^{XX}	0,912 ^{XX}	19,87 ^{XX}
38	48,61	0,041 ^{XX}	0,031	-0,000020	-0,000110	-0,000120 ^X	0,697 ^{XX}	3,78 ^{XX}
40	37,30	0,301 ^{XX}	0,002	-0,000970 ^{XX}	-0,000057 ^X	0,000084 ^X	0,903 ^{XX}	17,69 ^{XX}
41	54,43	0,031 ^{XX}	0,071 ^X	-0,000110 ^{XX}	-0,000300 ^{XX}	0,000160 ^X	0,712 ^{XX}	4,12 ^{XX}
44	39,52	0,133 ^{XX}	0,033	-0,000430 ^{XX}	-0,000050	-0,000009	0,711 ^{XX}	4,09 ^{XX}
46	44,63	0,242 ^{XX}	-0,025 ^{XX}	-0,000940 ^{XX}	0,000070 ^{XX}	0,000060	0,854 ^{XX}	10,83 ^{XX}
47	41,24	0,156 ^{XX}	0,091 ^{XX}	-0,000300 ^{XX}	-0,000300 ^{XX}	-0,000130 ^{XX}	0,875 ^{XX}	13,11 ^{XX}
48	17,22	0,040 ^{XX}	0,159 ^{XX}	-0,000110	-0,000260 ^{XX}	-0,000320 ^{XX}	0,728 ^{XX}	4,51 ^{XX}
49	41,28	0,011 ^{XX}	0,015	-0,000080	-0,000050	-0,000290 ^{XX}	0,790 ^{XX}	6,67 ^{XX}
51	20,30	0,244 ^{XX}	0,033	-0,000630 ^{XX}	0,000020	0,000110	0,924 ^{XX}	23,40 ^{XX}

Cuadro 9 (Cont.)

Nº	b ₀	b ₁	b ₂	b ₁₁	b ₂₂	b ₁₂	R	F
101	13,242	0,061 ^x	0,046 ^x	-0,000105	-0,000136 ^x	-0,000003	0,827 ^{xx}	8,65 ^{xx}
102	17,48	0,037 ^x	0,006	-0,000057	-0,000024	0,000032	0,835 ^{xx}	9,24
104	23,05	0,050	0,038	-0,000228	-0,000141 ^x	0,000079	0,549 ^{xx}	1,72
105	32,20	0,160 ^x	0,088	-0,000312 ^{xx}	-0,000269	-0,000090	0,745 ^{xx}	5,73 ^{xx}
106	36,45	0,107 ^x	0,032	-0,000411 ^{xx}	-0,000061	0,000037	0,767 ^{xx}	6,84 ^x
107	43,83	-0,019	-0,060 ^x	0,000067	0,000250 ^{xx}	-0,000220 ^x	0,794 ^{xx}	3,55 ^{xx}
108	18,14	0,029 ^x	0,019	-0,000010	-0,000022	-0,000050	0,686 ^x	4,48 ^{xx}
109	42,43	-0,071 ^x	-0,022	0,000173 ^x	0,000064	0,000001	0,727 ^{xx}	47,91 ^{xx}
110	21,50	0,048	0,016	0,000016	-0,000036	-0,000089 ^{xx}	0,961 ^{xx}	12,52 ^{xx}
111	22,81	0,088 ^{xx}	0,063 ^x	-0,000099	-0,000155	-0,000030	0,871 ^{xx}	19,43 ^{xx}
112	40,32	0,281 ^{xx}	-0,001	-0,000886 ^{xx}	0,000032 ^x	-0,000090	0,911 ^{xx}	12,28
113	17,782	0,090	-0,021	-0,000429	0,000090	-0,000001	0,869 ^{xx}	1,07
114	43,61	-0,005	0,015	-0,000079	-0,000099	0,000107	0,459	2,00
116	23,53	0,004 ^{xx}	-0,027 ^x	0,000029	0,000106	-0,000033	0,578 ^{xx}	14,73 ^{xx}
117	12,22	0,172 ^{xx}	0,112 ^{xx}	-0,000417 ^{xx}	-0,000207 ^x	-0,000067	0,887 ^{xx}	46,60 ^x
118	20,31	0,185 ^x	0,068	-0,000423 ^x	-0,000157 ^x	0,000050	0,960 ^{xx}	3,83
119	34,07	0,088 ^x	0,001	-0,000445 ^x	-0,000124	0,000109	0,700 ^x	1,38
120	44,59	0,030	-0,008 ^{xx}	-0,000096	0,000041	0,000001	0,507 ^{xx}	43,93 ^{xx}
121	23,57	0,072	0,093	-0,000144	0,000191 ^{xx}	-0,000023 ^{xx}	0,957 ^{xx}	5,57
122	29,33	-0,009	-0,08	0,000038	-0,000138	-0,000185	0,763 ^{xx}	12,42
123	15,44	0,122 ^{xx}	0,041 ^x	-0,000415	-0,000101	0,000093	0,870 ^{xx}	5,34 ^x
124	46,51	0,013	0,042	-0,000153	-0,000078 ^{xx}	-0,000173 ^x	0,756 ^{xx}	3,77 ^{xx}
125	45,76	0,051	0,105	-0,000278	-0,000358 ^{xx}	0,000147 ^x	0,697 ^x	67,64 ^{xx}
126	23,45	0,379 ^{xx}	0,022	-0,001079	-0,000008	-0,000103 ^x	0,972 ^{xx}	10,51
127	17,72	0,054 ^x	-0,032	-0,000054	0,000144 ^x	-0,000003	0,851 ^{xx}	1,84
128	37,37	-0,073 ^{xx}	0,006	0,000200	0,000012	-0,000016	0,562 ^{xx}	6,72 ^{xx}
129	36,41	0,114 ^{xx}	0,002 ^{xx}	-0,000440	0,000107	-0,000166 ^x	0,792 ^{xx}	8,07 ^{xx}
130	23,84	0,061 ^x	0,084	-0,000011	-0,000129	-0,000116	0,818 ^{xx}	2,18
131	35,91	0,077 ^x	-0,010	-0,000143	0,000022	-0,000048 ^x	0,780 ^{xx}	2,99 ^x
132	42,61	0,055	-0,023	-0,000132	0,000167 ^x	-0,000185 ^x	0,654 ^x	2,39 ^{xx}
134	44,65	-0,001 ^{xx}	0,018	-0,000001	-0,000064	-0,000046 ^{xx}	0,611 ^{xx}	31,46 ^{xx}
135	10,95	0,141 ^{xx}	0,034	-0,000311 ^x	-0,000111	0,000220	0,942 ^{xx}	9,73 ^{xx}
136	25,52	0,177 ^{xx}	-0,016	-0,000459 ^{xx}	-0,000011	0,000013	0,842 ^{xx}	10,37 ^{xx}
137	33,32	0,173 ^{xx}	0,011	-0,000420	0,000178 ^x	-0,000229 ^{xx}	0,849 ^{xx}	45,52 ^{xx}
138	16,11	0,230 ^{xx}	0,099	-0,000534	-0,000211 ^{xx}	-0,000005	0,959 ^{xx}	38,12
139	22,85	0,081 ^{xx}	-0,029	-0,000044	0,000012	0,000073	0,951 ^{xx}	1,21
	23,01	0,033	0,010	-0,000081	-0,000011	0,000009	0,482	

Cuadro 10

COEFICIENTES DE CORRELACION SIMPLE ENTRE LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES b1 Y
ALGUNOS FACTORES DE CLIMA, SUELO Y MANEJO MEDIDOS EN 66 EXPERIMENTOS
DE FERTILIZACION DE TRIGO EN EL VALLE CENTRAL

	NO ₃ +NH ₄ inicial	NO ₃ +NH ₄ final	P Olsen	Materia orgánica	N total	pH	Conduct.	% Arcilla
b0	0,518 ⁺⁺	0,543 ⁺⁺	0,147	0,132	0,016	0,080	0,080	0,163
b1	-0,468 ⁺⁺	-0,436 ⁺⁺	-0,143	0,070	-0,008	0,175	0,133	-0,142
b2	-0,093	-0,085	-0,696 ⁺⁺	-0,01	-0,020	0,115	0,197	-0,109
b11	0,379 ⁺⁺	0,320 ⁺	0,046	-0,079	0,035	-0,058	-0,065	-0,017
b22	0,140	0,142	0,628 ⁺⁺	0,064	0,040	-0,200	-0,311 ⁺⁺	0,111
b12	-0,428 ⁺⁺	-0,439 ⁺⁺	-0,097	-0,134	-0,026	0,275 ⁺	-0,029	-0,138
Rend. x testigo	0,491 ⁺⁺	0,518 ⁺⁺	0,100	0,081	-0,027	-0,060	0,097	0,168
Rend. x máximo	0,211 ^o	0,267 ⁺	-0,08	0,128	0,007	-0,058	0,160	-0,069

	CIC	Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺ interc.	K interc.	CO ₃	Profund. A	Profund. suelo	Profund. arraig.
b0	0,043	0,030	0,032	0,162	0,071	0,372 ⁺⁺	0,323 ⁺
b1	0,111	0,091	0,098	0,158	-0,028	-0,068	0,076
b2	-0,109	-0,088	-0,012	0,168	0,100	0,195	0,208 ^o
b11	-0,207	-0,173	-0,046	-0,149	-0,067	-0,130	-0,060
b22	0,107	-0,001	-0,018	-0,265 ⁺	-0,101	-0,222 ^o	-0,177
b12	-0,083	0,054	0,020	0,326 ⁺⁺	0,016	-0,096	-0,173
Rend. x testigo	0,007	0,017	-0,002	0,163	0,083	0,388	0,319 ⁺
Rend. x máximo	-0,005	-0,09	-0,015	0,219 ^o	0,050	0,300 ⁺	0,464 ⁺⁺

SIGNIFICANCIA: 10% 0,210 ° 5% 0,95 + 1% 0,324 ++

Cuadro 10 (Cont.)

	Días de "stress"					Lluvia	Epoca siembra	Días entre rotura siembra	Rendimiento testigo	Rendimiento máximo
	S-M	M-Ec	Ec-Es	Es-Gl	Gl-Gd					
b0	0,104	-0,138	0,016	-0,171	-0,114	0,047	-0,408 ⁺⁺	0,029	0,976 ⁺⁺	0,657 ⁺⁺
b1	0,102	-0,080	-0,230	-0,454 ⁺⁺	-0,089	0,006	0,049	0,164	-0,234 ^o	0,379 ⁺⁺
b2	-0,157	0,011	-0,056	-0,149	0,186	-0,057	0,065	0,082	-0,073	0,195
b11	-0,220 ^o	0,135	0,088	0,418 ⁺⁺	0,005	-0,026	0,082	-0,172	0,021	-0,400 ⁺⁺
b22	0,057	-0,073	-0,061	-0,146	-0,223 ^o	0,149	-0,041	-0,141	0,015	-0,144
b12	0,057	0,082	0,068	-0,172	0,035	-0,070	0,156	-0,028	-0,194	-0,151
Rend. x testigo	0,141	-0,101	0,062	-0,197	-0,043	0,035	-0,381 ⁺⁺	0,021	-	0,667 ⁺⁺
Rend. x máximo	0,078	-0,213 ^o	-0,129	-0,481 ⁺⁺	-0,154	0,122	-0,406 ⁺⁺	-0,016	0,667 ⁺⁺	-

SIGNIFICANCIA: 10% 0,210 °
 5% 0,25 +
 1% 0,324 ++

2.3.3 Estudio de una función general de producción

Para desarrollar una función de producción generalizada que incluya a los principales factores que afectan los rendimientos, se llevó a cabo un análisis combinado de los resultados por el método de regresión múltiple.

El modelo general de regresión puede expresarse de la siguiente forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \xi$$

en donde Y representa el rendimiento

X_1, X_2, \dots, X_n son los factores

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ los coeficientes de regresión y ξ el error que incluye tanto el error experimental como la influencia de factores no incluidos dentro del modelo.

i) Establecimiento de la función de rendimientos

Con los resultados del primer año, se llevaron a cabo algunas pruebas preliminares para comprobar la metodología, las que confirmaron que el método de selección de las variables por medio de correlación simple lineal entre los parámetros de la función de respuesta en cada sitio y éstos no es completamente satisfactorio, ya que inducía a descartar algunas variables importantes como, por ejemplo, el contenido de arcilla.

Además se comprobó por métodos gráficos que en la mayoría de los casos, las relaciones entre los parámetros de la función de respuesta y los factores tenían una forma curvilínea con tendencia asintótica para los valores más altos.

Estas pruebas permitieron destacar algunas variables de mayor importancia sobre los niveles de rendimientos así como el efecto que algunas tenían sobre la magnitud de la respuesta a nitrógeno o fósforo. Con estos antecedentes, se propusieron varias alternativas de funciones generales de producción que incluyeran los factores listados en el cuadro 11.

Como primera aproximación, se propuso una función que incluyó 34 términos, tanto directos como de interacción que pudieran explicar las variaciones de rendimiento. Incluyó varios términos cuadráticos para variables de sitio y manejo, cuando había razones agronómicas para esperar relaciones de este tipo. Era el caso para el contenido de arcilla, el contenido de nitrógeno y fósforo del suelo, la época de siembra, y el déficit hídrico.

Por eliminación sucesiva (backward regression, Draper y Smith, 1968) esta función se redujo a 27 términos, de los cuales 25 eran significativos a la prueba de t. Esta función obtuvo un coeficiente de múltiple determinación R de 0,756, con un F de 33,2 ambos significativos al 1%.

A continuación se calcularon rendimientos teóricos para las 858 parcelas, en base a los coeficientes de regresión de la función de producción obtenida y del nivel alcanzado por lo factores en cada una de ellas, los que a su vez se compararon con los rendimientos observados. A tal efecto, se calculó la suma de cuadrados de desviación $\xi (Y_o - Y_e)^2$ de los 13 rendimientos de cada ensayo, en donde Y_o es el rendimiento observado e Y_e el rendimiento calculado. Esta suma de cuadrados de desviación desde la regresión es una medición del éxito con que la ecuación de rendimiento permite predecir los rendimientos de las parcelas que sirvieron para establecer dicha ecuación, y es el criterio que se usa generalmente para decidir si un modelo es adecuado o no, y en este caso para despejar efectos eventuales del año de experimento o de los tipos de suelos que no estaban incluidos en la función.

Cuadro 11

FACTORES INCLUIDOS EN LAS PRUEBAS PARA OBTENER UNA ECUACION GENERAL DE RENDIMIENTO PARA EL CULTIVO DEL TRIGO EN EL VALLE CENTRAL DE CHILE

Factor	Símbolo	Expresado en	Promedio	Rango de variación
Nitrógeno disponible del suelo	n	ppm de N	29,5	3,8 - 100,8
Fósforo disponible del suelo	p	ppm de P	12,3	3,6 - 26,7
Potasio disponible del suelo	k	mE/100 gr	0,62	0,14 - 1,83
Arcilla	A	%	32,4	9,6 - 55,0
Carbonato de calcio	Ca	%	2,5	0 - 18,8
Conductividad del suelo	Cd	mmhos	0,17	0,0025 - 0,50
pH	pH	unidades	7,2	5,7 - 8,5
Materia orgánica	MO	%	3,4	1,1 - 6,9
Profundidad del suelo	PR	cm	82	19 - 150
Profundidad del horizonte A	PA	cm	23	12 - 48
<u>Factores manejables</u>				
Epoca de siembra	E	días	33,9	1 - 97
Déficit hídrico entre siembra y macolla	DI	días	5,1	0 - 45
Déficit hídrico entre encañado y floración	DIII	días	4,7	0 - 20
Déficit hídrico entre floración y formación del grano	DIV	días	7,7	0 - 29
Nitrógeno aplicado	N	kg N/ha	128	0 - 256
Fósforo aplicado	P	kg P/ha	160	0 - 320

Al encontrarse una homogeneidad de distribución de la suma de cuadrados de la diferencia para el conjunto de los ensayos después de haberlos separado en clases de años y de tipos de suelos, se rechazó la hipótesis de una posible influencia de estos factores considerados como tales sobre los rendimientos. En otras palabras, se consideró que los efectos derivados de aquellos factores estaban ya incluidos y debidamente cuantificados en la función de producción. Esta conclusión es importante puesto que lleva a enfatizar que para la zona ecológica considerada, la diferencia de comportamiento de los cultivos en suelos pertenecientes a distintos órdenes de la clasificación, se explica satisfactoriamente considerando los factores edáficos aisladamente ("single factors effect"), y que los procesos físico-químicos vinculados a la disponibilidad de nutrientes en particular (naturaleza de la arcilla, cualidad de la materia orgánica, vínculo del fósforo en el complejo coloidal del suelo), no difieren cualitativamente según sea la clase taxonómica a la cual pertenezcan los suelos.

Sin embargo, se observaron algunos valores de sumas de cuadrados que sobrepasaban el límite de 3 sigma de distribución de frecuencia, lo que indujo a considerar que para aquellos ensayos (9 en total), el modelo propuesto no predecía los rendimientos experimentales observados en forma satisfactoria. Al estudiar los datos originales bajo esta óptica, se comprobó que para 3 de ellos existía una fuerte interacción negativa entre nitrógeno y fósforo, dos arrojaban una respuesta importante a nitrógeno a pesar de contenidos superiores a 80 ppm de nitrógeno en el suelo, 3 tenían un coeficiente de variabilidad alto con valores de F no significativos para el análisis de varianza de regresión, y que el último había tenido un déficit hídrico de 21 días en el período entre encanado y espigazón que no figura en la función propuesta.

En consecuencia, se resolvió proponer la misma función de rendimiento con los 57 experimentos restantes, en la que se obtuvo un coeficiente de regresión múltiple de 0,808 con un valor para F de 40,08.

Al existir factores incluidos en esta función que no eran significativos a la prueba de t, se propusieron varias funciones más en las que se fueron eliminando uno por uno los factores de menor significancia hasta llegar por último a una función de 20 términos cuyo coeficiente de determinación múltiple R es de 0,807, con un valor para la prueba de F de 63,20, ambos altamente significativos, y explica en un 64 por ciento la variación de rendimiento de las 741 parcelas consideradas en el análisis. Los coeficientes de regresión de esta función de rendimiento están presentados en el cuadro 12.

ii) Interpretación de la función de rendimiento

El modelo generalizado de la función de rendimiento que despeja los términos relativos al efecto de los fertilizantes se expresa de la siguiente forma:

$$Y = B_0 + B_1N + B_2P + B_3N^2 + B_4P^2$$

en donde cada uno de los coeficientes de regresión resulta de la combinación de los términos pertinentes de la ecuación general, a saber

$$B_0 = 7,918 + 0,4064n - 0,00048n^2 + 1,0105A - 0,0191A^2 + 0,398 Ca + 0,0602 PR - 0,00129 E^2 - 0,580 D IV + 0,0122 (D IV)^2$$

$$B_1 = 0,1688 - 0,00210 n + 0,00302 DI - 0,00493 D IV$$

$$B_2 = 0,091 - 0,00567 p$$

$$B_3 = -0,00418 + 0,00000472 n - 0,0000106 DI + 0,0000122 D IV$$

$$B_4 = -0,000260$$

Cuadro 12

COEFICIENTES DE REGRESION PARA UNA FUNCION DE PRODUCCION DEL TRIGO PARA EL VALLE CENTRAL DE CHILE

Variabes ^{1/}	Coefficiente de regresión	Significancia a la prueba de t
n	0,4064	**
(n) ²	-0,00048	+
A	1,0105	**
(A) ²	-0,0191	**
Ca	0,398	**
FR	0,0602	**
(E) ²	-0,00129	**
D IV	-0,580	**
(D IV) ²	0,0122	**
N	0,1688	**
N x n	-0,00210	**
N x DI	0,00302	*
N x D IV	-0,00493	**
(N) ²	-0,00418	**
(N) ² x n	+0,00000472	*
(N) ² x DI	-0,0000106	*
(N) ² x D IV	0,0000122	**
P	0,091	**
P x p	-0,00567	*
(P) ²	-0,000260	**

Constante: 7,918 - R = 0,807** - F = 63,20**

(**) Significativo al 1 por ciento.

(*) Significativo al 5 por ciento.

(+) Significativo al 10 por ciento.

^{1/} La significación de los símbolos están indicados en el cuadro 11.

El término B_0 , permite calcular los rendimientos teóricos en ausencia de fertilización, y toma en cuenta, como factores no manejables, las siguientes características del horizonte superficial: nitrógeno inicial, expresado como nitratos y amonio extractable, el contenido de arcilla, el contenido de carbonato de calcio y la profundidad del suelo. El fósforo asimilable es ausente pues su efecto no resultó significativo a la prueba estadística, probablemente porque hubo demasiados sitios en que su valor era alto. Lo mismo se aplica al potasio. Esto corrobora conclusiones anteriores sobre la ineficacia de la fertilización potásica y la irregularidad de la respuesta al fósforo en el área. El efecto de otros factores, tales como contenido de materia orgánica, profundidad del horizonte A, pH, nitrógeno total, no aparecen tampoco, ya que están correlacionados con los factores anteriores.

En cuanto a los factores manejables, se destaca el efecto negativo de la época de siembra tardía y del déficit hídrico entre la espigadura y la formación del grano. Cabe recordar que el déficit hídrico en la época anterior y en la época posterior a ésta no se retuvo como variable debido a la alta correlación existente entre estos tres factores.

Los términos de la respuesta al nitrógeno incluyen el nitrógeno del suelo y el déficit hídrico en dos épocas. El término positivo para la interacción entre respuesta a la fertilización nitrogenada y el déficit hídrico entre siembra y macolla puede explicarse por una mayor resistencia a la sequía del cultivo en esta época, cuando ha desarrollado mejor su sistema radicular a consecuencia de la fertilización. Es lógico por otra parte que la respuesta a la fertilización sea menor en presencia de mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo y cuando se presentan "stress" de humedad en la época de formación del grano. La respuesta al fósforo por otra parte es afectada solamente por el contenido de fósforo asimilable del suelo.

El modelo no consta de términos de interacción para la fertilización nitrogenada y fosfatada, ya que ésta no resultó significativa a la prueba de t y fue eliminada en el proceso de construcción de aquél. Quedó así establecido que en términos generales, la respuesta a la fertilización del trigo en el área depende solamente del contenido de los nutrientes fósforo y nitrógeno del suelo, y para la fertilización nitrogenada, de la disponibilidad de agua. Los demás factores influyen sobre el nivel de rendimiento, pero no sobre la forma y magnitud de la respuesta. La gráfica 2 ilustra el efecto de algunos de estos factores sobre el nivel de rendimiento.

iii) Aplicación de la función de rendimiento para calcular dosis óptimas económicas

Se utilizó la ecuación general de rendimiento para calcular la respuesta a la fertilización bajo condiciones específicas. A título de ejemplo, están representadas en las gráficas 3 y 4, las curvas de respuesta teórica para un suelo de la serie Maipo de características promedias para el área, pero deficiente en nitrógeno.

Conociendo la razón de precios (0,052 para el nitrógeno del salitre y 0,019 para el P_2O_5 del super III, precios vigentes en septiembre de 1970) es además factible calcular los óptimos económicos. A título indicativo hemos calculado los óptimos económicos de fertilización nitrogenada para un suelo de la misma serie para distintos grados de intensidad del déficit hídrico, los que están representados en la gráfica 5. Queda esclarecida en esta gráfica la inconveniencia económica de la fertilización nitrogenada cuando el riego es insuficiente durante la época que va de la floración a la formación del grano.

Asimismo, se calcularon óptimos económicos de fertilización nitrogenada y fosfatada en función del contenido de dichos elementos en el suelo y en ausencia de déficit hídrico, los que aparecen en el cuadro 13. Este constituye en realidad la tabla de calibración de la respuesta económica de la fertilización a utilizar para adecuar las dosis aconsejadas al análisis de suelos.

Cuadro 13

RECOMENDACIONES PROMEDIOS DE DOSIS OPTIMAS ^{1/} ECONOMICAS DE FERTILIZACION NITROGENADA Y FOSFATADA PARA TRIGO REGADO EN EL VALLE CENTRAL EN FUNCION DE LA DISPONIBILIDAD DE N Y P DEL SUELO

P del suelo en ppm según Olsen	0 - 4		4,1 - 7,9		8 - 12		12,1 - +	
	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha
NO ₃ en el suelo en ppm								
0 - 9	130	120	130	80	130	45	130	0
10 - 19	105	120	105	80	105	45	105	0
20 - 29	80	120	80	80	80	45	80	0
30 - 39	55	120	55	80	55	45	55	0
40 - 49	35	120	35	80	35	45	35	0
50 - 59	15	120	15	80	15	45	15	0
60 - +	0	120	0	80	0	45	0	0

^{1/} Los valores de fertilización óptima económica están calculados en base a salitre sódico 16% N y superfosfato triple 46% P₂O₅. Razón de precio de 0,052 y 0,019 respectivamente. Los gastos menores que la fertilización involucra se han ignorado.

iv) Potencial de producción de los suelos

Si bien la función de rendimiento ha permitido demostrar que son factores singulares los que dan cuenta de la influencia del suelo sobre la producción, los rendimientos alcanzables en un suelo determinado pueden sin embargo deducirse de la clase a la cual pertenece dentro de un sistema de clasificación.

En efecto, como las clases se definen en base a un conjunto de criterios con límites establecidos, ocurre a menudo que dentro de una clase varios de los factores de producción no manejables están combinados, cada uno con un rango definido y relativamente estrecho para el valor cuantitativo que pueden tener.

A título de ejemplo, los rendimientos alcanzables para cuatro tipos de suelo, en condiciones óptimas de manejo han sido calculados, los que se encuentran en el cuadro 14.

Cuadro 14

RENDIMIENTOS PROMEDIOS DE TRIGO ALCANZABLES PARA CUATRO TIPOS DE SUELO EN
CONDICIONES OPTIMAS DE MANEJO EN EL VALLE CENTRAL

CARACTERISTICAS DE HORIZONTE SUPERFICIAL										
ZONA	Suelo	Materia orgánica %	Arcilla %	Carbo- natos %	N del suelo ppm	P del suelo ppm	Profun- didad cm	Fertili- zación N P unidades		Rendi- mientos
El Monte- Melipilla	Molisol	4,5	35	15	50	10	150	76	66	57,5
Llano del Maipo- Santiago	Inceptisol	2,5	23	5	40	10	60	101	66	44,5
San Vicente- Rengo	Vertisol	5,0	35	0	50	10	150	76	66	51,5
Teno	Alfisol	3,1	35	0	25	18	80	140	0	42,6

Esto indica que los rendimientos esperados difieren bastante según el tipo de suelo aun en condiciones óptimas de fertilización y que los molisoles y vertisoles tienen el potencial productivo más alto, superando los 50 qq/ha.

v) Alcance de la función de producción para la previsión de rendimientos

La función de rendimiento obtenida considera, por su naturaleza misma, solamente los factores de producción de mayor representatividad en el área. Otros factores, importantes en algunos casos, no están incluidos pues podría decirse que representan casos particulares dentro del área considerada como una zona ecológica. Merecen sin embargo mencionarse aquí para completar el cuadro general.

- El potasio se descartó como factor de rendimiento en el área, pues los suelos están generalmente muy bien provistos en este elemento. Sin embargo, en el valle de Santa Cruz los valores de potasio intercambiable de los suelos son bajos, y merecería un estudio más detallado el efecto de este elemento sobre la producción para las condiciones particulares del valle.

- En dos ensayos de la parte inferior de los valles del Aconcagua y del Maipo, los rendimientos sufrieron merma por salinidad del suelo, no suficiente para ser detectada con el método aplicado.

- Los molisoles calcáreos e imperfectamente drenados de la parte inferior de los mismos valles mostraron una respuesta negativa al fósforo. Un estudio más detallado del fenómeno, en relación con posibles deficiencias de zinc se justifica, pero no pudo llevarse a cabo en el marco de la presente investigación.

- Los alfisoles de la serie Teno presentan particularidades de permeabilidad lenta e hidromorfia que deben tener una influencia sobre la producción en los años húmedos. Si bien se ubicaron tubos de medición de la napa freática, este efecto no se pudo medir ya que el clima fue anormalmente seco durante el experimento. Tal vez en año normal, la función de producción no se aplique a estos suelos que por otra parte tienen valores de fósforo disponible consistentemente más altos que los demás suelos del área.

Estos y otros más son tantos factores cuya incidencia tiende a aumentar considerablemente la suma de cuadrados de desviación desde la regresión, a la cual contribuyen ya el error experimental, el error en la medición de las variables (suelen ser importantes los errores de muestreo para análisis de suelo) y el error de sesgo introducido por postularse modelos que solamente se aproximan a las funciones reales de rendimiento.

2.3.4 Conclusiones

Quedó establecido de acuerdo al presente estudio que en el valle Central entre las provincias de Aconcagua y Curicó, el cultivo del trigo bajo riego alcanza un rendimiento promedio de 41 quintales por hectárea, pero con amplias variaciones de acuerdo al nivel alcanzado por una serie de factores cuyo efecto sobre la producción pudo establecerse.

El nivel de rendimiento alcanzable depende de algunos factores no manejables vinculados a la naturaleza de los suelos, así como de factores manejables, entre los cuales el nivel de la fertilización nitrogenada y fosfatada y la disponibilidad de agua juegan un papel preponderante.

Se pudieron establecer normas de fertilización en función de las disponibilidades de nutrientes en el suelo, las que pueden servir de guía para recomendaciones específicas que permiten alcanzar niveles óptimos económicos de rendimiento de dicho cultivo.

Asumiendo un manejo y una fertilización adecuadas se pudo establecer que el potencial productivo de los suelos del área para el trigo de la variedad Huelquen se establece en el orden siguiente: Molisoles > Vertisoles > Inceptisoles > Alfisoles, con rendimientos promedios teóricos respectivamente de 57,5, 51,5, 44,5 y 42,6 quintales por hectárea.

2.4 CALIBRACION DE LA RESPUESTA A LA FERTILIZACION CON EL ANALISIS DE SUELO

El análisis de suelo ha llegado a constituirse en una herramienta muy útil en el campo de la fertilidad del mismo pues, en principio, permite adecuar las dosis de fertilizantes a emplear en un cultivo a la disponibilidad de nutrientes existente. El análisis mismo no presenta mayor dificultad, aunque exista un serio problema de muestreo para alcanzar una "muestra representativa" de un campo de estudio. La interpretación de los valores obtenidos en el análisis para transformarlos en recomendaciones sobre dosis y método de aplicación de fertilizantes comerciales a agregar es más delicada.

En efecto, según sean las propiedades físico-químicas de los suelos y la naturaleza del cultivo, la respuesta obtenida en una determinada dosis de fertilización puede sufrir amplias variaciones a pesar de tenerse un mismo valor de disponibilidad del nutriente en el suelo. La calibración del análisis de suelo con la respuesta a la fertilización es el paso previo e ineludible a cualquier programa sistemático de análisis de suelo con fines de diagnóstico de fertilización para los agricultores,

2.4.1 Método experimental

Con este objetivo se usaron resultados de experimentos de fertilización nitrogenada y fosfatada en trigo, que se llevaron a cabo en los principales suelos del valle Central entre las provincias de Aconcagua y Curicó durante las temporadas 1968-1970. Solo se retuvieron para este estudio los datos provenientes de ensayos en los cuales la disponibilidad de agua había sido satisfactoria durante todo el período vegetativo.

Antes de la siembra, se formaron muestras del horizonte superficial del suelo en los que además del % de materia orgánica y pH, se midieron las disponibilidades de nitrógeno y fósforo determinados respectivamente por la suma $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ extractables y el fósforo según Olsen.

Esta disponibilidad de nutrientes se relacionó con la respuesta del cultivo a la fertilización, expresándose el rendimiento del testigo como un porcentaje del rendimiento máximo obtenido para cada nutriente agregado.

2.4.2 Resultados y discusiones

En el cuadro 15 aparecen los resultados obtenidos. Se aprecia en el cuadro que los suelos de los experimentos abarcan una gama amplia, de pH (5,7 a 8,5) y materia orgánica (1,1% a 6,7%) bastante representativa para las condiciones del valle Central, como se ha visto anteriormente.

La respuesta a la fertilización nitrogenada y fosfatada, medida a través del rendimiento del testigo expresado como porcentaje del rendimiento máximo, varía entre 54,8 a 100 por ciento para la primera y 45,5 a 100 por ciento para la segunda. A su vez la disponibilidad de nitrógeno varía de 3,8 a 100,8 ppm y la de fósforo de 3,6 a 24 ppm de este elemento.

La relación existente entre la respuesta a la fertilización y las disponibilidades de nutrientes en el suelo se aprecia en las gráficas 6 y 7.

Como era de esperar, de acuerdo a la expresión de los resultados, las relaciones obedecen a un modelo asintótico en el cual para el nitrógeno el máximo se logra con valores superiores a 60 ppm y para el fósforo con valores superiores a 13 ppm de estos elementos en el suelo. Sobre estos valores, no es de esperar una respuesta a la fertilización para el trigo.

Para los fines de diagnóstico, es posible agrupar en rangos de amplitud los valores de disponibilidad de nitrógeno y fósforo. Estos aparecen en los cuadros 16 y 17 frente a los porcentajes de rendimiento máximo que se pueden lograr. Además estos cuadros muestran el % de frecuencia de casos observados en cada rango y los rendimientos promedios alcanzados, en los tratamientos que carecían del elemento estudiado.

El cuadro 16 indica que para el nitrógeno, un 43,7 por ciento de los suelos estudiados estaban ubicados dentro del rango más bajo de la escala propuesta (0-20 ppm) y que bajo estas circunstancias permiten obtener solamente la mitad del rendimiento máximo relativo.

Este hecho da una idea de la importancia que tiene la fertilización nitrogenada en la zona Central, ya que con estos contenidos bajos de nitrógeno disponible, sólo cabría esperar 24,6 qq/ha de trigo sin fertilización nitrogenada, según se aprecia en este mismo cuadro. Cuando la disponibilidad de nitrógeno está entre 21 y 40 ppm, el promedio del porcentaje del rendimiento máximo aumenta a 82,5 por ciento y, a su vez, el rendimiento promedio, sin fertilización nitrogenada, aumenta también a

Cuadro 15

RENDIMIENTOS DE LOS TESTIGOS, EXPRESADOS EN PORCENTAJES DE LOS RENDIMIENTOS MAXIMOS, DISPONIBILIDADES DE NITROGENO Y FOSFORO, Y VALORES DE MATERIA ORGANICA Y pH DE 47 SUELOS ENTRE LAS PROVINCIAS DE ACONCAGUA Y CURICO

Nº	Rendimiento del testigo expresado en % del rendimiento máximo al aplicar N	Rendimiento del testigo expresado en % del rendimiento máximo al aplicar P	NO ₃ + NH ₄ inicial ppm	Materia orgánica %	P Olsen ppm	pH
3	71,90	89,40	12,1	3,11	10,00	7,2
4	46,60	81,51	3,9	1,10	9,10	7,6
11	74,90	62,73	17,9	2,25	7,00	7,9
15	80,50	74,48	18,0	1,14	7,80	8,2
18	93,40	69,84	59,6	3,62	7,50	6,7
19	60,70	75,78	16,8	2,06	9,20	7,6
23	100,00	90,16	100,8	3,96	12,60	5,7
47	79,34	91,55	34,4	2,13	9,10	6,0
48	95,93	45,46	52,5	6,00	4,30	6,1
27	34,81	78,83	14,4	3,46	10,60	6,4
51	35,46	70,41	13,8	1,35	7,00	7,8
37	86,29	82,79	24,9	4,43	9,00	7,8
29	83,68	100,00	48,0	4,01	22,00	5,9
30	81,53	75,29	26,8	4,21	11,40	5,9
31	57,53	100,00	14,5	2,66	13,40	6,6
14	61,14	93,29	12,1	5,81	12,00	7,8
16	65,52	87,07	21,3	6,43	8,50	8,0
40	40,53	86,88	10,8	4,82	11,80	8,2
41	92,94	90,93	31,7	4,92	9,60	7,9
21	86,86	74,15	28,2	5,01	8,30	7,3
33	93,10	100,00	84,0	6,64	22,00	7,3
46	70,42	99,88	12,3	5,64	15,30	7,8
26	89,95	93,83	30,7	3,59	10,10	6,2
139	75,12	67,80	18,9	2,37	8,25	6,7
138	50,12	96,20	13,5	3,09	22,80	6,4
108	100,00	92,80	56,4	2,55	13,70	7,8
136	76,93	97,40	20,3	3,97	12,85	6,6
113	84,47	85,30	24,0	2,75	8,85	7,8
111	63,22	95,20	17,1	2,77	15,20	8,0
114	97,76	92,60	34,7	6,70	17,75	7,5
129	76,75	73,40	21,8	4,33	8,50	6,5
110	66,20	83,20	18,7	1,98	8,20	8,0
128	93,95	72,10	49,6	4,22	10,45	6,0
104	58,45	90,50	12,7	2,54	8,10	8,3
130	79,22	93,70	25,7	3,40	22,70	6,8
112	79,10	92,60	24,7	3,67	20,60	7,9
123	93,73	85,70	63,3	4,20	9,20	7,5
101	58,51	83,90	18,4	3,35	10,85	7,2
201	58,57	88,50	17,4	3,35	9,00	7,2
105	86,02	100,00	27,8	2,27	15,00	8,2
118	81,83	95,60	21,2	2,32	22,60	7,2
125	46,73	90,60	12,1	4,37	13,45	7,3
127	100,00	100,00	67,7	3,99	14,75	7,3
116	58,44	48,78	15,3	5,47	3,60	8,2
109	76,79	100,00	33,9	3,20	16,00	7,9
120	78,03	63,80	42,3	2,15	5,45	7,7
126	70,40	92,20	13,2	4,34	22,00	8,5
121	100,00	92,80	67,3	3,54	16,70	7,1

37,4 qq/ha. En este rango de disponibilidad de nitrógeno, las necesidades de fertilización se hacen menos intensas que en el primero. Por otra parte, la frecuencia de casos observados no deja de ser importante, ya que un tercio de los experimentos estaban dentro de este rango de disponibilidad.

Las expectativas de respuesta a la fertilización son menores cuando se obtiene entre 41 y 60 ppm de N inicial, ya que, con este rango de disponibilidad se logra un 91,9 por ciento del rendimiento máximo y el rendimiento promedio del testigo llega a 40,7 qq/ha. Sin embargo, es importante hacer notar que sólo el 12,5 por ciento de casos se encontraban dentro de este rango, que sumados al 10 por ciento de los casos que tenían más de 60 ppm, en la que no hubo respuesta, no alcanzan a representar la cuarta parte del total de experimentos efectuados.

En el cuadro 17 se observa que, para fósforo, el 4,2 por ciento de los suelos estudiados estaban ubicados dentro del rango más bajo de la escala propuesta (0-5 ppm) y que, bajo estas circunstancias, permiten obtener menos de la mitad del rendimiento máximo relativo. El hecho de que solamente el 4,2 por ciento de los suelos estudiados estuvieran en este rango, indica que dentro de la zona no es grave la deficiencia extrema de este elemento en el suelo, pero, cuando ésta se presenta, es importante, ya que se obtiene sólo un promedio de 17,2 qq/ha de trigo sin fertilización fosfatada.

Cuando la disponibilidad de fósforo aumenta entre 5,1 y 9,0 ppm se logra el 76,7 por ciento del rendimiento máximo y, a su vez, el rendimiento promedio sin fertilización fosfatada más que se duplica con respecto al que se obtiene cuando la disponibilidad está en el rango menor. Sin embargo, la fertilización fosfatada sigue siendo importante. En relación al número de casos observados representa un 21,9 por ciento.

Cuando la disponibilidad de fósforo en el suelo es de 9,1 a 13,0 ppm se obtiene el 88,8 por ciento del rendimiento máximo, y a su vez, el rendimiento promedio testigo aumenta a 39,1 qq/ha con una frecuencia de casos observados de 31,9 por ciento.

Por otra parte, cuando la disponibilidad de fósforo es más de 13,1 ppm, se logra casi el 100 por ciento del rendimiento máximo (98,3 por ciento) y el rendimiento promedio del testigo aumenta a 41,4 qq/ha, con una frecuencia de casos del 34 por ciento, que es la más alta en relación a las anteriores. Este hecho es de mucha importancia, ya que permite concluir que más de un tercio de los suelos estudiados no responderían a la fertilización fosfatada. Si este 34,0 por ciento lo sumamos al 31,9 por ciento de casos en que el fósforo disponible era de 9,1 a 13,0 ppm, se puede concluir que casi los dos tercios de los suelos estudiados responderían poco a la fertilización fosfatada.

En base a los resultados experimentados en los ensayos, se elaboró una pauta de fertilización que aparece en los cuadros 16 y 17. Dentro de los rangos propuestos la fertilización recomendada fluctuaría de acuerdo al potencial productivo de los suelos y el nivel de manejo. Estos cuadros pueden compararse con el cuadro 13, pues expresan la misma cosa, pero se obtuvieron por dos métodos distintos. Se comparan muy favorablemente, particularmente para las dosis de fertilización más altas.

2.4.3 Conclusiones

En conclusión, los métodos utilizados para la determinación del nitrógeno y fósforo del suelo permiten evaluar las disponibilidades de éstos y predecir con un grado de precisión razonable el comportamiento del trigo frente a la fertilización. En el 77,5 por ciento de los casos para nitrógeno y 26,1 por ciento para fósforo, los niveles encontrados en el valle Central entre las provincias de Aconcagua y Curicó eran justificables de una fertilización media a alta.

Cuadro 16

RENDIMIENTOS OBTENIDOS PARA 4 RANGOS DE NITROGENO DISPONIBLE EN EL SUELO

Rango del método (NO ₃ +NH ₄ inió-ppm)	% Rendim. máximo (promedio)	Rendim. pro- medio sin fertiliza- ción nitro- genada (qq/ha)	Nº Observa- ciones	% Frecuen- cia casos	Fertilización recomendada (kg N/ha)
0 - 20	55,2	24,7	21	43,7	96 - 128
21 - 40	82,5	37,4	16	33,3	64 - 96
41 - 60	91,9	40,7	6	12,6	32 - 64
61 - +	100,0	44,5	5	10,4	0 - 32

Cuadro 17

RENDIMIENTOS OBTENIDOS PARA 4 RANGOS DE P DISPONIBLE EN EL SUELO

P del sue- lo según Olsen (ppm)	% Rendim. máximo (promedio)	Rendim. pro- medio sin fertiliza- ción fosfa- tada (qq/ha)	Nº Observa- ciones	% Frecuen- cia casos	Fertilización recomendada (kg P ₂ O ₅ /ha)
0 - 5,0	47,1	17,2	2	4,2	120 - 160
5,1 - 9,0	76,7	36,3	14	21,9	80 - 120
9,1 - 13,0	85,8	39,1	15	31,9	40 - 80
13,1 - +	98,3	41,4	16	34,0	0 - 40

De acuerdo a los rangos de disponibilidad de los nutrientes, se pudo elaborar una pauta de fertilización para el trigo, que sin tener el rigor de la pauta de la fertilización obtenida por interpretación de la función de rendimiento, es no obstante adecuada, teniendo por otra parte la ventaja de una mayor simplicidad de elaboración.

Capítulo 3

PRODUCTIVIDAD DEL TRIGO EN LA PRECORDILLERA ENTRE LAS PROVINCIAS DE ÑUBLE Y MALLECO

3.1 GENERALIDADES SOBRE EL MEDIO ECOLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca la precordillera andina entre los paralelos 36°28' y 38°01', y consta de aproximadamente 500 000 ha. Constituye una zona ecológica de gran potencial productivo, todavía subexplotado, y en la que no se cuenta aún con suficiente información sobre respuesta a los fertilizantes y potencialidad de los suelos.

A esta área, de topografía ondulada, le corresponde una agricultura de secano en donde el trigo se cultiva en rotación con una pradera natural de 4 años de duración en general. Solo recientemente se está introduciendo en el área otros cultivos también, como el raps y praderas mejoradas y notablemente el trébol subterráneo. En forma general, el nivel de tecnificación de la agricultura es muy bajo. El agricultor usa muy poco fertilizante, mayormente fósforo solamente, y el promedio de producción de trigo del área está por debajo de los 10 quintales por ha, mientras el potencial, alcanzado por los agricultores progresistas es superior a los 35 quintales.

El clima de la precordillera de Ñuble a Malleco es de tipo mediterráneo frío (6,32 según Papadakis, 1970). Los inviernos son más fríos y los veranos más cortos que en el valle Central, y las heladas se extienden hasta la primavera. Hay cuatro meses secos y las precipitaciones ascienden a más o menos 1 400 mm, concentradas en invierno.

Los suelos pertenecen al gran grupo de los andepts, subgrupo de los dystrandeps de la asociación Santa Bárbara. Están formados en sedimentos piroclásticos conocidos en Chile como cenizas volcánicas, aunque este origen haya sido rebatido recientemente por Langhor (1971). Los suelos son muy profundos, muy permeables, bien drenados con complejo coloidal dominado por alófono y materia orgánica. A pesar de la topografía ondulada, no existen secuencias topográficas de suelos asociados y los suelos del área se caracterizan por su extrema homogeneidad. Sus características físicas y químicas han sido estudiadas por Espinoza (1970). Son moderadamente ácidos, con saturación de base muy baja, y su contenido en materia orgánica del horizonte superficial suele superar los 10 por ciento.

3.2 FUNCION DE PRODUCCION EN TRIGO EN LA PRECORDILLERA DE ÑUBLE A MALLECO

Persiguiendo los mismos objetivos que para la zona de riego del valle Central, pero esta vez para una zona de secano, se instaló también en el área una red de experimentos cuyos resultados fueron procesados para alcanzar una función de producción, y elaborar una pauta de fertilización aplicable a las condiciones específicas de los campos de los productores.

3.2.1 Método experimental

Durante las estaciones de cultivo 1968-1969 y 1969-1970, se realizó una red de 37 experimentos en suelos andepts de la asociación Santa Bárbara, tratándose de abarcar diversas combinaciones de factores de suelo y manejo que se pensaba podían tener influencia sobre los rendimientos. Los experimentos también se ubicaron junto a

siembras de los agricultores y en colaboración con ellos. En el mapa 3 aparece la distribución geográfica de los experimentos en el área de estudio.

i) Diseño experimental

En cada sitio se instalaron 26 parcelas de combinaciones de fertilizantes N y P repartidas en 2 bloques de 13 tratamientos cada uno. Se utilizó el mismo diseño que para el estudio del valle Central, pero con dosis distintas, adaptadas a la información existente. Los tratamientos aparecen en el cuadro 18. Cada parcela tenía una dimensión de 6 m de largo por 2,4 m de ancho, y la distribución de tratamientos entre parcelas se hizo por randomización.

ii) Caracterización de los sitios

Se siguió el mismo método de caracterización que para el valle Central, 2.3.2, para cuantificar las variables de sitios, agregándose sin embargo una medición cuantitativa de la estructura del suelo en base al porcentaje de agregados de estructura granular fina. Las determinaciones analíticas sobre muestras compuestas de suelo se hicieron según los mismos métodos, salvo para el fósforo disponible por el cual se utilizó el método de Carolina del Norte. No se determinó ni conductividad, ni carbonatos, ya que tales análisis no tenían objeto para los suelos del área. Por contrario, se determinó el aluminio extractible por acetato de amonio a pH 4,6.

iii) Conducción de la experimentación y observaciones de campo

El cultivo anterior estuvo constituido en la mayoría de los casos por pradera natural de 3 años. En siete casos, sin embargo la pradera era de trébol subterráneo. Para tomar en cuenta esta diferencia, se utilizó una variable "dummy", que tenía valor 0 para pradera natural y valor 1 para pradera de trébol.

Al igual que en la zona central, la preparación del suelo antes de la siembra, coincidió con las labores que hace habitualmente el agricultor, es decir una aradura y múltiples pases, hasta 6, de una rastra offset. Por otra parte, el lapso transcurrido entre rotura y siembra varió desde 10 hasta 90 días. Se sembró variedad Capelle Deprez con densidad de 160 kg de semilla por ha y con distancia entre hileras de 25 cm. Las siembras tuvieron lugar desde fines de mayo hasta principios de agosto, efectuándose la primera el 10 de mayo, fecha que se retuvo como día uno para el cómputo de la época de siembra expresada en días.

También en este grupo de experimentos, el control de malezas fue total por aplicación de herbicida de preemergencia y después cuando fuera necesario.

Las lluvias que recibieron los cultivos se midieron con pluviómetros de acumulación, los que estaban ubicados en el sitio mismo de cada ensayo, haciéndose la lectura cada 10 a 15 días.

Para el control de la humedad del suelo, se colocaron bloques de Bouyoucos, pero dificultades técnicas en la medición de los bloques no permitieron obtener información completa respecto a los días de déficit hídrico. Para obviar este inconveniente se cuantificó la lluvia caída entre la macolla y la cosecha como índice de disponibilidad de agua ya que es en la parte media de este período donde pueden presentarse días de déficit hídrico.

Los ensayos fueron visitados cada 10 a 15 días, según la fase de crecimiento, haciéndose las mediciones mencionadas. Del punto de vista sanitario se presentaron ataques aislados de mal del pie (*Ophiobolus graminis*) cuyo efecto sobre los rendimientos no se cuantificó.

En cada ensayo se cosecharon 10 m² por parcela, y el rendimiento se expresó en quintales/ha de grano a 14 por ciento de humedad.

Cuadro 18

COMBINACION DE TRATAMIENTOS Y DOSIS DE FERTILIZANTES EMPLEADOS
EN LOS EXPERIMENTOS DE FERTILIZACION DEL TRIGO EN LA ZONA
PRECORDILLERANA DE LAS PROVINCIAS DE ÑUBLE A MALLECO -
AÑOS 1968-1970 1/

N \ P	0	100	200	300	400
0	*		*		*
75		*		*	
150	*		*		*
225		*		*	
300	*		*		*

1/ Las dosis estan expresadas en kg/ha de N y kg/ha de P₂O₅ agregados como nitrato de sodio y superfosfato triple.

iv) Análisis estadístico

La misma metodología que para los experimentos del valle Central se aplicó también para el análisis estadístico de los resultados, la cual está descrita en el capítulo 2.

3.2.2 Resultados experimentales

i) Los suelos y los factores de manejo

En el cuadro 19 aparecen los valores promedios de algunas características del horizonte superficial de los suelos en los ensayos. El rango de variación de éstos es mucho menos amplio que en el valle Central, dada la homogeneidad de los suelos que pertenecen todos al mismo gran grupo. Se puede apreciar que el fósforo es bajo en todos los casos menos uno, y que por otra parte el potasio es bastante alto. Los contenidos de materia orgánica son también altos, aun considerando que los andepts suelen tener valores más elevados que los demás suelos.

Los factores de manejo que se tomaron en cuenta están consignados en el cuadro 20. Sólo la época de siembra y el precedente cultural, además de la fertilización, se retuvieron para este estudio. Cuatro factores de sitios, no manejables, están también medidos a saber: la lluvia entre siembra y macolla, la lluvia entre macolla y cosecha, la pendiente y la altura sobre nivel del mar.

Cuadro 19

CARACTERÍSTICAS DEL HORIZONTE SUPERFICIAL DE 37
EXPERIMENTOS DE FERTILIZACIÓN EN TRIGO EN LA
ZONA PRECORDILLERANA DE LAS PROVINCIAS DE ÑUBLE
A MALLECO 1/

Nº en- sayo	N in- cial ppm	N incu- bado ppm	N final ppm	pNC 1:10 ppm	p Ols. 1:20 ppm	Al ppm	K mE/100g	pH	M.O. %	Profun- didad Ap + A12 cm	Estruc- tura % gran. poros
1	38,4	43,4	81,8	8,8	7,8	530.	0,84	5,6	11,9	18.	60.
2	41,2	67,1	108,3	8,5	6,0	380.	1,30	5,7	12,5	24.	60.
5	40,5	40,1	80,6	5,3	5,5	350.	0,60	6,1	10,2	24.	80.
6	30,9	25,7	56,6	5,1	4,8	297.	1,04	6,2	9,4	25.	20.
7	22,2	23,2	45,4	5,3	7,0	345.	0,97	6,1	9,2	13.	25.
8	17,9	17,5	35,4	5,7	5,7	310.	0,93	6,2	8,2	16.	30.
10	26,4	35,2	61,6	4,3	4,9	340.	0,86	6,0	9,8	20.	30.
11	30,9	50,1	81,0	7,2	8,1	345.	0,94	6,0	11,3	18.	60.
12	29,3	31,1	60,4	6,5	6,0	350.	1,03	6,1	10,7	18.	50.
13	23,3	46,3	69,6	5,1	7,0	510.	1,24	6,0	12,3	22.	60.
14	29,1	54,2	83,3	3,5	5,0	460.	1,26	6,1	12,6	25.	10.
15	18,1	30,2	48,3	4,3	3,2	420.	1,20	5,9	9,6	20.	40.
16	16,6	35,3	51,9	5,9	4,9	390.	1,25	5,8	8,5	18.	50.
17	31,9	35,3	67,2	8,2	7,5	600.	0,79	6,1	12,4	17.	30.
19	39,4	39,4	78,8	3,9	6,6	590.	0,96	6,0	14,7	21.	60.
20	42,3	33,3	73,9	12,5	12,5	410.	2,00	6,0	12,0	25.	40.
21	53,9	43,0	96,9	5,9	6,3	430.	1,34	5,9	12,3	22.	30.
22	63,3	36,0	99,3	3,5	5,2	540.	1,22	5,5	16,2	56.	80.
23	32,2	45,9	78,1	4,4	5,7	360.	1,44	6,4	11,9	40.	90.
26	20,8	35,1	55,9	3,5	5,0	510.	0,67	5,9	11,0	16.	20.
30	32,4	41,0	73,4	2,1	4,0	580.	1,03	6,0	14,3	40.	90.
31	21,0	44,1	65,1	1,6	3,5	480.	0,99	6,3	10,9	23.	90.
101	77,4	32,4	109,8	5,8	5,2	293.	0,62	5,8	9,9	20.	20.
103	34,9	21,4	56,3	4,6	4,7	311.	0,58	5,9	8,6	22.	20.
104	35,6	31,2	66,8	4,0	3,7	256.	0,97	6,2	6,3	15.	65.
105	42,2	36,9	89,1	5,7	4,0	340.	1,34	6,0	9,8	15.	50.
108	32,5	23,4	55,9	5,3	5,8	257.	0,87	6,2	7,5	19.	0.
109	51,3	8,2	59,5	5,9	5,5	378.	0,52	5,8	9,4	22.	0.
110	49,3	42,6	91,9	6,0	5,7	325.	0,97	6,5	13,2	33.	50.
111	48,3	30,9	79,2	4,3	5,3	268.	1,08	6,3	9,9	17.	40.
112	42,9	128,1	171,0	5,9	8,6	655.	0,96	5,8	12,9	15.	80.
114	42,7	60,3	103,0	6,5	6,7	335.	0,92	6,2	11,7	12.	60.
115	53,3	166,9	220,2	6,1	6,4	515.	0,77	6,2	12,2	14.	80.
117	51,1	57,4	108,5	7,2	5,6	317.	1,16	6,2	12,0	42.	100.
118	57,4	31,5	88,9	6,6	5,4	500.	0,97	5,8	12,7	42.	100.
119	33,5	56,9	90,4	7,7	5,9	465.	0,71	5,8	10,6	40.	100.
120	31,3	63,9	95,2	9,8	6,3	515.	0,73	5,8	11,9	18.	30.

1/ Todos los suelos pertenecen al subgrupo de los dystrandept del sistema de clasificación de la 7a. Aproximación del USDA.

Cuadro 20

DISTRIBUCION DE LAS LLUVIAS, PRECEDENTE CULTURAL, EPOCA DE SIEMBRA, PENDIENTE Y ALTURA EN 37 SITIOS DE EXPERIMENTACION DE FERTILIZACION DE TRIGO EN LA PRECORDILLERA DE NUBLE A MALLECO

Ensayo N°	Lluvia total	Lluvia siem. mac.	Lluvia mac. cos.	Epoca de siembra	Precedente cultural	Pendiente %	Altura m.s.n.m.
1	11,13	4,82	6,31	0,1	1.	0.	355.
2	12,72	4,29	8,43	0,2	0.	0.	510.
5	6,34	1,46	4,88	0,5	0.	4.	450.
6	6,32	2,19	4,13	0,6	0.	3.	300.
7	6,91	2,88	4,03	0,6	0.	2.	300.
8	6,99	3,00	3,99	0,7	0.	5.	230.
10	6,15	1,28	4,87	1,1	0.	3.	480.
11	6,15	1,46	4,87	0,8	0.	5.	480.
12	6,69	1,46	5,23	0,8	0.	3.	500.
13	7,16	1,39	5,77	0,9	0.	1.	375.
14	7,81	1,51	6,30	0,9	0.	1.	360.
15	5,42	1,18	4,24	1,1	0.	2.	415.
16	10,50	3,97	6,53	1,4	0.	3.	535.
17	11,07	4,42	6,65	1,5	0.	1.	385.
19	11,48	4,15	7,33	1,7	0.	0.	520.
20	9,14	3,18	5,96	1,8	1.	1.	245.
21	9,30	4,46	5,84	1,8	1.	2.	270.
22	11,13	3,40	7,73	1,9	1.	4.	385.
23	9,21	3,18	6,03	2,1	1.	15.	305.
26	10,80	3,79	7,01	2,2	0.	7.	510.
30	6,77	2,05	4,72	2,9	0.	9.	350.
31	6,47	1,42	5,05	3,2	0.	12.	330.
101	12,85	12,67	0,18	1,1	0.	6.	485.
103	5,43	5,27	0,18	6,7	0.	4.	475.
104	12,92	12,62	0,30	1,3	0.	2.	320.
105	8,45	8,15	0,30	3,9	0.	1.	305.
108	10,22	9,13	1,09	4,2	0.	2.	260.
109	8,98	7,89	1,09	4,8	0.	3.	510.
110	9,21	8,13	1,09	5,0	0.	0.	270.
111	9,21	8,13	1,09	4,9	1.	4.	300.
112	14,37	12,98	1,39	2,5	0.	0.	540.
114	9,10	7,40	1,70	6,6	0.	10.	470.
115	14,86	13,16	1,70	2,6	0.	3.	480.
117	9,55	7,99	1,56	6,0	0.	1.	235.
118	9,55	7,99	1,56	6,1	0.	1.	270.
119	9,55	7,99	1,56	6,1	1.	3.	275.
120	10,24	8,17	2,07	5,9	0.	1.	390.

ii) Los rendimientos y la respuesta física a la fertilización

En el cuadro 21 aparecen los resultados físicos obtenidos en cada experimento, expresados en quintales métricos por hectárea. Corresponden al promedio de dos repeticiones. Los rendimientos obtenidos sin fertilización fluctuaron entre 5,2 y 38,9 qq/ha, y los máximos entre 28,1 y 64,1 qq/ha. Los tratamientos (150-400) y (225-300) obtuvieron los mayores rendimientos promedios de 45,3 y 44,9 qq/ha, respectivamente, lo que representa un aumento sobre el testigo de 249 y 242 por ciento respectivamente. Estos datos bastan para indicar tanto la pobreza de los rendimientos en ausencia de fertilización como también el tremendo potencial de productividad del área.

iii) Ajuste de un modelo polinomial a cada experimento

Como en el estudio anterior, se ajustó un modelo polinomial de segundo orden en dos variables para cada experimento, obteniéndose los coeficientes de la ecuación de regresión que cuantifican el efecto de los fertilizantes N y P_2O_5 sobre los rendimientos.

Los valores de estos coeficientes junto con significancia a la prueba de t, el coeficiente de regresión múltiple R y el valor de significancia del parámetro F de la razón de varianzas para la regresión respecto a la varianzas para el error aparecen en el cuadro 22.

De los 37 experimentos, hubo 36 para los cuales los resultados se ajustaron significativamente al modelo propuesto. Hubo respuesta significativa al nitrógeno en 29 casos, y al fósforo en 27 casos. El término de interacción entre nitrógeno y fósforo resultó significativo en 23 casos y estos resultados dan cuenta de la agudez del problema de la fertilización en el área.

iv) Correlación entre factores y respuesta

A continuación, se calcularon matrices de correlación simple entre los parámetros de las funciones de regresión y las variables de sitios que habían sido medidos, para conocer en primera aproximación cuáles de ellos podrían ser incluidos en una función de producción.

También se calculó la matriz de correlación simple de los factores entre sí. Estos resultados aparecen en los cuadros 23 y 24 respectivamente.

3.2.3 Estudio de una función general de producción

i) Establecimiento de la función general de rendimiento

Analizando las matrices de correlación obtenidas, y por método de regresión gráfica, se despejaron una serie de variables que agrónomicamente pudieran estar incluidas en una función general de producción. Como variables de suelo, se incluyeron el nitrógeno disponible, el fósforo disponible, el contenido de materia orgánica, la profundidad del horizonte húmico, y el porcentaje de agregados porosos del mismo; el aluminio soluble, el potasio disponible. Como variables de clima, se consideró la lluvia en las dos épocas de siembra a macolla y de macolla a encanado. Como variable de manejo, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la época de siembra. Varios términos de interacción también fueron incluidos así como términos cuadráticos cuando las regresiones gráficas sugerían un modelo no lineal entre el rendimiento y la variable considerada. Las variables con su símbolo, su expresión cuantificada, y su rango de variación están dadas en el cuadro 25.

Cuadro 21

RENDIMIENTOS PROMEDIOS OBTENIDOS EN 37 EXPERIMENTOS DE FERTILIZACION NITROGENADA Y FOSFATADA DE TRIGO
EN LA PRECORDILLERA DE NUBLE A MALLECO

Tratamientos en kg de N y kg C/aie P₂O₅/ha

Ensayo Nº	0-0	0-200	0-400	75-100	75-300	150-0	150-200	150-400	225-100	225-300	300-0	300-200	300-400
1	17,9	34,5	32,5	26,4	31,3	20,8	33,7	40,3	34,4	39,5	27,8	30,8	40,9
2	32,5	31,5	34,6	32,5	36,3	32,2	38,9	32,0	34,3	27,4	28,0	32,9	32,4
5	28,9	29,1	35,9	36,9	40,9	26,9	43,3	46,2	36,3	34,4	30,3	25,0	39,3
6	19,0	22,0	20,7	39,6	38,3	29,9	50,8	54,7	39,6	53,8	34,4	47,3	48,3
7	15,4	19,1	16,1	41,7	40,0	33,3	50,8	57,6	46,7	59,7	33,0	50,5	41,0
8	5,2	6,2	9,2	24,2	28,2	35,5	42,6	42,3	33,8	40,6	19,3	40,9	38,4
10	16,2	14,9	5,1	26,4	31,6	19,9	36,3	41,2	40,5	45,1	25,0	47,2	47,2
11	24,0	25,8	23,4	43,5	44,5	41,6	64,4	61,4	59,3	62,1	45,1	62,7	64,8
12	21,2	23,6	24,5	33,0	32,8	38,5	30,7	40,6	43,1	54,9	33,2	49,5	56,4
13	19,3	15,9	18,7	38,6	39,3	35,0	48,8	52,8	46,8	54,3	40,9	53,9	55,6
14	25,6	24,7	24,9	46,5	45,7	36,9	55,4	60,0	57,2	51,3	34,2	58,5	45,1
15	14,0	11,5	12,4	26,9	23,9	21,7	38,4	36,5	31,8	40,7	17,7	32,0	40,2
16	16,7	27,2	24,6	30,4	45,7	29,1	45,6	49,9	43,9	51,0	28,9	49,6	50,9
17	16,7	19,9	23,2	28,2	36,8	23,8	44,1	47,5	37,0	43,7	28,8	44,1	39,6
19	15,1	19,3	24,5	36,1	39,5	25,1	47,4	50,7	42,1	44,6	22,8	51,1	45,9
20	38,9	43,1	38,5	43,5	50,3	39,1	43,0	39,7	36,1	36,7	39,0	31,9	26,5
21	33,6	51,7	52,4	48,6	52,2	30,5	50,6	49,5	52,7	50,0	39,2	49,4	47,4
22	14,2	34,5	43,3	37,6	42,5	19,8	42,4	39,6	32,6	41,0	19,8	37,2	45,3
23	34,0	39,7	39,1	54,6	56,2	41,1	49,2	53,2	40,7	52,2	40,7	40,7	50,3
26	11,3	16,7	15,3	33,5	37,5	26,1	44,1	57,0	43,8	54,5	24,0	45,2	53,6
30	24,5	28,5	25,5	40,8	45,7	18,7	49,4	52,6	49,5	53,3	28,8	51,7	53,1
31	9,2	6,6	10,7	21,1	21,4	8,7	26,3	36,7	23,1	37,5	10,2	33,7	36,1
101	11,70	17,29	18,44	15,62	20,50	13,49	24,00	17,23	16,83	28,10	15,41	22,57	21,10
103	11,17	15,12	13,94	21,79	27,67	11,04	29,53	32,95	23,00	36,43	17,72	29,73	30,87
104	9,02	12,69	16,54	25,16	33,65	26,64	33,70	37,99	34,20	39,33	23,61	38,59	42,63
105	15,94	22,51	24,75	22,11	34,54	16,99	27,86	31,81	23,43	33,46	13,80	32,59	31,59
108	11,65	14,26	13,44	15,98	30,40	11,61	34,71	42,27	28,51	41,19	11,41	38,92	39,14
109	13,24	30,19	31,85	47,26	54,50	29,62	57,64	58,56	50,44	63,52	23,86	61,26	52,47
110	19,75	36,98	33,16	40,18	48,33	15,22	44,74	53,65	42,72	56,28	24,73	50,84	52,65

Cuadro 21 (Cont.)

Tratamientos en kg de N y kg C/ha de P_2O_5 /ha

Ensayo Nº	0-0	0-200	0-400	75-100	75-300	150-0	150-200	150-400	225-100	225-300	300-0	300-200	300-400
111	16,83	26,07	32,30	34,89	40,20	25,47	43,45	43,80	44,11	44,13	19,56	41,41	45,55
112	8,32	29,38	29,19	26,46	41,07	11,80	37,07	33,97	24,45	31,33	9,44	27,35	45,75
114	13,86	26,65	22,57	25,86	36,62	19,48	37,63	39,95	33,90	36,45	17,47	34,05	39,09
115	11,34	16,13	21,75	21,74	38,80	12,94	25,73	42,97	22,39	34,93	13,88	28,10	38,69
117	17,46	21,00	24,76	26,68	34,76	17,31	37,70	37,76	29,87	37,33	13,90	32,88	38,91
118	22,03	33,10	37,58	43,13	51,82	21,58	50,72	57,79	50,56	57,71	24,61	53,46	56,40
119	24,35	46,51	46,95	44,95	53,24	22,77	48,27	57,45	49,91	51,31	20,14	51,76	56,88
120	12,90	26,75	36,22	27,28	42,26	11,87	46,97	41,68	29,89	42,82	12,21	34,69	39,24

Cuadro 22

VALORES Y SIGNIFICANCIA DE LOS COEFICIENTES DE REGRESION DE UN MODELO POLINOMIAL DE SEGUNDO GRADO PARA
EXPRESAR LA RESPUESTA A NITROGENO Y FOSFORO DE 37 EXPERIMENTOS DE FERTILIZACION DE TRIGO EN LA ZONA
PRECORDILLERANA DE LAS PROVINCIAS DE NUBLE A MALLECO 1/

nº	b ₀	b ₁	b ₂	b ₁₁	b ₂₂	b ₁₂	R	F
1	18,69	0,037	0,070 ^x	-0,000043	-0,000076	-0,000011	0,79 ^{xx}	6,49
2	31,77	0,013	0,020	-0,000068	-0,000040	-0,000003	0,36	0,60
5	27,46	0,100 ^x	0,007 ^x	-0,000343 ^{xx}	-0,000044	0,000005	0,74 ^{xx}	4,79 ^{xx}
6	16,58	0,211 ^{xx}	0,061 ^{xx}	-0,000547 ^{xx}	-0,000116 ^{xx}	0,000126	0,92 ^{xx}	22,67 ^{xx}
7	11,39	0,312 ^{xx}	0,094 ^{xx}	-0,000823 ^{xx}	-0,000197 ^{xx}	0,000086	0,95 ^{xx}	34,04 ^{xx}
8	4,47	0,302 ^x	0,035 ^x	-0,000807 ^{xx}	-0,000070	0,000124 ^x	0,94 ^{xx}	28,17 ^{xx}
10	11,93	0,127 ^{xx}	0,068 ^{xx}	-0,000269 ^x	-0,000152 ^x	0,000182 ^x	0,89 ^{xx}	15,23 ^{xx}
11	21,03	0,261 ^{xx}	0,069 ^{xx}	-0,000609 ^{xx}	-0,000161	0,000163 ^{xx}	0,97 ^{xx}	62,35 ^{xx}
12	22,22	0,120 ^{xx}	0,023	-0,000247 ^x	-0,000064	0,000180 ^{xx}	0,94 ^{xx}	30,21 ^{xx}
13	16,58	0,235 ^{xx}	0,035 ^x	-0,000529 ^{xx}	-0,000072	0,000133 ^{xx}	0,97 ^{xx}	58,63 ^{xx}
14	20,75	0,254 ^{xx}	0,092	-0,000674 ^{xx}	-0,000208 ^x	0,000082 ^{xx}	0,87 ^{xx}	12,10 ^{xx}
15	11,99	0,162 ^{xx}	0,031 ^{xx}	-0,000482 ^{xx}	-0,000087 ^{xx}	0,000212	0,96 ^{xx}	49,96 ^{xx}
16	14,43	0,163 ^{xx}	0,106 ^{xx}	-0,000384 ^{xx}	-0,000190 ^x	0,000095	0,95 ^{xx}	35,55 ^{xx}
17	11,96	0,173 ^{xx}	0,086 ^{xx}	-0,000405 ^{xx}	-0,000136 ^x	0,000026	0,93 ^{xx}	25,85 ^{xx}
19	11,95	0,186 ^{xx}	0,109 ^{xx}	-0,000480 ^{xx}	-0,000202 ^{xx}	0,000106	0,91 ^{xx}	20,25 ^{xx}
20	38,29	0,052	0,038 ^{xx}	-0,000210 ^x	-0,000071 ^{xx}	-0,000107 ^x	0,75 ^{xx}	5,25
21	33,23	0,008	0,145 ^{xx}	0,000040	-0,000244 ^x	-0,000095	0,93 ^{xx}	9,30
22	16,40	0,040	0,145 ^{xx}	-0,000098 ^x	-0,000209 ^x	-0,000021	0,96 ^{xx}	15,57 ^{xx}
23	35,27	0,137 ^{xx}	0,044 ^{xx}	-0,000437 ^{xx}	-0,000072	0,000037	0,84 ^{xx}	3,44 ^{xx}
26	9,06	0,252 ^{xx}	0,068 ^{xx}	-0,000687 ^{xx}	-0,000121 ^x	0,000214 ^x	0,99 ^{xx}	45,50 ^{xx}
30	19,31	0,112 ^x	0,129 ^x	-0,000294 ^x	-0,000276 ^x	0,000181 ^x	0,93 ^{xx}	9,36 ^{xx}
31	5,12	0,108 ^x	0,055 ^{xx}	-0,000306 ^x	-0,000109 ^x	0,000219 ^x	0,95 ^{xx}	13,32 ^{xx}
101	10,43	0,021	0,067 ^{xx}	-0,000021 ^x	-0,000130 ^{xx}	0,000004	0,87 ^{xx}	12,33 ^{xx}
103	8,76	0,070 ^{xx}	0,081 ^{xx}	-0,000161 ^x	-0,000164 ^{xx}	0,000086 ^{xx}	0,93 ^{xx}	24,54 ^{xx}
104	8,57	0,181 ^{xx}	0,048 ^{xx}	-0,000425 ^{xx}	-0,000072 ^{xx}	0,000084 ^{xx}	0,98 ^{xx}	127,30 ^{xx}
105	13,98	0,035 ^{xx}	0,085 ^{xx}	-0,000115 ^x	-0,000150 ^{xx}	0,000077 ^{xx}	0,95 ^{xx}	39,27 ^{xx}
108	5,62	0,117 ^{xx}	0,093 ^{xx}	-0,000330 ^{xx}	-0,000176 ^{xx}	0,000200 ^x	0,95 ^{xx}	40,85 ^{xx}
109	13,27	0,221 ^x	0,195 ^{xx}	-0,000603 ^{xx}	-0,000380 ^{xx}	0,000113 ^x	0,97 ^{xx}	75,35 ^{xx}
110	16,96	0,062 ^x	0,176 ^{xx}	-0,000154 ^{xx}	-0,000323 ^{xx}	0,000125 ^x	0,96 ^{xx}	50,14 ^{xx}
111	15,86	0,131 ^{xx}	0,107 ^{xx}	-0,000366 ^{xx}	-0,000183 ^{xx}	0,000072	0,96 ^{xx}	45,25

Cuadro 22 (Cont.)

Nº	b ₀	b ₁	b ₂	b ₁₁	b ₂₂	b ₁₂	R	F
112	11,05	0,027 ^{xx}	0,132 ^{xx}	-0,000130 ^{xx}	-0,000210 ^{xx}	0,000106	0,93 ^{xx}	26,23 ^{xx}
114	11,91	0,119 ^{xx}	0,087 ^{xx}	-0,000332 ^{xx}	-0,000150 ^{xx}	0,000085 ^{xx}	0,97 ^{xx}	62,89 ^{xx}
115	8,94	0,102 ^{xx}	0,054 ^{xx}	-0,000313 ^{xx}	-0,000030 ^{xx}	0,000103 ^{xx}	0,94 ^{xx}	30,93 ^{xx}
117	14,81	0,080 ^{xx}	0,080 ^{xx}	-0,000280 ^{xx}	-0,000142 ^{xx}	0,000138 ^{xx}	0,97 ^{xx}	69,14 ^{xx}
118	18,28	0,121 ^{xx}	0,157 ^{xx}	-0,000332 ^{xx}	-0,000276 ^{xx}	0,000124 ^{xx}	0,96 ^{xx}	47,68 ^{xx}
119	24,73	0,034 ^{xx}	0,176 ^{xx}	-0,000143 ^{xx}	-0,000304 ^{xx}	0,000098	0,95 ^{xx}	40,70 ^{xx}
120	9,16	0,090 ^{xx}	0,165 ^{xx}	-0,000280 ^{xx}	-0,000255 ^{xx}	0,000025	0,97 ^{xx}	54,90 ^{xx}

1/ Los valores de los coeficientes están expresados en qq/ha de trigo a 14 por ciento de humedad. Los signos (x) y (xx) al lado de los coeficientes expresan su significancia a la prueba de t al nivel de 5 y 1 por ciento respectivamente. R es el coeficiente de regresión múltiple y F el coeficiente de la suma de cuadrados para la regresión.

Cuadro 23

COEFICIENTES DE CORRELACION SIMPLE ENTRE LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES
 bi Y ALGUNOS FACTORES DE CLIMA, SUELO Y MANEJO MEDIDOS EN 37 EXPERIMENTOS
 DE FERTILIZACION DE TRIGO EN LA PRECORDILLERA DE LAS PROVINCIAS DE NUBLE
 A MALLECO

	Rend. testigo	Rend. máximo	N inicial	N incubado	N final	PNC 1:10	P Olsen 1:20	Al	K interco.
b0 (N lineal)	0,974 ⁺⁺	0,336 ⁺	0,182	0,050	0,115 ⁺⁺	0,388 ⁺⁺	0,452 ⁺⁺	0,049	0,579 ⁺⁺
b1 (P lineal)	-0,302 ^o	0,511 ⁺⁺	-0,581 ⁺	-0,234	-0,459 ⁺⁺	-0,303 ^o	-0,033	-0,032	-0,134
b2 (N cuadrático)	-0,071	0,343 ⁺	0,339 ⁺	-0,097	0,074 ⁺⁺	0,020	-0,075	0,241	-0,228
b11 (P cuadrático)	0,268	-0,488 ⁺⁺	0,570 ⁺⁺	0,191	0,419	0,281 ^o	0,036	0,042	0,111
b22 (N Inter)	0,059 ⁺⁺	-0,419 ⁺⁺	-0,214 ⁺⁺	0,233	0,093	0,066 ⁺⁺	0,118	-0,159	0,179
b12 (Inter)	-0,497 ⁺⁺	0,147 ⁺	-0,493 ⁺⁺	-0,075	-0,279 ^o	-0,533 ⁺⁺	-0,513 ⁺⁺	-0,079	-0,329 ⁺⁺
Rend. x testigo	-	0,374 ⁺	0,121	0,067	0,101	0,371 ⁺	0,458 ⁺⁺	0,083	0,583 ⁺⁺
Rend. x máximo	0,374 ⁺	-	-0,247	-0,115	-0,220	0,010	0,250	0,216	0,056

	pH	M.O.	Ap+A12	Estructura granular porosa	% raíz 0-30	Epoca siembra	Lluvia total	Lluvia S-Mx	Lluvia M-Cosix
b0	0,525 ⁺⁺	0,364 ⁺	0,367 ⁺	0,272	-0,301 ^o	-0,209	-0,036 ^o	-0,316 ^o	0,409 ⁺
b1 N	-0,219	-0,273	-0,336 ⁺	-0,323 ^o	0,395 ⁺	-0,307 ^o	-0,325 ⁺	-0,335 ⁺	0,162
b2 P	0,067	0,274	0,368 ⁺	-0,034 ^o	-0,158 ⁺	0,598 ⁺⁺	0,149	0,315 ^o	-0,296 ^o
b11 N2	0,195	0,267	0,284 ^o	0,276 ^o	-0,387 ⁺	0,235 ⁺⁺	0,316 ^o	0,306 ^o	-0,131
b22 P2	-0,011	-0,205	-0,328 ⁺	-0,133	0,098	-0,554 ⁺⁺	0,024 ⁺	-0,188	0,285 ^o
b12 MP	-0,527 ⁺⁺	-0,257 ⁺	-0,096 ⁺	0,016	0,257	0,137	-0,382 ⁺	-0,127	-0,188
Rend. x testigo	0,468 ⁺⁺	0,384 ⁺	0,347 ⁺	0,244	-0,217	-0,188	-0,091	-0,355 ⁺	0,411 ⁺
Rend. x máximo	0,135	0,206	0,184	-0,045	0,074	-0,098	-0,244	-0,368 ⁺	0,283

SIGNIFICANCIA: 10% 0,210 °
 5% 0,95 +
 1% 0,324 ++

Entre siembra y macolla x
 Entre macolla y cosecha x

Quadro 24

MATRIZ DE CORRELACION ENTRE SI DE LOS FACTORES DE CLIMA, SUELO Y MANEJO
MEDIOS EN 37 EXPERIMENTOS DE FERTILIZACION DE TRIGO EN LA
PREGORDILLERA DE LAS PROVINCIAS DE SUELE A MALLECO

	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	X Testigo	X Máximo	N inicial	N incubado	% final	p/c 1:10	P. Olsen 1:20	Al	X	pH	M.O.	Ap.	Ap + A ₁₂	% gr poros	% raíz 0-30	Epoca siembra	Lluvia total	Lluvia S - M	Lluvia M - Cos
1 X Testigo	-	0,374 ^x	0,121	0,067	0,101	0,371 ^x	0,458 ^{xx}	0,083	0,583 ^{xx}	0,468 ^{xx}	0,384 ^x	0,159	0,347 ^x	0,244	-0,217	-0,188	-0,091	-0,352 ^x	0,411 ^x
2 X Máximo		-	-0,247	-0,115	-0,220	0,010	0,250	0,216	0,056	0,135	0,206	0,271	0,184	-0,045	0,074	-0,098	-0,244	-0,368 ^x	0,283 ^x
3 N inicial			-	0,187	0,602 ^{xx}	0,177	0,110	-0,054	-0,063	0,247	0,345 ^x	0,073	0,348 ^x	0,148	-0,341 ^x	0,280 ^x	0,503 ^{xx}	0,586 ^{xx}	-0,340 ^x
10 N incubado				-	0,895 ^{xx}	0,157	0,123	0,300 [*]	-0,013	-0,039	0,339 ^x	0,150	-0,039	0,393 ^x	0,077	0,062	0,466 ^{xx}	0,322 [*]	-0,009
11 X final					-	0,202	0,132	0,213	-0,033	0,071	0,423 ^{xx}	0,143	0,116	0,386 ^x	-0,098	0,182	0,601 ^{xx}	0,532 ^{xx}	-0,174
12 p/c 1:10						-	0,763 ^{xx}	0,006	0,201	0,059	0,056	0,043	-0,112	-0,047	0,036	0,080	0,259	0,187	-0,074
13 P Olsen 1:20							-	0,154	0,333 ^x	0,373 ^x	0,265	0,107	-0,105	-0,066	0,059	-0,127	0,152	-0,084	0,264
14 Al								-	-0,002	0,229	0,708 ^{xx}	0,301 [*]	0,245	0,293 [*]	0,031	-0,081	0,214	-0,230	0,524 ^{xx}
15 X									-	0,549 ^{xx}	0,253	0,049	0,216	0,161	-0,211	-0,242	-0,050	-0,314 [*]	0,323 ^x
16 pH										-	0,457 ^{xx}	0,175	0,357 ^x	0,136	-0,370 ^x	-0,144	0,167	-0,192	0,442 ^{xx}
17 M.O.											-	0,369 ^x	0,552 ^{xx}	0,423 ^{xx}	-0,283 [*]	0,025	0,192	-0,211	0,476 ^{xx}
18 Ap												-	0,556 ^{xx}	0,376 ^x	-0,088	0,273	-0,097	0,003	0,112
19 Ap + A ₁₂													-	0,562 ^{xx}	-0,579 ^{xx}	0,249	-0,008	-0,086	0,112
20 % gr poros														-	-0,435 ^{xx}	0,161	0,115	0,026	0,075
21 % raíz 0-30															-	-0,118	-0,160	-0,086	-0,031
22 Epoca siembra																-	0,026	0,494 ^{xx}	-0,161 ^{xx}
23 Lluvia total																	-	0,695 ^{xx}	-0,023
24 Lluvia S - M																		-	-0,734 ^{xx}
25 Lluvia M - Cos																			-

SIGNIFICANCIA: 10% 0,210^{*}
5% 0,25^x
1% 0,324^{xx}

Cuadro 25

FACTORES INCLUIDOS EN LAS PRUEBAS PARA OBTENER UNA ECUACION GENERAL DE RENDIMIENTO PARA EL CULTIVO DEL TRIGO EN LA PRECORDILLERA DE ÑUBLE A MALLECO EN EL SUR DE CHILE

Factor	Símbolo	Expresado en	Promedio	Rango de variación
Nitrógeno disponible del suelo	n	ppmN	48,3	16,6 - 77,4
Fósforo disponible	p	ppmP	5,6	3,2 - 12,3
Materia orgánica	MO	%	11,05	7,5 - 16,2
Profundidad del horizonte A	PF	cm	27	12 - 56
Estructura granular	ST	%	50,5	0 - 100
Potasio disponible	K	mE/100 gr	1,04	0,52 - 2,00
Aluminio soluble	AL	ppm	340	257 - 655
Lluvia entre siembra y macolla	LS	dm	6,4	1,28 - 13,16
Lluvia entre macolla y cosecha	LC	dm	3,9	0,18 - 8,43
Pendiente	PD	%	3	0 - 15
Factores manejables				
Epoca de siembra	E	días/10	2,6	0,1 - 6,7
Fertilización nitrogenada	N	kg N/ha	150	0 - 300
Fertilización fosfatada	P	kg P/ha	200	0 - 400
Antecedente cultural	A	Sin dimensión	-	0 - 1

Se propusieron varias alternativas de regresión en las cuales los factores menor significancia fueron eliminándose uno por uno hasta llegar a una ecuación de rendimiento que consta de 17 términos, todos significativos al nivel de probabilidad de 5 por ciento menos uno, y cuyo coeficiente de determinación R alcanza un valor de 0,8058, significando que las variaciones de los rendimientos se pueden explicar en un 64 por ciento.

En el cuadro 26 aparecen los valores de estos coeficientes de regresión para las variables retenidas, junto con su nivel de significancia a la prueba de t.

Cuadro 26

COEFICIENTES DE REGRESION PARA UNA FUNCION DE PRODUCCION DEL TRIGO
EN LA PRECORDILLERA ANDINA ENTRE LAS PROVINCIAS DE ÑUBLE A MALLECO

Variable ^{1/}	Coficiente de regresión	Significancia
P	0,4311	*
MO	0,920	*
PF	0,251	**
E	-1,018	*
LC	2,714	**
(LC) ²	-0,3502	**
ST	-0,0591	*
A	8,0415	**
N	0,171	**
N x n	-0,000746	*
N x LS	-0,00127	+
(N) ²	-0,000358	**
P	0,0777	**
P x E	0,0048	**
(P) ²	-0,000164	**
N x P	0,000120	**
N x P x A	-0,000121	**
Constante: -2,129 - R = 0,8058 (**) - F = 46,18 (**)		

- ** Significativo al 1 por ciento.
* Significativo al 5 por ciento.
+ Significativo al 10 por ciento.

^{1/} Para el significado de las variables, referirse al cuadro 25.

ii) Interpretación de la función de rendimiento

La ecuación de rendimiento tiene 8 términos para variables de sitio y manejo que en su conjunto definen el nivel de rendimiento sin fertilización a saber: el fósforo disponible del suelo, el contenido de materia orgánica del horizonte superficial y su profundidad, la época de siembra, la disponibilidad de agua durante el encañado y la formación del grano calculado a partir de la pluviometría, la estructura del suelo y el antecedente cultural según sea éste una pradera natural o una pradera mejorada de trébol subterráneo. El efecto de algunos de estos factores sobre los rendimientos puede apreciarse en términos cuantitativos en la gráfica 8.

La contribución del antecedente cultural pradera mejorada es particularmente importante ya que por sí sólo significa un aumento de rendimiento de 8 quintales con respecto a la pradera natural.

La respuesta a la fertilización nitrogenada por otra parte está negativamente influenciada por el nitrógeno disponible del suelo (a mayor nitrógeno disponible, menor respuesta) y por la intensidad de las lluvias de invierno, la que favorece el lavado de los nitratos agregados.

La respuesta a la fertilización fosfatada por otra parte no aparece influenciada por el fósforo disponible del suelo, probablemente porque el rango de variación alcanzado por éste en los suelos estudiados era demasiado estrecho. Existe por otra parte una interacción positiva entre la aplicación de fósforo y la época de siembra tardía, significando que el efecto depresivo sobre los rendimientos de una siembra demasiado tardía puede en parte recuperarse por una mayor dosis de fertilización con este elemento.

La interacción entre nitrógeno y fósforo es particularmente importante de acuerdo al valor alcanzado por el coeficiente de regresión pertinente. Pero para el antecedente pradera de trébol subterráneo, esta interacción queda completamente eliminada, ya que los dos coeficientes de regresión, de signo inverso, tienen la misma magnitud.

Utilizando la ecuación de rendimiento, se puede calcular el rendimiento máximo alcanzable. A título de ejemplo, este rendimiento es de 60,70 qq/ha para un suelo que tenga 45 cm de profundidad del horizonte A, un contenido de 14 por ciento de materia orgánica, con precipitaciones adecuadas de 400 mm entre macolla y cosecha, disponibilidades de nitrógeno y fósforo del suelo de 40 y 6 ppm respectivamente, y fertilización óptima para estas condiciones de 100 y 200 unidades de N y P_2O_5 respectivamente.

iii) Aplicación de la ecuación general de rendimiento para calcular dosis óptimas económicas

Las gráficas 9 y 10 ilustran la respuesta a la fertilización nitrogenada y fosfatada para un suelo típico de la asociación Santa Bárbara que tenga las siguientes características promedio para este suelo en el área: profundidad del horizonte A: 20 cm, 6 por ciento de materia orgánica en el mismo, 6 ppm de fósforo, 40 ppm de nitratos, y otros factores de manejo a nivel adecuado.

Además, en base a la ecuación de rendimiento, se calcularon dosis de fertilización óptima económica en relación con las disponibilidades del nitrógeno y fósforo del suelo, las que aparecen en el cuadro 27.

Cuadro 27

RECOMENDACIONES PROMEDIOS DE DOSIS OPTIMAS ** ECONOMICAS DE FERTILIZACION NITROGENADA Y FOSFATADA PARA TRIGO REGADO EN LA PRECORDILLERA DE LAS PROVINCIAS DE ÑUBLE A BIC-BIO EN FUNCION DE LA DISPONIBILIDAD DE N Y P DEL SUELO

Nitrogeno del suelo ppm	0 - 20		20 - 40		40 - 60		60 - 80		80 - 100	
	N* kg/ha	P ₂ O ₅ * kg/ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha
0 - 3	200	390	170	380	145	375	115	365	85	355
3 - 6	180	230	150	230	125	225	95	215	65	210
6 - 9	170	160	140	150	115	150	85	145	60	140
9 - 12	160	115	130	110	110	105	80	100	50	100
12 - 15	60	85	135	80	105	75	75	75	50	70

* Los valores de fertilización óptima económica están calculados en base a salitre sódico 15 por ciento N y superfosfato triple 46 por ciento P₂O₅.

** Debido a que en la ecuación de rendimiento aparece la época de siembra, interaccionando con la respuesta al fósforo, se utilizó un valor promedio de 30 días a partir de la primera fecha de siembra para ésta.

De este cuadro se deduce que en la zona de precordillera, sobre suelos distran-
depts, no se encuentran condiciones en las que las disponibilidades de nitrógeno
y fósforo del suelo fueran suficientes como para que se prescindiera de la fertiliza-
ción.

Cuadro 26

MATRIZ DE CORRELACIONES POPULARES ENTRE LOS DIVERSOS FACTORES - 68 - 70

	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			25	26	27	28	29	30	31	32	
																		S - M	M - Es	Es - Es									
7 NO ₃ +NH ₄ inicial	-	0,925 ^{xx}	0,153	0,146	0,158	-0,026	-0,315 ^x	0,103	0,234 [*]	0,043	-0,0205	-0,106	-0,197	0,027	0,255 ^x	0,227 [*]	-0,061	-0,179	-0,007	0,177	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}	0,210 ^x
8 NO ₃ +NH ₄ final		-	0,249 ^x	0,249 ^x	0,254 ^x	-0,041	-0,330 ^{xx}	0,127	0,222 [*]	0,081	-0,0356	-0,075	-0,134	0,019	0,218 [*]	0,204	-0,053	-0,210 ^x	-0,009	0,145	0,171	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}	0,210 ^x
9 P Olsen			-	0,127	0,124 ^x	0,079	-0,054	0,00092	0,137	0,142	0,106	-0,152	-0,101	-0,017	-0,021	0,021	-0,012	-0,064	0,038	0,051	0,141	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}	0,210 ^x
10 Materia orgánica				-	0,903 ^{xx}	0,107	0,018	0,146	0,368 ^{xx}	0,722 ^{xx}	0,280 ^{xx}	0,422 ^{xx}	0,254 ^x	0,248 [*]	-0,056	-0,039	-0,102	-0,221	-0,096	-0,222 [*]	0,051	0,141	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
11 N total					-	-0,107	0,073	0,171	0,345	0,673 ^{xx}	0,52 ^{xx}	0,399 ^{xx}	0,179	0,190	-0,144	-0,079	0,059	-0,228 [*]	-0,0697	-0,143	0,025	0,144	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
12 C/N						-	0,198	-0,058	0,093	0,698	0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
14 Conductividad							-	0,190	-0,036	0,623	0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
15 Arcilla								-	0,128	0,644 ^{xx}	0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
16 CIC									-	0,644 ^{xx}	0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
17 Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺										-	0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
18 E Aprovechable											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
19 CO ₂											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
20 Profund. A											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
21 Profund. suelo											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
22 Prof. Arraig.											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
23 M - Es											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
24 M - Es											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
25 Es - Es											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
26 Es - Cl											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
27 Cl - Cl											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
28 Llavra											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
29 Espora siembra											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
30 Dias R - S											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
31 Rend. trigo											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}
32 Rend. mismo											0,398	0,315	0,132 ^{xx}	0,294 ^{xx}	0,077	-0,063	0,019	0,268 ^x	0,156	-0,066	0,422 [*]	0,162	-0,358 ^{xx}	-0,103	-0,295 ^{xx}	0,163	-0,358 ^{xx}	-0,103	0,295 ^{xx}

N = 66

SIGNIFICANCIA: 10% 0,210^{*}
5% 0,25^x
1% 0,324^{xx}

Capítulo 4

CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido demostrar que los propósitos del programa de investigación que se llevó a cabo eran alcanzables y que es perfectamente factible, a partir de datos experimentales apropiados, llegar a poder hacer recomendaciones específicas de fertilización de un cultivo en base a una ecuación general de rendimiento y datos cuantitativos sobre los niveles alcanzados por los factores de productividad en las condiciones particulares de los predios.

Las funciones de producción obtenidas para dos variedades de trigo, en dos regiones ecológicas contrastantes de Chile, condiciones de riego y condiciones edáficas dominadas por suelos preponderantemente aluviales y relativamente recientes y complejo coloidal dominando por el calcaréo por una parte, y condiciones de secano y condiciones edáficas dominadas por arcillas alofánicas por otra, son lógicamente muy distintas, tanto por la naturaleza de los factores de producción implicados como por la magnitud de los coeficientes de regresión respectivos.

Sin embargo, ambas funciones cumplen con sus propósitos de cuantificar la productividad del trigo en función de las condiciones ecológicas imperantes en la zona.

La metodología de investigación que se estableció tiene una amplia aplicación para otros cultivos y las demás regiones ecológicas del país y sin duda es llamada a mejorarse en el futuro cuando un mayor número de datos compatibles se obtengan progresivamente.

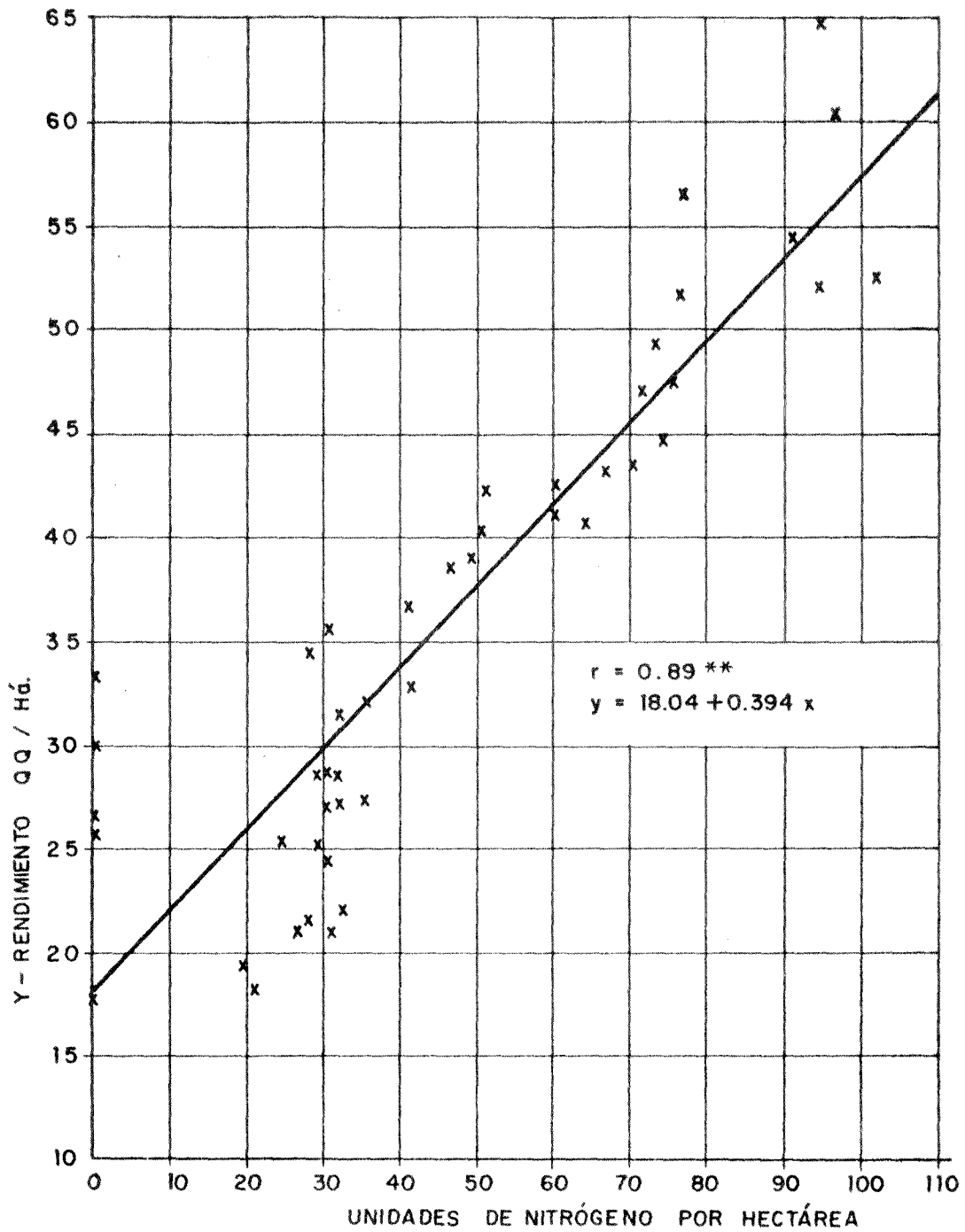
Con las pautas de fertilización en función de la disponibilidad de nutrientes que estas funciones permitieron establecer, los laboratorios de suelos al servicio de los agricultores disponen de un instrumento adecuado para interpretar los datos producidos y hacer recomendaciones específicas para un conjunto de condiciones de clima, suelo y manejo en las combinaciones que suelen presentarse en la práctica.

BIBLIOGRAFIA

- Anon. Investigación Agropecuaria. 303-377. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
1971
- Cope, F. Soil Moisture Status and Water use by irrigated wheat in Central Chile. Unpublished Report. IIA. La Platina.
1970
- Espinoza, W. Caracterización química de los suelos de la asociación Santa Bárbara (inédito). Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción. Chile.
1970
- FAO Fertilizers, Annual Review
1970
- Drapet, N. R. and Smith H. Applied Regression Analysis. John Wiley and Sons. New York.
1967
- Ferrari, T. J. Models and their testing: considerations on the methodology of agricultural research. Neth. J. agric. Sci. 13: 366-372. 1965.
1965
- Heady, E. O. and Dillon, J. L. Agricultural production function. Ames, Iowa, The Iowa State University Press.
1961
- Gandarillas, M. J., Acevedo E. H. y García R. Estudio de la productividad del maíz en la provincia de Santiago. Agricultura técnica 28: 7-15.
1968
- Laird, R. J. y Cady, F.B. Combined Analysis of yield data from fertilizer experiments. Agron. J. 61: 829-834.
1969
- Letelier, E. y otros Cien ensayos NPK en trigo. Dept. de Investigaciones Agrícolas, Bol. Tec. 9.
1961
- Letelier, E. Manual de fertilizantes para Chile. Banco del estado de Chile.
1967
- Letelier, E. Experimentación sobre fertilizantes 1960-1966. Boletín remolachero iansa, 12, 45.
1969
- Pesek, J. T. Effects of economic criteria on experimental design in plant science research, mimeographed, Iowa State University.
1966
- Papadakis, J. Mapa ecológico de Chile. Informe preliminar. Proyecto de Investigaciones y Reconocimiento de los Suelos de Chile. Santiago.
1970
- Voss, R. D. y Pesek, J. T. Field of corn grain as affected by fertilizer rates and environmental factors. Agron. J. 59: 567-572.
1967
- Walker, W. M., Carmer, S. G. y Peck, T. R. Relationship between number of independent variables and number of observations in plant analysis calibration studies. Agron. J. 61: 322-323.
1969

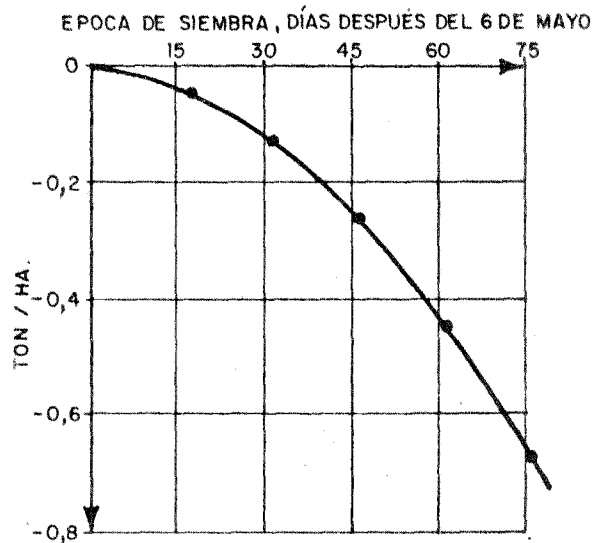
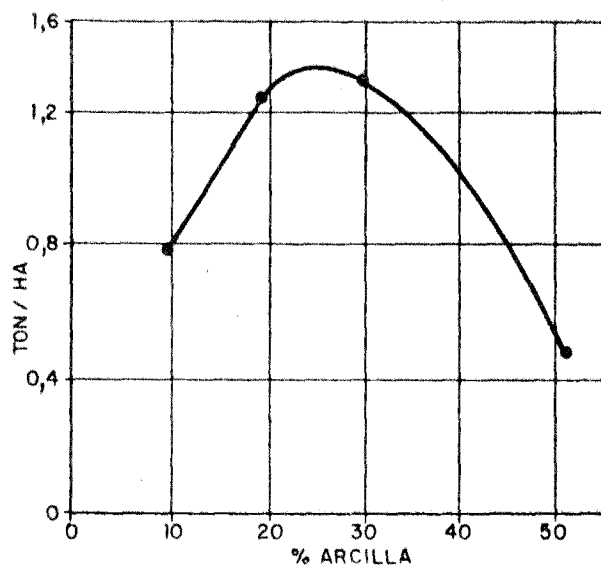
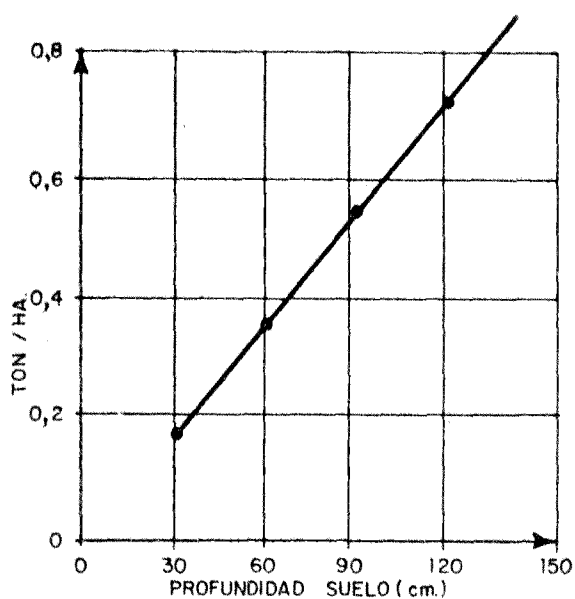
Gráfica 1

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE TRIGO EN 45 SITIOS DE OBSERVACIÓN EN SIEMBRAS DE AGRICULTORES DE LAS PROVINCIAS DE ACONCAGUA Y CURICÓ



Gráfica 2

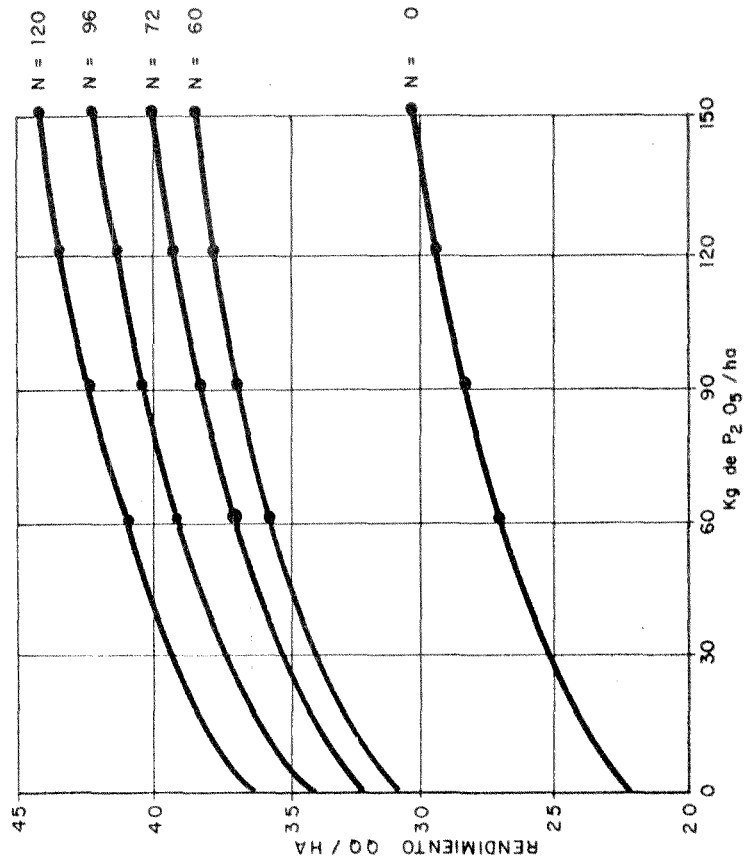
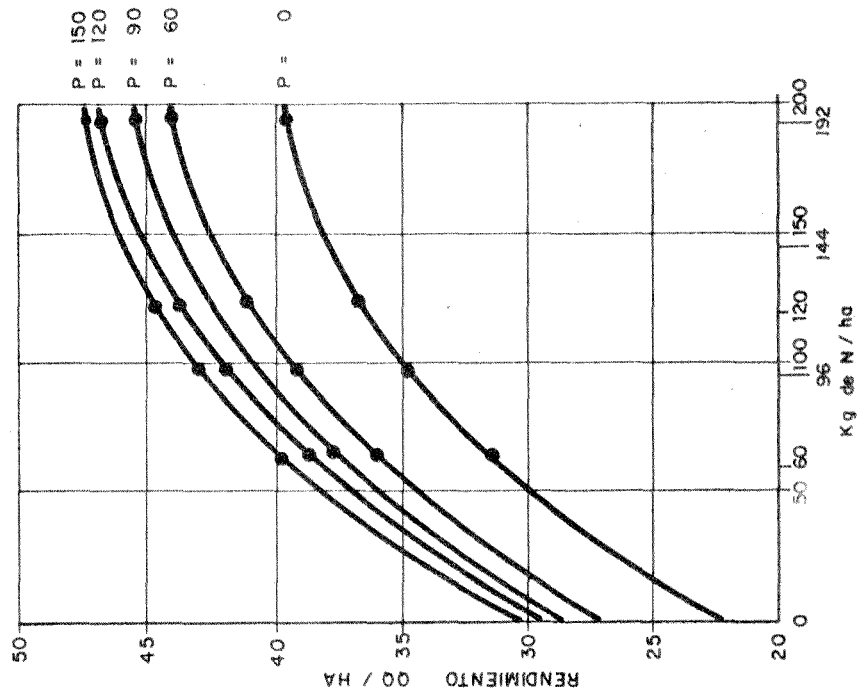
CONTRIBUCIÓN AL RENDIMIENTO (EN TON / HA) DE ALGUNOS FACTORES DE SUELO Y MANEJO PARA TRIGO REGADO EN EL VALLE CENTRAL ENTRE LAS PROVINCIAS DE ACONCAGUA Y CURICÓ



$$\begin{aligned} \text{Ecuación } y = & 7,91 + 1,01 (\text{Arcilla}) \\ & - 0,0191 (\text{Arcilla})^2 + \\ & 0,060 (\text{Prof. Suelo}) - 0,00129 \\ & (\text{Época Siembra})^2 \end{aligned}$$

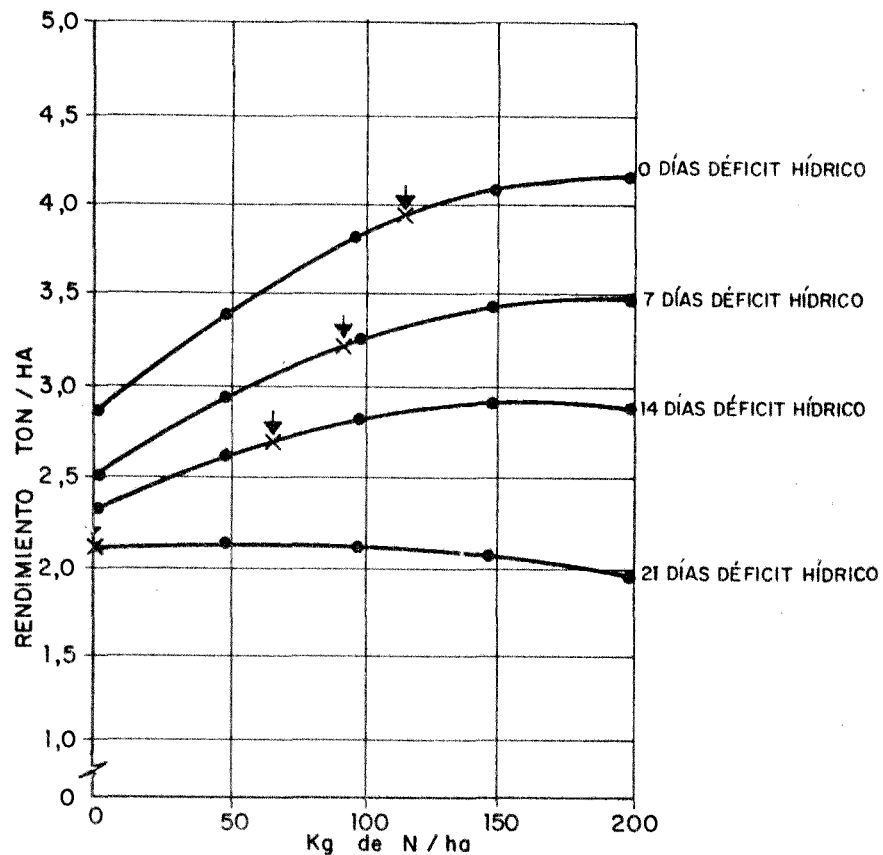
Gráficas 3 y 4

CURVAS DE RESPUESTA A NITRÓGENO Y FÓSFORO PARA TRIGO EN EL VALLE CENTRAL CALCULADAS SEGÚN LA ECUACIÓN DE RENDIMIENTO EN UN SUELO DE LA SERIE MAIPO DE 40 CM. DE PROFUNDIDAD, 3% DE CARBONATO DE CALCIO, 10 PPM DE NITRATO, 6 PPM DE FÓSFORO Y 23% DE ARCILLA EN EL HORIZONTE SUPERFICIAL.



Gráfica 5

RENDIMIENTOS DE TRIGO EN FUNCIÓN DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA PARA DISTINTOS ÍNDICES DE DÉFICIT HÍDRICO, EN UN SUELO DE LA SERIE MAIPO (*) (PROVINCIA DE SANTIAGO).

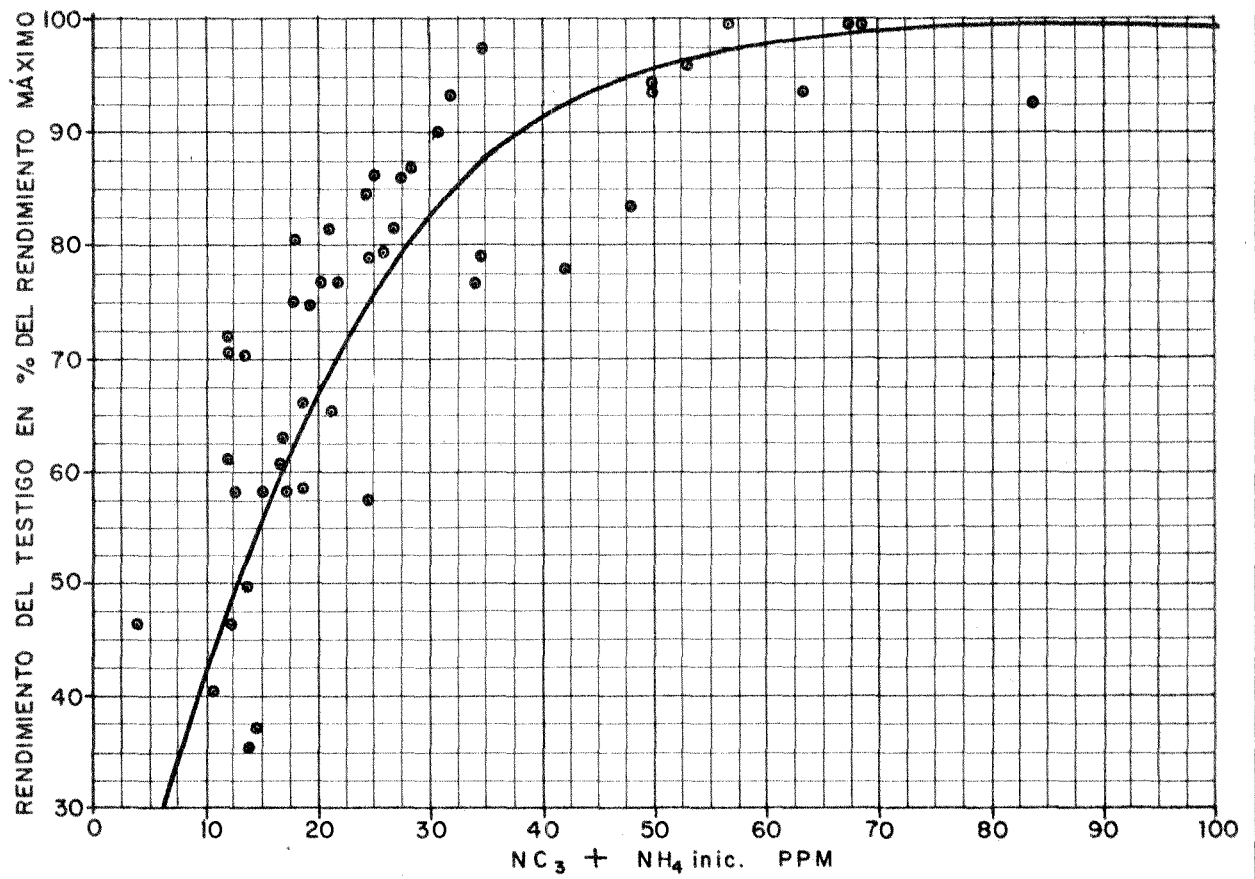


* LOS FACTORES DE SUELO Y MANEJO SE ENCONTRABAN A LOS SIGUIENTES NIVELES: NITRATOS DEL SUELO, 10 PPM; FÓSFORO DEL SUELO, 8 PPM; PROFUNDIDAD DE SUELO 60 CM; CARBONATOS, 2,6 %; ARCILLA, 32,6 %; CONDUCTIVIDAD, 0,15 MMHOS; ÉPOCA DE SIEMBRA, 10 DE MAYO. (↓)
LAS FLECHAS INDICAN EL ÓPTIMO ECONÓMICO PARA UNA RAZÓN DE PRECIOS

$$\frac{N \text{ SALITRE}}{QQ \text{ TRIGO}} = 0,052$$

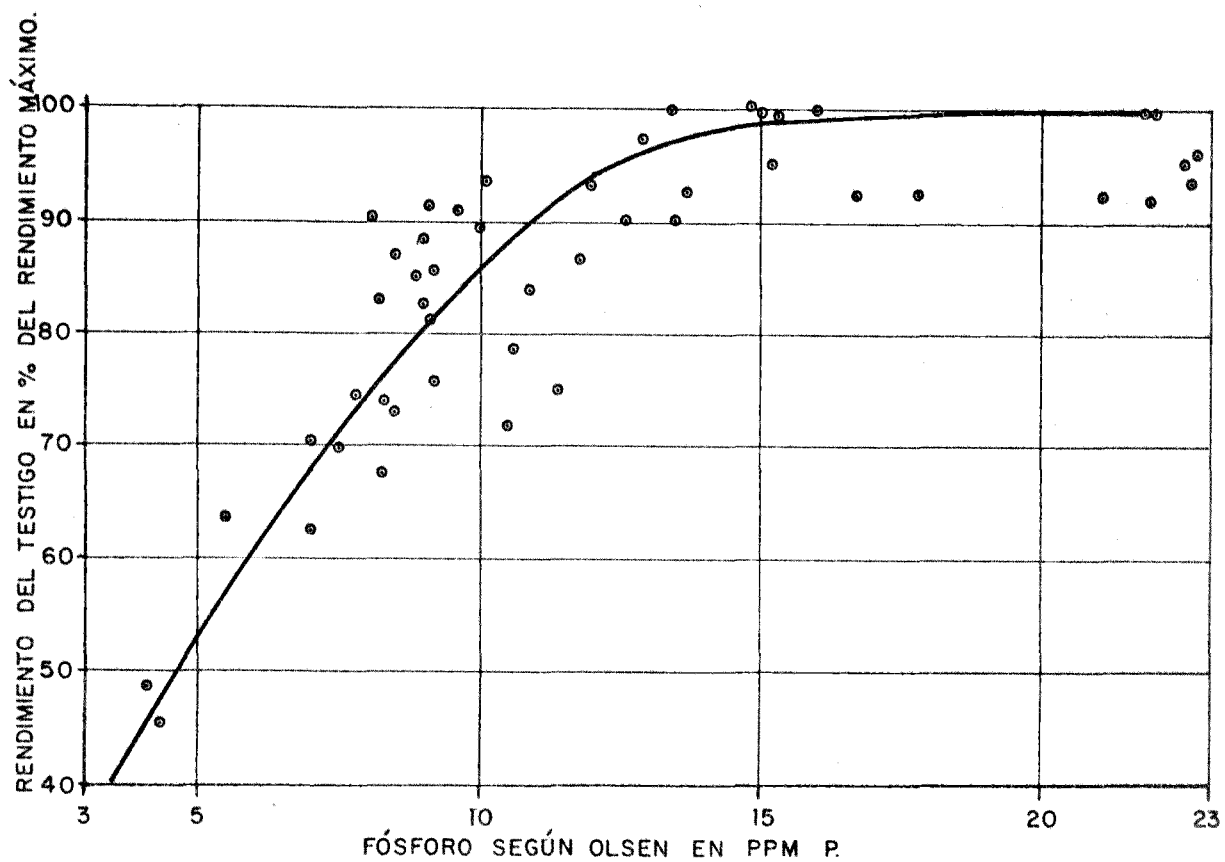
Gráfica 6

RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DEL TESTIGO EXPRESADO EN %
DEL RENDIMIENTO MÁXIMO AL APLICAR NITRÓGENO Y DISPONIBILIDAD
DEL ELEMENTO EN EL SUELO.



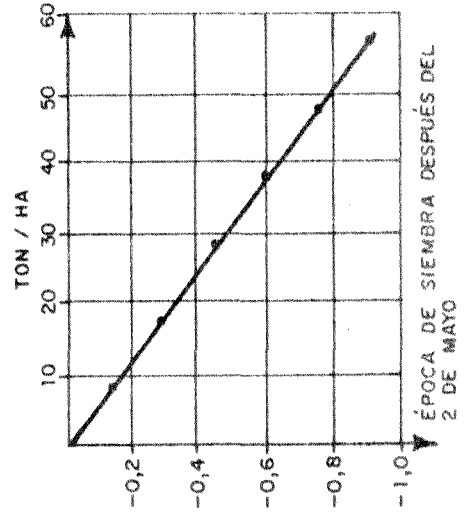
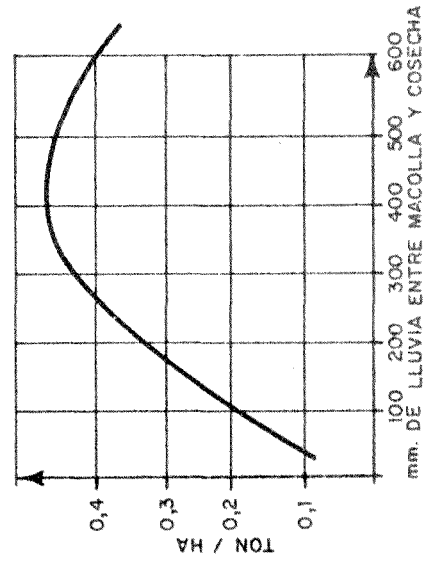
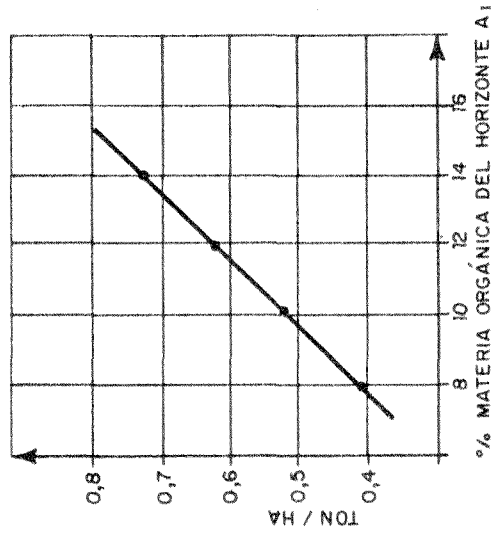
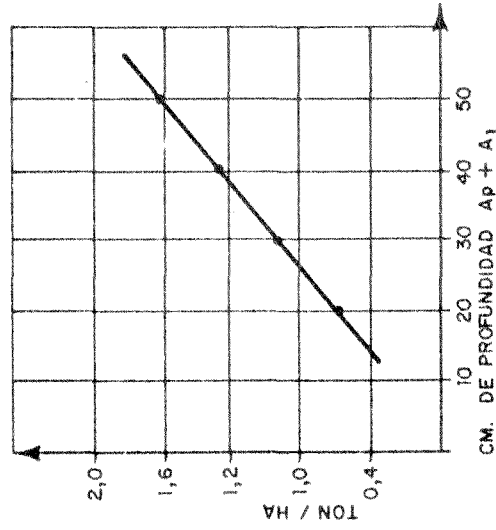
Grafica 7

RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DEL TESTIGO EXPRESADO EN
% DEL RENDIMIENTO MÁXIMO AL APLICAR FÓSFORO Y
DISPONIBILIDAD DEL ELEMENTO EN EL SUELO.



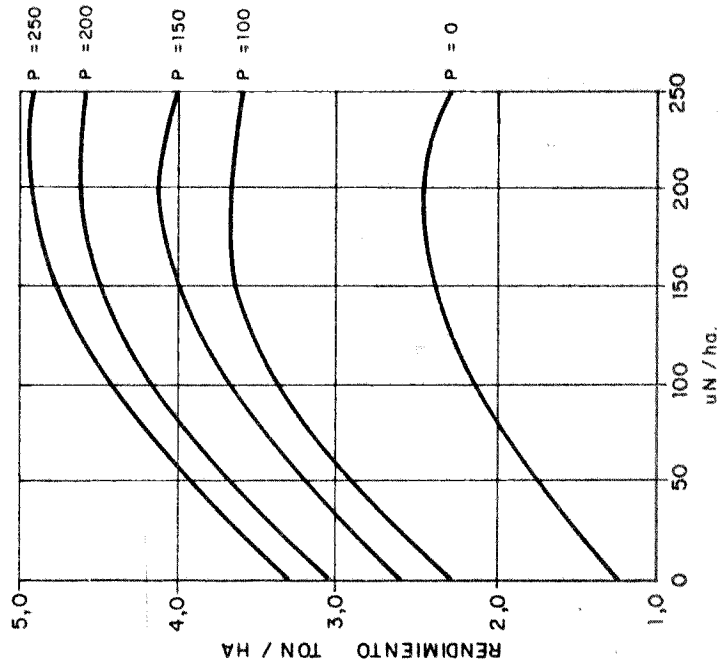
Gráfica 8

CONTRIBUCIÓN AL RENDIMIENTO DE ALGUNOS FACTORES DE SUELO Y MANEJO PARA TRIGO EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN LAS PROVINCIAS DE ÑUBLE A MALLECO.



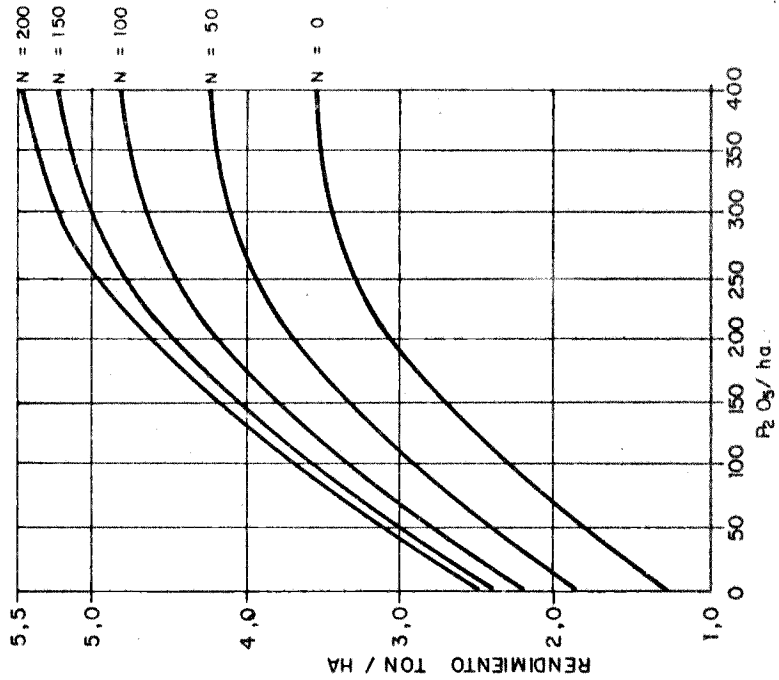
Gráfica 9

CURVAS DE RESPUESTA A NITRÓGENO PARA TRIGO EN LA PRECORDILLERA DE LAS PROVINCIAS DE ÑUBLE A MALLECO, CALCULADAS SEGÚN LA ECUACION DE RENDIMIENTO EN UN SUELO DE LA ASOCIACION SANTA BARBARA CON 20CM. DE PROFUNDIDAD DEL HORIZONTE A, 6% DE MATERIA ORGANICA, 6 PPM DE FÓSFORO, 40 PPM DE NITRATOS Y EN LA QUE LOS FACTORES DE MANEJO SON ADECUADOS.



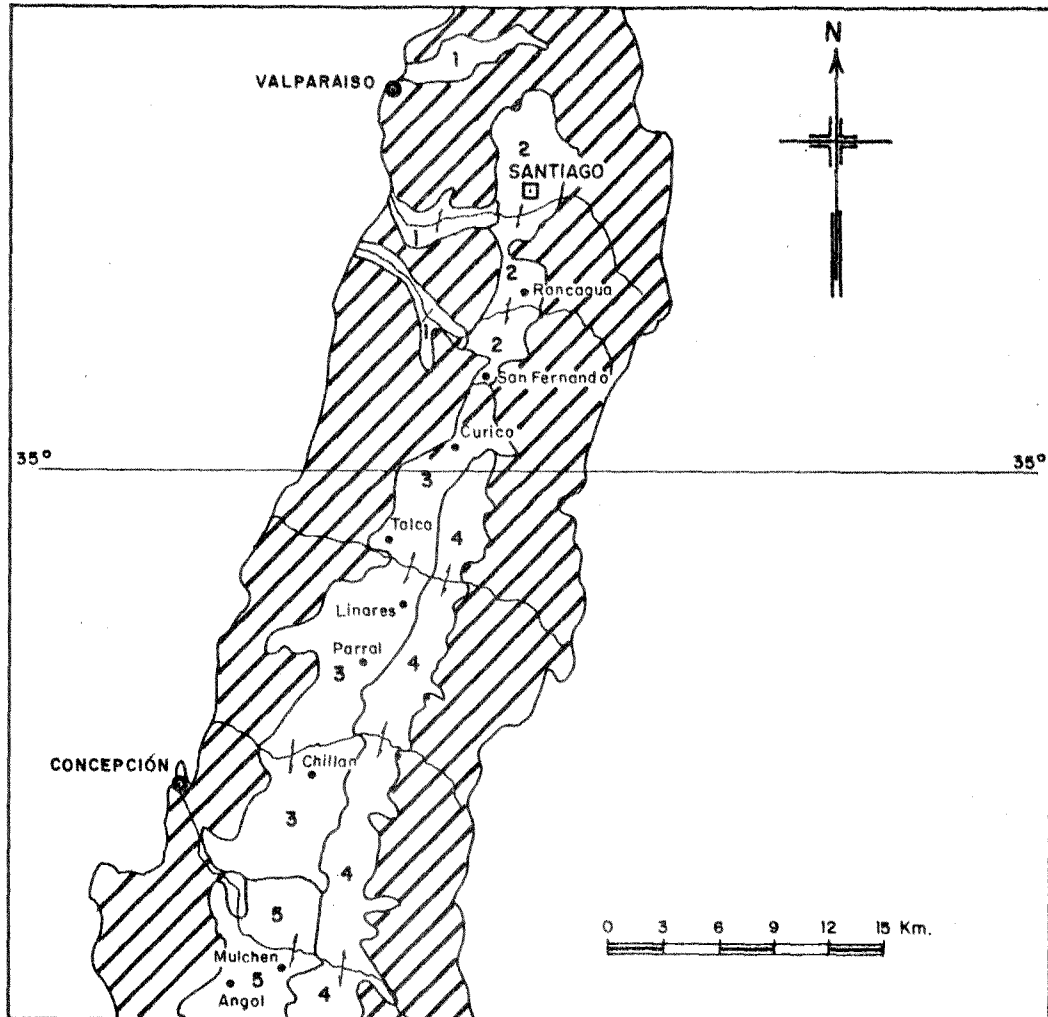
Gráfica 10

CURVAS DE RESPUESTA A FÓSFORO PARA TRIGO EN LA PRECORDILLERA DE LAS PROVINCIAS DE ÑUBLE A MALLECO, CALCULADAS SEGÚN LA ECUACION DE RENDIMIENTO EN UN SUELO DE LA ASOCIACION SANTA BARBARA CON 20CM. DE PROFUNDIDAD DEL HORIZONTE A, 6% DE MATERIA ORGANICA, 6 PPM DE FÓSFORO, 40 PPM DE NITRATOS Y EN LA QUE LOS FACTORES DE MANEJO SON ADECUADOS.



Mapa 1


SUBDIVISIÓN GEOMORFOLÓGICA DE CHILE (Según Börgel)

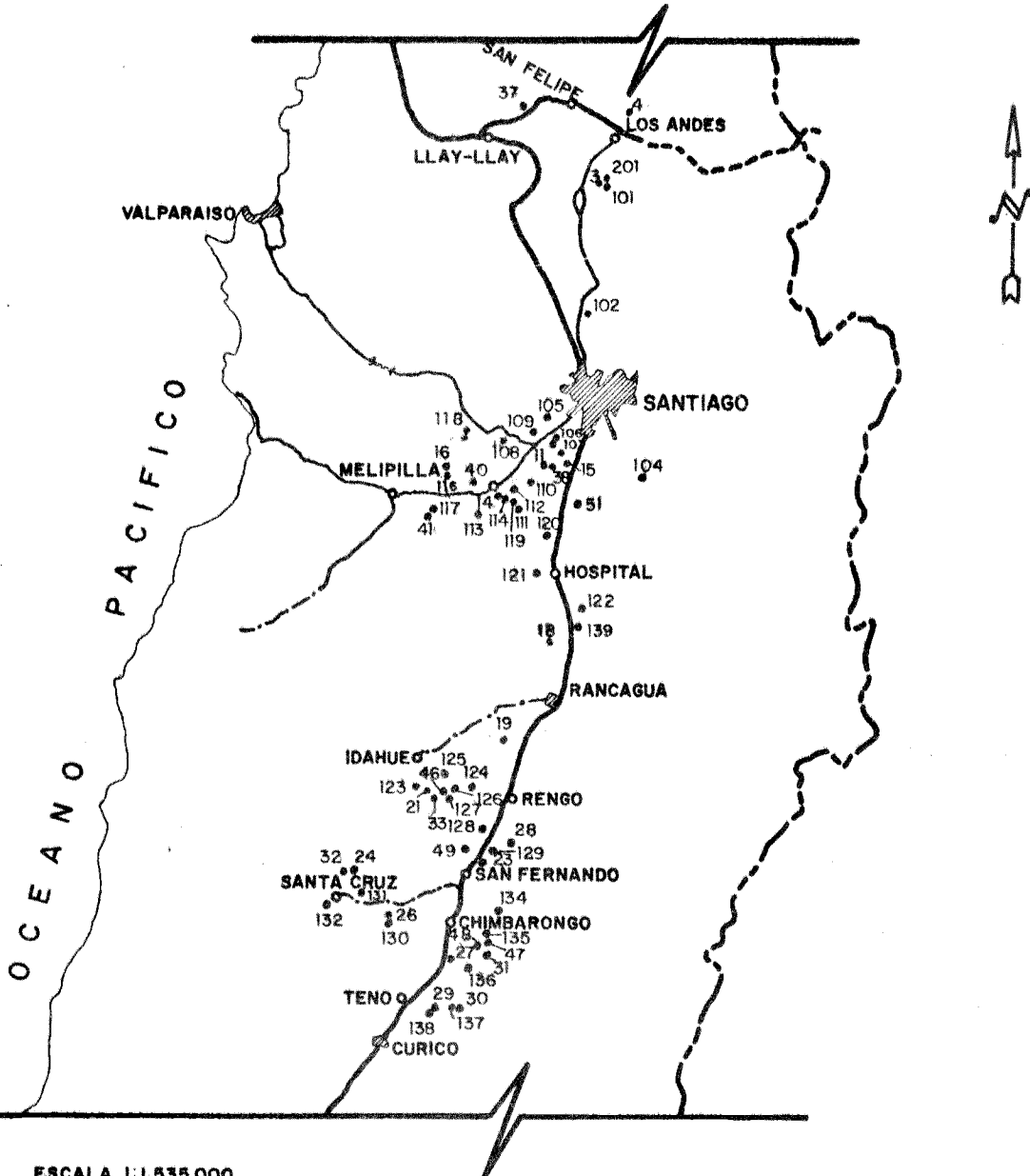


AREA ESTUDIADA

- | | |
|---|--|
| 1 | SEDIMENTACIÓN FLUVIAL (VALLES DE LA CORDILLERA DE LA COSTA) |
| 2 | CUENCAS DEL LLANO CENTRAL |
| 3 | LLANO CENTRAL LONGITUDINAL |
| 4 | PRECORDILLERA DE ORIGEN SEDIMENTARIO |
| 5 | LLANO CENTRAL CON MORENAS DE ABLACIÓN Y CONOS DE SOLIFLUJIÓN PERIGLACIAL |

AREA NO ESTUDIADA

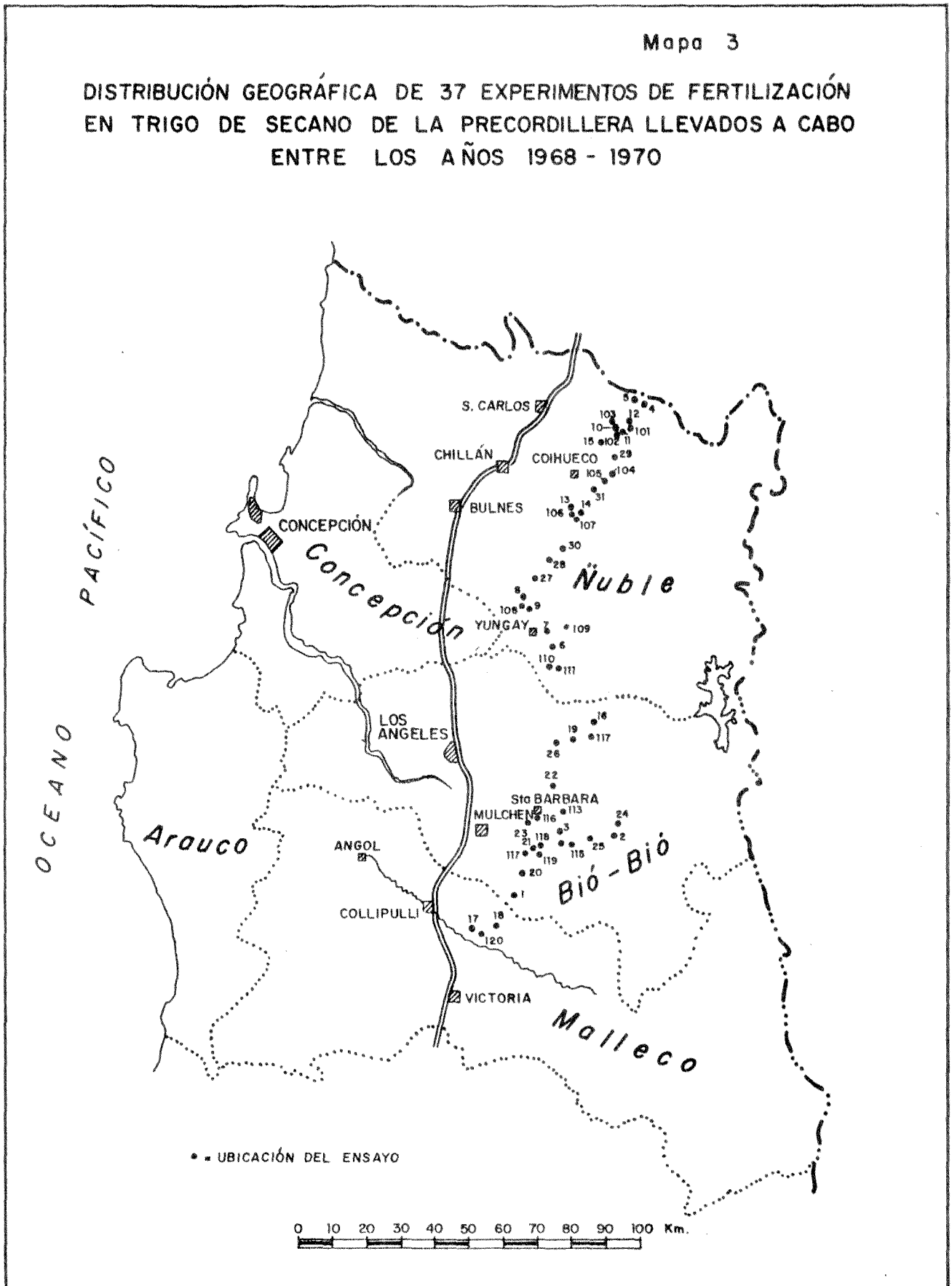
- | | |
|--|--|
|  | CORDILLERA DE LA COSTA Y CORDILLERA DE LOS ANDES |
|--|--|



DISTRIBUCIÓN GEOGRAFICA DE 66 EXPERIMENTOS DE FERTILIZACIÓN EN TRIGO REGADÍO DEL VALLE CENTRAL LLEVADOS A CABO ENTRE LOS AÑOS 1968 - 1970

Mapa 3

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE 37 EXPERIMENTOS DE FERTILIZACIÓN EN TRIGO DE SECAÑO DE LA PRECORDILLERA LLEVADOS A CABO ENTRE LOS AÑOS 1968 - 1970



Parte 2

MANEJO DE SUELOS

Capítulo 1

INTRODUCCION

Al comenzar el Proyecto, el experto examinó la labor realizada por el IIA y discutió varios aspectos de los problemas de manejo de suelos en el país con los expertos de contrapartida, señores Maximiliano Martínez, Osvaldo Inostrosa y Miguel Fernández, durante excursiones al campo y visitas a las tres estaciones experimentales del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIA), de La Platina (Santiago), Quilamapu (Chillán) y Carillanca (Temuco).

Quedó claro que había tres zonas principales donde era preciso realizar urgentemente investigaciones sobre manejo de suelos y en las que los resultados contribuirían probablemente, en un plazo prudencial, a aumentar la producción agrícola y a la conservación del suelo.

Estas tres zonas, prácticamente de secano, son:

1. Las tierras de secano de la costa de Valparaíso, Santiago, Colchagua y Curicó, con suelos derivados de roca granítica y de terrazas marinas muy antiguas. Estación experimental del IIA responsable: "La Platina".
2. Los suelos de cenizas volcánicas (suelos trumao) de la precordillera, terrenos fuertemente ondulados y colinosos situados entre el valle Central y la Cordillera. Estaciones experimentales del IIA responsables: "Quilamapu" y "Carillanca".
3. Los suelos de arcilla roja al oeste y al sudoeste de Temuco. Estación experimental del IIA responsable: "Carillanca".

Es cierto que las tierras de regadío del valle Central de Chile tienen también algunos problemas de manejo de suelos, relacionados principalmente con el riego, el avenamiento y las rotaciones de cultivos. Sin embargo, en opinión del experto, la producción agrícola ha alcanzado ya un grado satisfactorio en el valle Central y es más probable que el problema de las rotaciones de cultivos se relacione con la lucha contra las plagas y enfermedades de las plantas.

También es cierto que la adopción de medidas de manejo de suelos en las tierras de regadío del valle Central es menos urgente, desde el punto de vista de la conservación del suelo.

Por estas razones, el experto, durante su misión en Chile, ha dado preferencia a las tres zonas de secano mencionadas, aunque también ha dedicado algún tiempo a revisar las investigaciones sobre manejo de suelos realizadas en "La Platina" (Santiago) en tierras de regadío y a discutir los resultados obtenidos hasta la fecha.

Aun cuando el programa de investigaciones se ha llevado a cabo en el ámbito del IIA, el experto ha dispuesto de la colaboración del Servicio Agrícola Ganadero (SAG) en varias ocasiones (estableciendo contactos con los agricultores en 1969 e interviniendo en demostraciones el día del agricultor en 1970).

Capítulo 2

EXAMEN DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIONES DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (IIA) SOBRE MANEJO DE SUELOS

2.1 LA PLATINA

Las investigaciones, principalmente de campo, se realizan en la estación y se refieren a los aspectos del manejo de suelos en la agricultura de regadío, por lo que se considera representan algunas de las situaciones de la agricultura en las tierras de regadío del valle Central.

Se investigan los temas siguientes:

2.1.1 Cultivo continuo (monocultivo) con distintos grados de fertilización

La idea original de este experimento, que comprende el cultivo de papas, maíz, porotos, trigo y una leguminosa pratense, es averiguar si, dada la tendencia a una agricultura cada vez más especializada, sería viable el monocultivo con el empleo de fertilizantes suficientes y, en caso contrario, cuáles son los problemas que, aparte la disponibilidad de nutrientes del suelo, lo impiden (estructura del suelo, salinidad, etc.).

Los resultados obtenidos hasta ahora indican que el principal obstáculo para el monocultivo lo constituyen los agentes patógenos y las plagas de las plantas que se propagan por el suelo. La desinfección de suelos con bromuro de metilo aumentaría satisfactoriamente los rendimientos en el caso de las papas, los porotos y el trigo, pero el costo de tal operación resulta prohibitivo en la práctica.

2.1.2 Comparación entre una rotación intensiva de cultivos y una rotación menos intensiva que comprende una pradera mixta de gramíneas y leguminosas

La primera rotación comprende el nabo (Brassica napus) y el maíz, la segunda, tres años de pradera de gramíneas y leguminosas (Dactylus glomerata y Trifolium pratense).

Se investigan los efectos de la pradera en la rotación utilizando diferentes dosis de fertilizantes nitrogenados y utilizando, o no utilizando, estiércol artificial. La inclusión de la pradera da mejores resultados, especialmente con el estiércol artificial, lo que confirma los beneficios de la inclusión de la pradera de gramíneas y leguminosas en la rotación de cultivos.

El experimento no ha terminado aún.

2.1.3 Comparación entre el cultivo con estiércol orgánico y el cultivo con fertilizantes inorgánicos

Como el estiércol se emplea en cierta medida en la agricultura de regadío, se efectúa un experimento sobre los efectos a largo plazo del estiércol en comparación con los de los fertilizantes inorgánicos. Los resultados obtenidos hasta la fecha hablan en favor de éstos.

2.1.4 El efecto de la edad de una pradera de leguminosas sobre los rendimientos de los cultivos posteriores

Aún no se dispone de resultados.

2.2 QUILAMAPU (SUBESTACION DE HUMAN)

Los suelos de esta estación son de cenizas volcánicas (Trumaos) con el problema de una elevada fijación de fosfato.

Los experimentos realizados se refieren a este problema.

2.2.1 Efectos inmediatos y mediatos de los fertilizantes fosfatados en comprimidos (gránulos grandes) en comparación con los fertilizantes fosfatados en polvo o de granulación normal: superfosfato triple, fosfato dicálcico y harina de huesos

La rotación de cultivos utilizada fue la de rutabaga sacarina, trigo y pradera de trébol rojo. Los resultados obtenidos no permitieron una interpretación clara, pero el experimento se ha de continuar.

2.2.2 Comparación entre el cultivo con estiércol orgánico y el cultivo con fertilización inorgánica

En vista del problema de la fijación del fosfato se pensó que el estiércol daría a la larga mejores resultados. Los rendimientos indican que la fertilización inorgánica es preferible a plazo medio (cinco años) para los suelos ricos en materia orgánica (alrededor del 10 por ciento).

2.3 CARILLANCA

Se investiga en suelos de cenizas volcánicas (Trumaos) de tierras de secano. En el pasado, las investigaciones versaron sobre las rotaciones de cultivos averiguándose que la mejor rotación para la zona era la de colza-avena-trigo-pradera mixta de gramíneas y trébol rojo. Hasta cierto punto, esta cuestión se relaciona de nuevo con los problemas de las enfermedades de las plantas (Ophiobolus en el trigo, que no aparece, o es menos grave, cuando se incluye avena).

2.3.1 Épocas de preparación de la tierra para la siembra

Son cuatro:

- Temprana, es decir, en septiembre, práctica del "buen" agricultor.
- Semitemprana, es decir, en diciembre, con el beneficio de algún pastoreo.
- Tardía, en otoño, más o menos a mediados de marzo.
- Muy tardía, en otoño, a comienzos de abril, inmediatamente antes de la siembra.

Los resultados parecen indicar que, desde el punto de vista económico, la segunda de las épocas citadas es la más favorable. La preparación tardía disminuyó los rendimientos del cultivo.

2.3.2 Eliminación de los residuos de las cosechas (quemado o enterramiento) para la siembra

Los resultados parecen indicar que la quema no disminuyó los rendimientos del cultivo a breve plazo.

2.3.3 Efectos de las grandes dosis de cal y abonos fosfatados sobre la disponibilidad de Ca, K y N en un suelo Trumao (Vilcun)

El objeto de este experimento era estudiar los efectos mediatos del encalado y la fertilización con fosfatos sobre la magnitud de la disponibilidad de otros nutrientes como K y N, pero también sobre la de Ca y P.

La rotación de cultivos utilizada es la recomendada por la Estación "Carillanca" del IIA, es decir: colza-avena-trigo (asociado con trébol rojo)-trébol rojo-trébol rojo. El experimento es interesante, pero hubo algunas dificultades para llevarlo a cabo; por ejemplo: la aplicación de abonos nitrogenados al trigo sembrado en asociación con trébol rojo disminuyó el establecimiento de éste. Parece que es mejor sembrar trigo solamente para conseguir una buena cosecha de este cereal y sembrar después trébol rojo solo para lograr un buen establecimiento de la pradera. Otro problema era el del ensayo del suelo para seguir el curso de la disponibilidad de nutrientes en el mismo. Al parecer, el ensayo de suelos no proporcionó datos suficientes para descubrir cambios al respecto en los diversos tratamientos.

2.4 OBSERVACIONES GENERALES

Los experimentos de manejo de suelos del IIA se basan generalmente en la sana intención de resolver algunos de los problemas prácticos que tienen planteados al respecto la agricultura chilena. Debe indicarse, sin embargo, que la planificación apropiada de los experimentos, la ordenación cuidadosa de los que se hacen en el terreno, el muestreo y ensayo sistemáticos y oportunos de los suelos, y las observaciones que se han de hacer en el terreno sobre el crecimiento de los cultivos y todos los demás factores pertinentes de la producción agrícola son tan importantes al menos como las cifras de los rendimientos de los cultivos para consentir una interpretación clara de los resultados. Con harta frecuencia, las investigaciones de campo sobre el manejo de suelos se resienten particularmente de la falta de observaciones y mediciones pertinentes. Además, los experimentos sobre manejo de suelos son costosos, por lo que, antes de empezarlos, debe asegurarse que esté garantizada realización apropiada desde el principio hasta el fin, es decir, que haya personal, equipo y dinero suficientes.

A veces es difícil llevar a cabo esto en la práctica, ya que los presupuestos, el personal, etc. pueden cambiar de uno a otro año, lo cual afecta a la calidad de tales investigaciones en razón a su carácter "a largo plazo".

En resumen, las investigaciones de carácter experimental sobre manejo de suelos deben restringirse a los problemas agrícolas que revisten gran importancia socioeconómica para el país.

Capítulo 3

LOS PROBLEMAS DEL MANEJO DE SUELOS EN LA AGRICULTURA CHILENA Y SU IMPORTANCIA
RELATIVA PARA LA PRODUCCION AGRICOLA Y LA CONSERVACION DE SUELOS

3.1 LOS PRINCIPALES PROBLEMAS DEL MANEJO DE SUELOS EN LA AGRICULTURA CHILENA

3.1.1 Inadaptación del aprovechamiento de la tierra a las posibilidades de ésta

Este problema es muy grave y en muchos casos se relaciona con la tenencia de tierras y se complica por el desconocimiento de las posibilidades de las mismas, la falta de conocimientos sobre la adaptación de cultivos, de asistencia técnica y de incentivos económicos para cambiar los sistemas agrícolas y mejorar el aprovechamiento de la tierra.

3.1.2 Prácticas agrícolas erróneas o inapropiadas

3.1.2.1 Prácticas relativas a la producción de cultivos extensivos, como la preparación del suelo para la siembra, es decir, labranza, fertilización, métodos de siembra y densidad de la siembra.

3.1.2.2 Prácticas relativas a la producción animal, y el mejoramiento y manejo de praderas. Es frecuente la escasa productividad de las praderas a causa de lo inadecuado de las especies vegetales, la fertilización y la densidad de pastoreo.

Las causas mencionadas en los dos párrafos precedentes aceleran la erosión del suelo, disminuyen su fertilidad y, en las tierras de secano de la costa situadas al oeste y sudoeste de Santiago, donde el peligro de sequía en primavera y verano es grande, provocan la pérdida del agua de lluvia y la reducción de los rendimientos o la pérdida de cosechas en los años secos.

3.1.2.3 Pérdidas de la vegetación natural de las laderas de montañas y colinas a causa de los incendios

Las laderas de las montañas y las cimas y laderas superiores de las colinas están cubiertas de una vegetación natural de arbustos y árboles. Con frecuencia, esta vegetación se pierde por incendios, accidentales o provocados con propósitos de aclareo. Tal circunstancia dificulta la lucha contra la erosión por el agua en las partes inferiores de las laderas, donde comúnmente crecen los cultivos extensivos.

3.1.3 Estructuras de la conservación de suelos y la regulación de aguas

Los agricultores, en general, consideran antieconómicas y fuera del alcance de sus posibilidades las medidas de ingeniería para la conservación de suelos y aguas. Sin embargo, es preciso darse cuenta de la necesidad de un mínimo de tales medidas cuando se trata de cultivar tierras de las clases III, IV y VI, y los valores del IE (índice de erosión) son altos.

La cooperación entre los agricultores, quizá con apoyo del Gobierno, debe permitirles aplicar una cantidad mínima de medidas ingenieriles de conservación de suelos, como por ejemplo, zanjias de desviación de aguas y obras de defensa para corrientes naturales.

3.2 OBSERVACIONES GENERALES

Los funcionarios del Gobierno encargados de la conservación de los recursos naturales conocen, naturalmente, la existencia de los problemas mencionados. Prueba de ello son los esfuerzos realizados por los funcionarios del Ministerio de Agricultura para conseguir la aprobación de proyectos de leyes destinadas a la conservación de los recursos naturales, el primero de los cuales se remonta a 1949 (debido a Manuel Rodríguez Zapala y Manuel Elgueta) y el último a 1966 (redactado por el Departamento de Conservación de Suelos y Aguas).

Además, en 1969/70 se inició en algunas áreas un programa de enseñanza de la conservación de recursos naturales dirigido a los maestros de escuelas primarias.

Sin embargo, parece ser que los efectos de las leyes y el mencionado programa de enseñanza, aunque indudablemente de gran valor, sólo beneficiarán a la producción agrícola y a la conservación del suelo si se da a los agricultores los medios de cambiar sus prácticas agrícolas y, al mismo tiempo, se les proporciona asistencia técnica. En este aspecto de la asistencia técnica es donde los agentes de extensión agrícola tendrán que hacer uso de los conocimientos adquiridos en las investigaciones sobre manejo de suelos y cuestiones agrícolas afines.

El IIA ha realizado ya una cierta labor de investigación sobre manejo de suelos, limitada principalmente a las tierras y los suelos de las estaciones experimentales (véase el capítulo 2).

En las áreas de tierras de secano onduladas o colinosas, donde el problema de la erosión hídrica es en gran parte consecuencia de prácticas agrícolas erróneas, se ha investigado poco o nada.

Entre las múltiples prácticas agrícolas equivocadas que se han aplicado a este tipo de tierras algunas de las más importantes son las siguientes:

1. En las tierras colinosas o fuertemente onduladas de secano de la costa de Valparaíso, Conchagua y Curicó:
 - labores de arada, rastra y siembra hacia arriba y hacia abajo de las pendientes en lugar de hacerlo a nivel;
 - uso insuficiente o ineficaz de fertilizantes o falta absoluta del uso de éstos;
 - rotaciones inapropiadas de cultivos, principalmente de trigo y praderas "naturales" (espontáneas) con fuerte erosión en la "fase trigo" y aun erosión continuada, aunque menos intensa, en la fase pradera natural a consecuencias del pastoreo excesivo;
 - métodos primitivos de siembra (siembra a voleo y labores de rastra o arada para tapar las semillas) del trigo, lo que origina un rodal irregular;

- enterramiento de residuos vegetales para el barbecho de verano y labranza posterior excesiva en otoño para la preparación del asiento cuando se siembra trigo. Como los suelos son ya pobres en materia orgánica, debido a la erosión y la pérdida de la capa arable continuas, la arada que voltea el suelo entierra la capa superficial que es relativamente más rica en materia orgánica y los residuos vegetales y saca a la superficie las capas inferiores del suelo que son aún más pobres en materia orgánica. Como consecuencia de ello, las lluvias otoñales provocan la ruptura de los agregados inestables del suelo, las grietas superficiales se cierran y la infiltración del agua en el suelo resulta obstaculizada, lo que origina el aumento de la escorrentía y la erosión.

La combinación de esas malas prácticas agrícolas ocasiona una erosión grave y constante y el aprovechamiento ineficaz del agua de lluvia, lo cual, dada la escasa fertilidad del suelo y el peligro bastante serio de sequías en primavera y verano, hace que los rendimientos de las cosechas y los pastos sean bajos y que se deterioren aún más los suelos, hasta tener que abandonar completamente el cultivo en estas tierras, como ya ha ocurrido en varias partes de esta área.

2. En los suelos de cenizas volcánicas (Trumaos) de la precordillera de los Andes y en las tierras colinosas y fuertemente onduladas más bajas situadas entre el valle Central y la Cordillera

En los suelos Trumao se han distinguido varias series, pero todas ellas tienen en común un gran contenido de materia orgánica, una buena estructura natural debida a complejos de materia orgánica y alófana, una elevada capacidad de fijación de los fosfatos y bajos índices de mineralización del nitrógeno orgánico.

Las principales prácticas agrícolas erróneas que se aplican en estos suelos se refieren a la labranza del mismo:

- labranza excesiva del suelo en su preparación para la siembra de cultivos arables. El suelo se ara con demasiada frecuencia y profundidad, lo que tiene dos consecuencias graves. La primera es que la capa arable se invierte prácticamente y los residuos vegetales quedan enterrados; al mismo tiempo, el suelo se pulveriza y se transforma casi totalmente en un polvo fino y por ello queda expuesto a la erosión eólica que, dados los fuertes vientos dominantes, puede ser grave. La segunda es que la parte superior de la capa arable, en la cual puede haberse acumulado y concentrado fertilidad en virtud de aplicaciones anteriores de fertilizantes y cuya capacidad de fijación de los fosfatos se sabe es más baja que la del suelo subyacente, se mezcla con éste, con lo que se diluye la fertilidad del suelo, y el nitrógeno y fosfato disponibles quedan expuestos a fijación y conversión en compuestos inutilizables.

En realidad, no hay ninguna razón para que el agricultor siga aferrado a estas prácticas de labranza, salvo la economía de la escarda. La finalidad principal de las múltiples labores que se dan al suelo es combatir las malas hierbas, principalmente las gramíneas, como avenilla (Avena fatua), chepica (Agrostis tenue), pasto cebolla (Arrhenatherum elatius var. elatius), pasto miel (Holcus lanatus), entre otras.

Con la aparición de los nuevos herbicidas en el mercado habrá que estudiar las posibilidades de sustituir la escarda tradicional con la escarda química y la labranza mínima o aún nula.

Si se siembra un cultivo después de una pradera de gramíneas y leguminosas o después de una pradera natural, puede ocurrir que el sistema de "prescindir del laboreo y aplicar la escarda química" tenga que afrontar el problema de sembrar un cultivo labrantío en un césped denso de gramíneas matadas químicamente. Quizá haga falta un equipo especial de siembra que conste de abresurcos de cuchilla circular para abrirse paso a través de los residuos vegetales. No obstante, existe ya en el mercado un equipo idóneo que, para fines experimentales, podría fabricarse en el país. También sería posible ensayar una labranza mínima con un monocultor rotatorio que profundice poco (< 8 cm) con el fin de cortar los residuos vegetales y el césped muerto y remover la capa superficial del suelo, combinado con la ulterior escarda química, antes y después de la brotadura.

Parece evidente que los beneficios de una escarda química completa, que quizá no esté aún al alcance de los agricultores chilenos, pero que lo estará en un futuro no lejano, debe ser uno de los temas de la investigación actual sobre manejo del suelo, particularmente si se considera que la labranza del suelo sirve únicamente para combatir las malas hierbas. En la actualidad, la labranza de estos suelos para la siembra de un cultivo labrantío (trigo, colza o avena) consta de las operaciones siguientes:

Después de una pradera

1. Octubre - arada con arado de discos o con rastra pesada de dos hileras de discos.
2. Diciembre - gradeo con rastra de dos hileras de discos.
3. Diciembre - gradeo con rastras de púas.
4. Marzo - arada cruzada con arado de discos.
5. Abril - gradeo con rastra de doble hilera de discos.
6. Mayo - gradeo con rastra de doble hilera de discos y rastra de púas.
7. Mayo - rulado después o antes de la siembra.

Después de un cultivo labrantío (por ejemplo, la colza)

1. Febrero/marzo - arada con arado de discos.
2. Marzo - gradeo con rastra de dos hileras de discos.
3. Abril - gradeo con rastra de púas.
4. Mayo - gradeo con rastra de dos hileras de discos y rastra de púas.
5. Mayo - rulado después o antes de la siembra.

Evidentemente, una gran parte, si no todas estas labores, podrían evitarse con la escarda química mediante herbicidas como Dalapon, Weedazol, - TL, Gramoxone, 2-4-5 T, etc., con la ventaja de combatir la erosión del suelo y conservar la fertilidad acumulada en la capa arable.

3. En los suelos de arcilla roja del norte, oeste y sudoeste de Temuco

Estos suelos de arcilla roja, que se cree proceden de antiguos materiales volcánicos, en los cuales los minerales arcillosos predominantes son la caolinita y los grados intermedios de halloysita-caolinita (Wright),

contienen menos materia orgánica, no poseen una elevada capacidad de fijación de los fosfatos como los Trumaos, sus estructuras son menos favorables y son más erosionables.

Sin embargo, son suelos potencialmente productivos y los cultivos extensivos que se hacen en ellos responden bien a los fertilizantes fosfatados y nitrogenados.

Los principales problemas de manejo de suelos en estos suelos son los siguientes:

- la labranza del suelo para la preparación del asiento de los cultivos extensivos muestra los mismos defectos que en los suelos del primer grupo, es decir, las operaciones de labranza y siembra no se realizan siguiendo las curvas de nivel;
- es difícil trabajar el suelo, una vez que comienzan las lluvias de otoño;
- no se practica ninguna rotación de cultivos satisfactoria;
- no se utilizan fertilizantes suficientes o no se abona en absoluto.

Se sabe muy poco de estos suelos, porque hasta la fecha se ha investigado poco. No obstante, se calcula (comunicación personal de M. Fernández) que anualmente se siembran unas 70 000 a 80 000 hectáreas de trigo y la erosión hídrica, aunque no tan espectacular como en los suelos de las tierras de secano de la costa desde Valparaíso a Curicó, avanza y amenaza seriamente la productividad del suelo.

Un cultivo pratense prometedor parece ser la alfalfa (Medicago sativa), pero también en este caso se ha investigado muy poco en comparación con las leguminosas pratenses para su rotación con cultivos labrantíes.

El objetivo actual de la estación experimental Carillanca del IIA, con respecto a las investigaciones sobre el manejo de estos suelos, parece que es descubrir en primer lugar los factores limitantes que existan para el establecimiento de la alfalfa (por ejemplo, encalado, fertilización con fosfatos, deficiencias de elementos secundarios, lucha contra las malas hierbas en la fase de establecimiento) y determinar al mismo tiempo las necesidades de abonos del trigo u otros cultivos labrantíes como la colza, y después iniciar experimentos de rotación de cultivos en fundos determinados.

Capítulo 4

LABOR REALIZADA

4.1 RESUMEN

El experto ha examinado las investigaciones del IIA sobre manejo de suelos, y ha cambiado impresiones acerca de los métodos utilizados y la interpretación de los resultados obtenidos. De este modo, ha intentado colaborar en la capacitación del personal de contrapartida. Después de examinar las investigaciones presentes y pasadas y de analizar rápidamente los principales problemas del manejo de suelos en la agricultura chilena durante las excursiones al campo y las visitas a las estaciones experimentales del IIA y a algunas colonias del Instituto de Reforma Agraria y a las oficinas regionales del Servicio Agrícola Ganadero del Ministerio de Agricultura (SAG), se decidió que el experto se concentrase en los problemas del manejo de suelos de las tierras de secano de las tres zonas mencionadas en el capítulo 3. En la zona primera, es decir, en las tierras de secano de la costa situadas al sur de la línea Santiago-Valparaíso hasta la línea San Fernando-Pichilemu, se inició un programa de investigaciones sobre manejo de suelos basado principalmente en investigaciones de campo realizadas en fundos de agricultores que aceptaron colaborar con el IIA en ese programa.

Se eligió esta zona porque los problemas de manejo de suelos que se presentan en ella eran los más graves, estando amenazada la subsistencia de los agricultores por la erosión hídrica de los suelos y la sequía de primavera y verano. Además el apoyo material para las investigaciones de campo resultaba más asequible en la principal estación experimental del IIA La Platina que en las otras dos.

Al mismo tiempo, el experto intentó crear un pequeño laboratorio para análisis físicos de suelos afines, pero no lo consiguió por no haber podido disponer de fondos para su instalación hasta la fecha en que terminó su misión. No obstante, el experto consiguió el equipo necesario por medio de la FAO y examinó al menos los principios de los análisis físicos de suelos, que trataba de introducir, con el funcionario de contrapartida, ingeniero Maximiliano Martínez V. en la estación experimental del IIA, cerca de La Platina.

Las investigaciones de campo se llevaron a cabo en 1969 y 1970 y los resultados obtenidos indican que, mejorando el manejo del suelo, la agricultura de la zona sería rentable y que al mismo tiempo podría lograrse detener satisfactoriamente la erosión del suelo, cambiando las prácticas agrícolas, sin necesidad de grandes y costosas obras de ingeniería de conservación de suelos.

En la zona 2 - suelos Trumao -, se puso el acento en la reducción de las operaciones de labranza de estos suelos, introduciendo algunos conceptos agronómicos modernos acerca de la labranza. Se inició un experimento de labranza.

En la zona 3 - suelos de arcilla roja -, solo se examinaron los futuros programas de investigación y se hicieron algunas recomendaciones.

El experto preparó con su contraparte en La Platina, Ing. M. Martínez, un documento para el informe quinquenal del Instituto de Investigaciones Agropecuarias. En este documento denominado "Algunos aspectos de manejo de suelos en cereales de secano dentro del área de La Platina" se expusieron algunos problemas de manejo de suelos del cultivo del trigo en la zona de la costa de secano (zona 1) y se analizaron los resultados de las investigaciones realizadas en 1969 en esta zona.

Además, se prestó asistencia a otros dos funcionarios de contrapartida en la preparación de sus comunicaciones para la misma publicación del IIA, que debe aparecer a fines de este año. Por último, el experto participó en deliberaciones técnicas sobre problemas de manejo de suelos con el SAG, y con oficiales de extensión y de asistencia técnica y, durante un día del agricultor celebrado hacia el final de su misión, se hicieron demostraciones a los agricultores y funcionarios del SAG de los experimentos de campo realizados en 1970.

4.2 INVESTIGACIONES DE CAMPO SOBRE MANEJO DE SUELOS EN LAS TIERRAS DE SECANO DE LA COSTA DE VALPARAISO, SANTIAGO Y COLCHAGUA

4.2.1 Introducción

El trigo es el principal cultivo cerealista de las tierras de secano en Chile y las prácticas de labranza que se utilizan para él son la causa mayor de erosión de los suelos en las laderas de las tierras colinosas y fuertemente onduladas. La mayoría del área triguera total de este país se siembra anualmente en tierras de secano, también en su mayoría en pendiente, en el área costera que se extiende desde Coquimbo hasta Constitución y en una vasta área de la zona centro-meridional.

El trigo de secano se cultiva normalmente en terrenos de pendiente suave (3-6 por ciento) y de pendiente media (6-15 por ciento), pero también muy frecuentemente en terrenos de pendiente superior a 15 por ciento.

Las causas de que los rendimientos del trigo sean bajos son diversas en todas las áreas trigueras de secano. Si el rendimiento se expresa como función de factores de producción más importantes se verá que los más importantes son la fertilidad natural del suelo, la fertilización, especialmente con abonos nitrogenados y fosfatados, la idoneidad del suelo para este cultivo, la clase de posibilidad de aprovechamiento de la tierra, la preparación del suelo para la siembra, el método y la fecha de siembra, el lugar que ocupa el trigo en la rotación de cultivos, la lucha contra las malas hierbas, la variedad de trigo, y el clima por medio de sus componentes temperatura y disponibilidad de agua.

La importancia relativa de estos factores varía según las diferentes zonas de secano y en cada una habrá que determinar cuáles son los factores limitantes del rendimiento más importantes. En 1969 y 1970, se hizo un estudio de esta índole en la zona de secano de la costa de las provincias de Valparaíso, Santiago y Colchagua, en consideración a la gravedad del problema que plantea el cultivo de los cereales en ella.

La importancia de este área para la producción de trigo puede deducirse del cuadro 1.

Cuadro 1

AREA SEMBRADA DE TRIGO EN LAS PROVINCIAS DE VALPARAISO, SANTIAGO Y COLCHAGUA
(dentro de la esfera de competencia de la Estación Experimental La Platina) 1/

Provincia	Total de superficie sembrada ha	Rendimiento medio/ha	Regadío		Secano	
			Superficie ha	Rendimiento medio/ha	Superficie ha	Rendimiento medio/ha
Valparaíso	13 935	13,9	3 432	21,4	10 502	11,5
Santiago	52 765	22,4	33 426	27,9	19 338	12,8
Colchagua	<u>39 751</u>	17,3	<u>15 859</u>	25,3	<u>23 895</u>	12,0
Total	106 451		52 717		53 735	

1/ Censo de 1964-65.

Algo más de la mitad del área triguera de esas provincias es de secano (es decir, que no se la riega). La zona estudiada comprendía Casablanca como límite septentrional y Halcones como límite meridional. Los datos pluviométricos de esta área indican una precipitación de unos 600-700 mm de agua al año en la parte meridional y de 300-400 mm en la septentrional, con grandes variaciones de un año a otro. Son características de esta región las precipitaciones muy intensas (valores altos del IE, ref. Wischmeier, W. H. 1965) en junio y julio, causantes de erosión con el sistema actual de manejo del suelo.

En la parte septentrional del área prácticamente no llueve después de agosto, mientras que en la meridional el período de lluvias se extiende hasta fines de octubre.

El cultivo del trigo (y de otros pequeños cereales de grano como, por ejemplo, la cebada) plantea los problemas siguientes:

Respecto a la producción agrícola

Los factores más limitantes parecen ser los siguientes:

- Escasa fertilidad natural del suelo que padece una erosión de media a grave, con muy poco contenido de materia orgánica (0,5-1,5 por ciento) y de fósforo disponible (3-8 ppm, método de Olsen).
- Falta de fertilización o una fertilización ineficaz (desequilibrada, por ejemplo, 60 kg de P₂O₅+25-35 kg de N por ha, o sin nitrógeno).
- Preparación inapropiada del suelo (escasa profundidad y enterramiento de la capa superficial de residuos vegetales en caso de arada más profunda).

- Utilización de suelos que no son idóneos para cultivos labrantíos (las pendientes demasiado pronunciadas, es decir > 15 por ciento; el cultivo en suelos con pendiente > 30 por ciento y en suelos muy poco profundos son cosas bastante corrientes).
- Métodos inapropiados de siembra (la semilla se siembra a voleo y se tapa con una labor de arada o de gradeo con rastras de disco, lo que origina una profundidad irregular de siembra y un rodal desigual).
- Humedad deficitaria del suelo durante las etapas críticas del desarrollo de la planta (floración y semillación).

Respecto a la conservación de suelos y aguas

- La labranza del suelo y la siembra no suelen hacerse horizontalmente, es decir, perpendicularmente a la dirección de la pendiente.
- No se excavaron canales laterales de derivación del agua.

Estas circunstancias, unidas a las condiciones defectuosas mencionadas, aumentan el efecto destructivo de las lluvias intensas de junio y julio sobre los agregados del suelo, provocando la erosión en cárcavas, que es muy corriente en las tierras de secano de la costa.

El trigo se cultiva una vez cada 5-8 años en rotación con la pradera "natural" (generalmente maleza espontánea). Esto significa que la superficie total de suelos con este tipo de cultivo migratorio tiene que multiplicarse al menos por cinco. Dado el daño considerable que causa la erosión durante el año en que se cultiva trigo, la superficie total afectada es mayor de lo que generalmente se cree.

La falta de sistemas de rotación con praderas artificiales o por lo menos con praderas naturales mejoradas y el consiguiente pastoreo excesivo son otros factores que contribuyen a acelerar la erosión.

Al parecer se ha conseguido experiencia suficiente respecto al mejoramiento de las praderas en la zona por medio de la siembra de diversas especies de plantas prateras comprobadas, pero la aplicación de esta experiencia a la rotación trigo-pradera ha sido muy limitada.

4.2.2 Investigaciones

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, las investigaciones se orientaron hacia la viabilidad de la introducción de prácticas mejores de manejo de suelos, ya conocidas y aplicadas en el extranjero, incluidos los estudios del uso de fertilizantes, los métodos de siembra y el aumento de eficacia en el aprovechamiento del agua de lluvia. Al mismo tiempo, las investigaciones se restringieron a los suelos idóneos para el cultivo y cuya pendiente no rebasase el 15 por ciento.

Los objetivos principales han sido encontrar los medios de:

1. Aumentar los rendimientos del trigo por hectárea.
2. Contrarrestar los efectos de las lluvias intensas, conservando y aprovechando las precipitaciones al máximo.
3. Descubrir los factores que permitan predecir si el cultivo del trigo en determinados suelos considerados "idóneos" resultará antieconómico o sencillamente un fracaso.

Se comprende que una rotación apropiada con pradera, su mejoramiento y manejo son otros aspectos muy importantes de la conservación de suelos y aguas en la zona; sin embargo, el cultivo del trigo (cereales) ha de considerarse la causa principal de la erosión del suelo.

4.2.2.1 Experimentación de campo en 1969

En una serie de experimentos de campo se realizó un estudio preliminar sobre las siguientes prácticas de manejo para el cultivo del trigo:

1. Siembra en surcos profundos distanciados 35 cm entre sí (el doble de la distancia normal de siembra cuando ésta se hace con sembradora) a nivel en comparación con la siembra tradicional (a voleo y tapada con una labor de gradeo o arada)

Se estudió esta práctica en vista de la importación de una sembradora de cereales John Deere HZ 714 para laderas de secano que fue adquirida por el Proyecto. La sembradora cumple su trabajo en la forma primeramente mencionada abriendo en la pendiente surcos profundos (de unos 10 cm de profundidad) en el fondo de los cuales se echa la semilla del trigo y el fertilizante en la época de la siembra. Los surcos acanalados producen una superficie rugosa en la cual aquéllos, al extenderse horizontalmente, detienen la escorrentía o al menos aminoran considerablemente su velocidad contribuyendo en definitiva a una mayor infiltración del agua de lluvia en el suelo. Además, la sembradora coloca la semilla a una profundidad conveniente y uniforme. La mayor distancia entre las hileras de plantas supone menor número de semillas y plantas por hectárea y puede contribuir a economizar el aprovechamiento de la humedad disponible del suelo.

2. Subsolado

El suelo se ara hasta una profundidad de 40 cm con una distancia de 50 cm entre las pasadas. Este tratamiento tiende a aflojar ("fragmentar") el suelo bajo la capa arable con objeto de aumentar la infiltración y el almacenamiento del agua de lluvia a una profundidad mayor.

El subsolado se hace al final del verano.

3. Fertilización

Se aplicó nitrógeno (nitrato de Chile) y fósforo (superfosfato triple) en dosis y cantidades diferentes.

Es sabido que para aumentar los rendimientos de las tierras de secano de la costa hace falta abonar los suelos. Este abono se requiere principalmente para suministrar nitrógeno y fósforo, pero las dosis optativas de fertilizantes difieren según las distintas condiciones de humedad del suelo. En este sentido, el nitrógeno es el nutriente que exige el ajuste máximo, ya que es el más caro de los dos, por unidad de peso y tiene menos efectos residuales, aunque al mismo tiempo es el principal nutriente limitante del rendimiento.

El efecto de la fertilización en la eficiencia del aprovechamiento del agua del suelo por las plantas es bien conocido (Viets, 1962). Esto es muy importante cuando escasea el agua, como ocurre en primavera en la zona de secano de la costa.

Se realizaron dos experimentos completos en que se estudió la combinación de los tres tratamientos mencionados anteriormente en una distribución factorial. Uno en la parte meridional (Rosario de lo Solis) y otro en la septentrional (Casablanca).

Se utilizaron las siguientes dosis de nitrógeno y fósforo: 0 - 40 - 80 - 120 kg de N/ha y 0 - 60 - 120 kg de P_2O_5 /ha en una factorial incompleta.

Además se hicieron cuatro ensayos en la zona, en los cuales sólo se estudiaron las cantidades de nitrógeno, aplicando el fósforo en dosis constantes, lo suficientemente altas para conseguir un suministro suficiente de este nutriente.

Mediciones de la humedad del suelo

Midiendo la resistencia eléctrica de bloques de yeso enterrados a 15, 30 y 45 cm en parcelas sometidas a tratamientos diferentes, se averiguó la humedad disponible del suelo e indirectamente el consumo de esta humedad por las plantas en diferentes períodos de la estación vegetativa.

Al mismo tiempo se acopiaron datos sobre la pluviosidad en la zona.

Los suelos

En líneas generales, los suelos en que se realizaron los experimentos pueden dividirse en dos grupos:

- I. Suelos derivados de material aluvial procedente de terrazas disecadas (probablemente de origen marino) con arena granítica fina.
- II. Suelos derivados de rocas graníticas, situados en pendientes de colinas redondeadas compuestas de estas rocas.

Según la séptima Aproximación del Sistema de Clasificación de Suelos, en el primer grupo se encuentran suelos de tipo Haploxeralfes y en el segundo Rodoxeralfes y Haploxeralfes.

La fertilidad del suelo es de baja a muy baja como puede deducirse del cuadro 2. Son notables las diferencias en contenido de materia orgánica y potasio disponible entre los suelos de terrazas y los graníticos.

Los suelos de terrazas, excepto el de Santa Mónica, presentan perfiles cuya estructura cambia menos con la profundidad, mientras que los graníticos tienen horizontes B de una textura más compacta y densa. Estos últimos suelos están más extendidos.

ANÁLISIS DE SUELOS (VALORES MEDIOS POR LUGAR)

SUELOS DE TERRAZAS MARINAS

Experi- mento Nº	Ubicación (lugar, departa- mento)	Profun- didad cm	p H H ₂ O	Materia orgánica %	Total de nitrógeno %	Nitrógeno disponible inicialmente ppm	Fósforo disponible (Olsen) ppm	Potasa disponible ppm	Capacidad de intercambio de cationes ppm
1	Las Cuevas, Colchagua	0-15	5,9	2,48	0,12	14,7	9,7	98	20,6
		15-30	3,7	1,69	0,08	12,6	6,9	71	25,3
2	Santa Mónica, Colchagua	0-15	5,7	1,29	0,06	15,6	3,4	107	9,5
		15-30	5,6	0,86	0,06	13,1	3,6	68	13,5
3	La Manga, Santiago	0-15	6,1	1,81	0,09	14,1	8,8	110	16,3
		15-30	5,8	1,35	0,08	9,8	7,4	60	23,6

SUELOS GRANÍFICOS

4	Los Maitenes, Santiago	0-15	6,3	0,57	0,05	17,0	3,6	59	9,5
		15-30	6,3	0,38	0,05	15,8	2,9	47	12,7
5	Orrego Arriba, Casablanca (Rodoxeralfe)	0-15	6,1	0,90	0,05	11,0	4,5	40	8,7
		15-30	6,2	0,47	0,05	9,6	6,3	31	13,0
6	Orrego Arriba, Casablanca (Haploxeralfe)	0-15	6,1	1,21	0,05	12,8	5,3	61	8,9
		15-30	6,1	0,51	0,05	10,1	7,2	39	13,3

Resultados y discusión

La siembra del trigo en surcos profundos distanciados 35 cm entre sí, precisamente la misma que se habría obtenido con una sembradora-apisonadora del tipo John Deere HZ 714 para tierras de secano, no produjo en estos experimentos rendimientos medios significativamente diferentes de los de las siembras hechas por el método corriente.

La humedad del suelo durante el otoño y el invierno no fue limitante y normalmente se aproximó mucho a la capacidad de campo. Sin embargo, en primavera y a principios del verano, la humedad del suelo resultó más limitante en las provincias de Santiago y Valparaíso (experimentos números 3, 4 y 5). Las mediciones hechas en primavera muestran que, con el método de siembra modificado, había más humedad disponible en los suelos.

Además, durante las observaciones de campo se observó que este método de siembra contribuía sustancialmente a dominar la escorrentia superficial y con ello a la conservación de suelos y aguas.

En los terrenos con subsuelo compacto, el empleo del subsolador aumenta, durante las sequías de primavera y verano, los efectos del método de siembra modificado (gráfica 2).

Esta interacción entre la siembra en surcos profundos, distanciados entre sí el doble de lo corriente, extendidos horizontalmente y el subsolado de un suelo con subsuelo compacto, no ocurrió cuando hubo humedad suficiente (gráfica 3).

En esas condiciones, el subsolado aumentó por sí sólo los rendimientos, es decir, la respuesta a la fertilización.

Es posible que cuando la humedad del suelo no constituya un factor limitante del rendimiento, el efecto del método de siembra modificado sobre los rendimientos sea mínimo.

En tal caso seguirán existiendo las ventajas de la lucha contra la erosión y de la reducción de la necesidad de semillas.

La fertilización

En la parte meridional de la zona estudiada se observó una respuesta a la fertilización mayor de lo que sería de esperar a causa del aumento de la pluviosidad (de 500 a 600 mm anuales frente a 250 a 350 mm anuales en la parte septentrional) (220 mm en Casablanca en 1969).

En el experimento n° 2, realizado en el sur, se obtuvo una respuesta mejor que en el experimento n° 6, llevado a cabo en el norte, cerca de Casablanca; al mismo tiempo, se observó una necesidad de fósforo mayor en el experimento n° 6 (gráficas números 4 y 5).

En las gráficas números 2 y 3, pueden verse además los efectos de los métodos de manejo de suelos (subsolado, siembra en surco profundo) sobre la respuesta al nitrógeno.

La gráfica n° 6 muestra las curvas de respuesta al nitrógeno (promedios) en las diferentes condiciones posibles de humedad del suelo y las cantidades de nitrógeno que hacen falta para una aplicación económica óptima.

En el caso de esta gráfica se muestra que la fertilización es antieconómica, ya que la poca disponibilidad de humedad en un suelo de poca profundidad es un factor limitante demasiado grande. En este tipo de suelos tendrá que abandonarse el cultivo para dedicarlos a praderas con pastoreo extensivo.

Sin embargo, un suelo como el del caso (c) con humedad limitada pero con mayor profundidad podría dar aún rendimientos económicos superiores a 22 quintales/ha (en un año con 220 mm de lluvia). Podría calcularse que la fertilización del trigo en la zona estudiada tiene que ser de 60 a 80 kg de N + 80 kg de P_2O_5 /ha en la parte meridional y unos 80 kg de N + 100-120 kg de P_2O_5 /ha en la septentrional.

En cuanto a la influencia de la fertilización sobre la eficacia de la utilización del agua, los resultados experimentales parecen confirmar las observaciones de otros investigadores en el sentido de que la fertilización aumenta el consumo de agua, pero al mismo tiempo también su eficacia. Las explicaciones que se han dado de este fenómeno son diversas y variables.

Parece ser que los efectos más importantes de la fertilización a este respecto son: extensión del sistema radical y desarrollo acelerado de la planta, incluida la maduración. Los datos experimentales de 1969 no permiten llegar a conclusiones más amplias a este propósito.

Se esperaba que la experimentación de 1970 aclarase algunos aspectos más.

Conclusiones

1. En realidad, la siembra en surcos profundos horizontales, como se haría con una sembradora John Deere HZ 714, parece prometedora en lo que a combatir la erosión y conservar el agua se refiere. La mayor distancia entre las hileras de siembra significa economía en el uso del agua y de la densidad de siembra por hectárea, ya que prácticamente se obtienen los mismos rendimientos que con la siembra en hileras separadas entre sí normalmente (unos 17 cm) y utilizando una densidad doble de siembra.
2. La fertilización tiene que ajustarse a la disponibilidad de humedad en el suelo y a la fertilidad de éste. La fertilización actual, cuando se la practica, es generalmente inapropiada y antieconómica.
3. La profundidad del suelo ha de tenerse en cuenta con el fin de decidir si éste es o no idóneo y hay que descartar para el cultivo del trigo los suelos muy poco profundos (los límites para ello han de establecerse aún).
4. Evidentemente, en los estudios de esta clase hay que incluir la adaptación de las variedades de trigo a las condiciones particulares de la zona y a las medidas mejoradas de manejo propuestas.

4.2.2.2 Experimentación de campo en 1970

De los experimentos de 1969 resultó evidente que la introducción de prácticas mejoradas del cultivo de trigo en el área podría dar resultados satisfactorios, tanto desde el punto de vista de los rendimientos de este cereal como desde el de la conservación de suelos y aguas.

La modificación de las prácticas de cultivo, según los resultados obtenidos en los experimentos de 1969 y las observaciones de campo, tiene que comprender los extremos siguientes:

a. Método de siembra (preparación de la tierra para la siembra), es decir, la siembra en surcos profundos a nivel, como puede hacerse con una sembradora de cereales John Deere HZ 714 para laderas de secano o con sembradoras de un tipo y forma de sembrar análogos (véase para una explicación más detallada el párrafo 4.2.2.1-1).

b. Fertilización

Para elevar los rendimientos del trigo a las cantidades deseadas es preciso aplicar fertilizantes nitrogenados y fosfatados a razón de 60-80 kg de N + 80 - 100 kg de P₂O₅ por hectárea.

c. Subsolado

El subsolado, con el que se pretende aumentar la profundidad del suelo para mejorar el arraigo de la planta y el almacenamiento de humedad, sería útil en algunas condiciones edáficas y climáticas particulares. Las tres modificaciones indicadas se incluyeron como tratamientos en una nueva serie de experimentos de campo en 1970 en suelos análogos a los utilizados en 1969.

Entre tanto había llegado la sembradora de cereales John Deere HZ 714 para laderas de secano y se la utilizó en estos experimentos.

De las observaciones de campo realizadas en 1969 se llegó a la conclusión de que era conveniente estudiar las posibles interacciones entre las variedades de trigo, el método de siembra y la fertilización. Por consiguiente, se llevó a cabo una serie paralela de experimentos de campo para estudiar este aspecto. Así, pues, se hicieron en este año cuatro experimentos del primer tipo y cuatro del segundo.

4.2.2.2.1 Método de siembra x subsolado x fertilización

Diseño experimental: Factorial 2x2x4 con 3 elementos repeticiones (bloques) dispuestos en parcelas dobles divididas en bloques completos aleatorios.

Tratamientos

a. Método de siembra

Método testigo. Siembra con una sembradora común de cereales en surcos distanciados unos 17 cm entre sí, con una densidad de siembra de 140 kg de semilla de calidad certificada/ha. Este método representaría el practicado por un agricultor de espíritu progresivo, que utilice una sembradora de cereales para la siembra del trigo (en esta área, la mayor parte del trigo se siembra manualmente a voleo por equipos de sembradores y la semilla se tapa después con rastras de disco o con aperos semejantes al arado, de fabricación nacional, lo que origina una profundidad irregular y densidades y rodales de plantas desiguales).

Método modificado. Siembra con una sembradora de cereales John Deere HZ 714 para laderas de secano, en surcos profundos, con una distancia de unos 35 cm entre hileras y una densidad de 70 kg de semilla/ha.

N.B. Las siembras por ambos métodos se hicieron en surcos trazados horizontalmente; normalmente, el agricultor no siembra de este modo, por lo que el tratamiento testigo representa la práctica de un agricultor dotado también de espíritu progresivo al respecto.

b. Subsolado

Método testigo - no se subsola.

Método por subsolado. Se utilizó un subsolador J. Deere con un tractor J. Deere 2020 arándose hasta la profundidad de 40 cm y con una distancia de 50 cm entre las pasadas.

El subsolado se hizo a fines de abril y principios de mayo, cuando el suelo estaba seco.

c. Fertilización

Como los resultados experimentales de 1969 apuntaban hacia una mayor necesidad de ajustar la proporción de fertilizantes nitrogenados, aunque al mismo tiempo había también una exigencia básica de fosfato, se aplicó nitrógeno en cuatro dosis, a saber: 0 - 50 - 100 - 150 kg de N/ha en forma de nitrato de Chile (nitrato sódico) y fosfato como abono básico en todos los tratamientos, a razón de 100 kg de P_2O_5 /ha en forma de superfosfato triple.

La mitad del nitrógeno de cada una de esas dosis se aplicó en la siembra y la otra mitad en la fase de labranza. El superfosfato triple se aplicó con la sembradora en los surcos junto con la semilla. El nitrato de Chile se echó a voleo; sin embargo, en el caso del método de siembra modificado, se intentó seguir los surcos (en la siembra) todo lo posible. En la práctica, naturalmente, podría utilizarse un fertilizante mixto de N y P.

Otros detalles

Variedad de trigo. En estos experimentos se utilizó la variedad de trigo "Toquifen" del Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

La siembra se hizo a fines de mayo y principios de junio.

La escarda se llevó a cabo con ésteres del 2-4-D.

Ubicación de los lugares de experimentación de sur a norte:

<u>No. del experimento</u>	<u>Nombre del fundo y departamento</u>	<u>Provincia</u>	<u>Suelos</u>
1	Las Cuevas, La Estrella	Colchagua	Suelo de terrazas, Haploxeralfe
2	La Manga, en el camino de San Pedro a Rapel	Santiago	Suelo de terrazas, Haploxeralfe
3	Los Maitenes, Melipilla	Santiago	Suelo granítico, Rodoxeralfe
4	Santa Rosa, Casablanca	Valparaíso	Suelo granítico, Rodoxeralfe

Pluviosidad. La pluviosidad y las características de las precipitaciones son como las descritas en los experimentos de 1969: 600-700 mm de precipitación anual en el sur (Las Cuevas); 300-400 mm en el norte.

Característica de esta región es la caída de las lluvias de gran intensidad (valores altos del IE, ref. Wislmeier, W.H. 1965) en junio y julio, que, con el tipo actual de manejo del suelo, producen erosión. En la parte septentrional del área (Casablanca) prácticamente no llueve después de agosto, mientras en la meridional el período de lluvias se extiende hasta fines de octubre, como ya se ha indicado.

4.2.2.2.2 Método de siembra x variedad de trigo x fertilización

Proyecto experimental: factorial 2x3x4 con 3 elementos repeticiones (bloques), dispuestos en parcelas dobles divididas en bloques completos aleatorios.

Tratamientos

- a. Método de siembra. Igual que en 4.2.2.2.1.
- b. Variedades del trigo
 - A. Toquifen - variedad semicorta, buena brotadura, resistente al encamado.
 - B. Centrifin - variedad temprana, semicorta, brotadura media, resistente al encamado.
 - C. Huelquen - variedad semialta, brotadura media, no muy resistente al encamado, buen rendimiento en condiciones de humedad favorables.

N.B. Las variedades A y B las obtuvo el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, la variedad C, la Sociedad Nacional Agrícola.

Sin embargo, las tres variedades se obtuvieron en el valle Central de Chile para la agricultura de regadío. En los últimos años, antes de 1970, la variedad Huelquen también fue muy popular entre los cultivadores de trigo de secano del área costera y por ello se incluyó en los experimentos como variedad testigo.

- c. Fertilización. Igual que en 4.2.2.2.1.

Abono básico: 100 kg de P_2O_5 /ha en la siembra.

Cuatro dosis de N, a saber: 0 - 50 - 100 - 150 kg de N/ha.

Ubicación de los experimentos de sur a norte:

<u>No. del experimento</u>	<u>Nombre de la finca y departamento</u>	<u>Provincia</u>	<u>Suelo</u>
5	Las Cuevas, La Estrella	Colchagua	Suelo de terrazas, Haploxeralfe
6	San Enrique, Rapel	Santiago	Suelo de terrazas, Haploxeralfe
7	La Manga	Santiago	Suelo de terrazas, Haploxeralfe
8	Los Maitenes, Melipilla	Santiago	Suelo granítico, Rodoxeralfe

N.B. Debido a las condiciones atmosféricas adversas no se pudo hacer otro experimento de este tipo cerca de Casablanca (Valparaíso).

Resultados y discusión

El experto terminó su misión en Chile a fines de octubre de 1970, por lo que no pudo seguir la última etapa de desarrollo en los experimentos. Sin embargo, cuando se conocieron los datos obtenidos en éstos sobre el rendimiento, se le invitó a pasar una semana en Santiago con el fin de analizar dichos datos.

De este análisis se dedujo lo siguiente:

(Sólo se incluyen los resultados estadísticamente significativos. Algunos experimentos, aunque muy interesantes para las observaciones de campo hechas en el período comprendido hasta octubre de 1970, no tuvieron efectos sobre el tratamiento estadísticamente significativos).

El método modificado de siembra ha sido completamente satisfactorio desde los puntos de vista de la producción y de la conservación del suelo.

Los resultados obtenidos con este método han respondido a lo que se esperaba (véanse Conclusiones en 4.2.2.1).

Los rendimientos no disminuyen por causa del mayor espaciamento entre surcos (véase la gráfica 7) y si se construyen zanjas de desviación del agua a intervalos apropiados en pendientes largas, pueden conseguirse resultados satisfactorios contra la erosión hídrica.

En la gráfica 8, se puede observar la posibilidad de conseguir incrementos del rendimiento muy altos con el empleo de fertilizantes. En la misma gráfica, se expone una estimación de la dosis óptima de fertilizantes nitrogenados.

A causa de los costos directos del cultivo del trigo, el uso de fertilizantes es antieconómico en el supuesto d (véase también la gráfica 6).

En uno de los experimentos (Las Cuevas), la interacción entre el método de siembra y la dosis de fertilizante, y entre el método de siembra y las variedades de trigo fue significativa (gráficas 9 y 10).

De esto parece deducirse que el método de siembra modificado provoca también una mayor respuesta a la fertilización con N. Así ocurre particularmente en el caso de la variedad de trigo Huelquen. Al parecer, el mayor espaciamento y la mayor penetración de la luz resultante contrarrestan el problema del encamado en esta variedad y permiten que la cosecha responda mejor al abono con N.

En el mismo experimento se observó también una interacción significativa entre las variedades y las cantidades de nitrógeno aplicadas (gráfica 11).

Teniendo en cuenta la respuesta media, parece que la variedad Huelquen responde menos a la fertilización con N que las variedades Toquifen y Centrifén. Sin embargo, esto también parece depender del método de siembra.

El subsolado no aumentó los rendimientos ni el efecto de los demás tratamientos, debido probablemente a que las condiciones de humedad fueron más favorables este año. Por consiguiente, hay que poner en duda la economía del subsolado.

Conclusiones:

1. La siembra en surcos profundos con la sembradora John Deere HZ 714 a 35 cm entre aquéllos (o con un equipo semejante) ha dado resultados satisfactorios desde los puntos de vista de la producción y de la conservación de suelos y aguas.

Por ello, debe estimularse la introducción y el empleo de esa sembradora y el método de sembrar a nivel, junto con la excavación de zanjas idóneas de desviación del agua en las tierras de secano de la costa de Valparaíso, Santiago y Colchagua.

2. El uso de fertilizantes nitrogenados y fosfatados juntamente con el método de siembra mencionado y la elección de variedades de trigo apropiadas, permitirá a los agricultores aumentar económicamente los rendimientos del cereal y contribuirá a la conservación del suelo en la zona.
3. De estos ensayos se deduce claramente que la elección adecuada de la variedad de trigo es muy importante.
4. Deben descartarse para el cultivo del trigo los suelos poco profundos.
5. La utilidad del subsolado es dudosa. Al parecer, otras prácticas de labranza como la preparación del suelo con cultivador de rejas estrechas, el dejar los residuos de plantas en la superficie de suelo o la combinación de una labor superficial con rastra de discos con otra del citado cultivador merecen atención en futuros experimentos.

Capítulo 5

RECOMENDACIONES

5.1 LABRANZA DEL SUELO

La reducción de la labranza del suelo, en general, y en los suelos de cenizas volcánicas, en particular, al introducir nuevos conceptos que ponen en tela de juicio la necesidad de esas labores debe ser objeto de ulterior investigación.

Deben efectuarse también investigaciones sobre la comparación entre los aperos de labranza desde el punto de vista económico y sobre sus efectos duraderos de su labor en el suelo mismo.

5.2 ROTACION DE CULTIVOS Y USO DE FERTILIZANTES

El uso de los fertilizantes debe evaluarse tanto por sus efectos inmediatos sobre el rendimiento de los cultivos como por sus efectos acumulativos en un sistema de rotación de cultivos.

Reviste particular interés la determinación del lugar exacto donde han de utilizarse fertilizantes en un sistema de rotación de cultivos.

5.3 MANEJO DE SUELOS EN LAS TIERRAS DE SEGANO DE LA COSTA DE VALPARAISO, SANTIAGO Y COLCHAQUA

El resultado de las investigaciones de campo realizadas en 1969 y 1970 conduce a la conclusión de que las prácticas de manejo de suelos propuestas para esta zona deben ser objeto de una campaña intensiva del servicio de extensión para introducir esas prácticas entre los agricultores.

Tales prácticas comprenderían la modificación del manejo de suelos para el cultivo del trigo, la introducción de sembradoras de cereales del tipo John Deere HZ 714, la utilización de zanjas de desviación de aguas para acortar las pendientes y absorber las repercusiones de las lluvias otoñales intensas.

La mejora de las praderas en la fase pradera de la rotación trigo-pradera.

5.4 CAPACITACION

Por último, y no es esto lo menos importante, los oficiales de extensión agrícola deberán capacitarse en la interpretación de los mapas de posibilidades de aprovechamiento de la tierra y dedicarse a una campaña de enseñanza de los agricultores y a prestar a éstos servicios de asesoramiento para la utilización apropiada de las tierras.

BIBLIOGRAFIA SELECTA

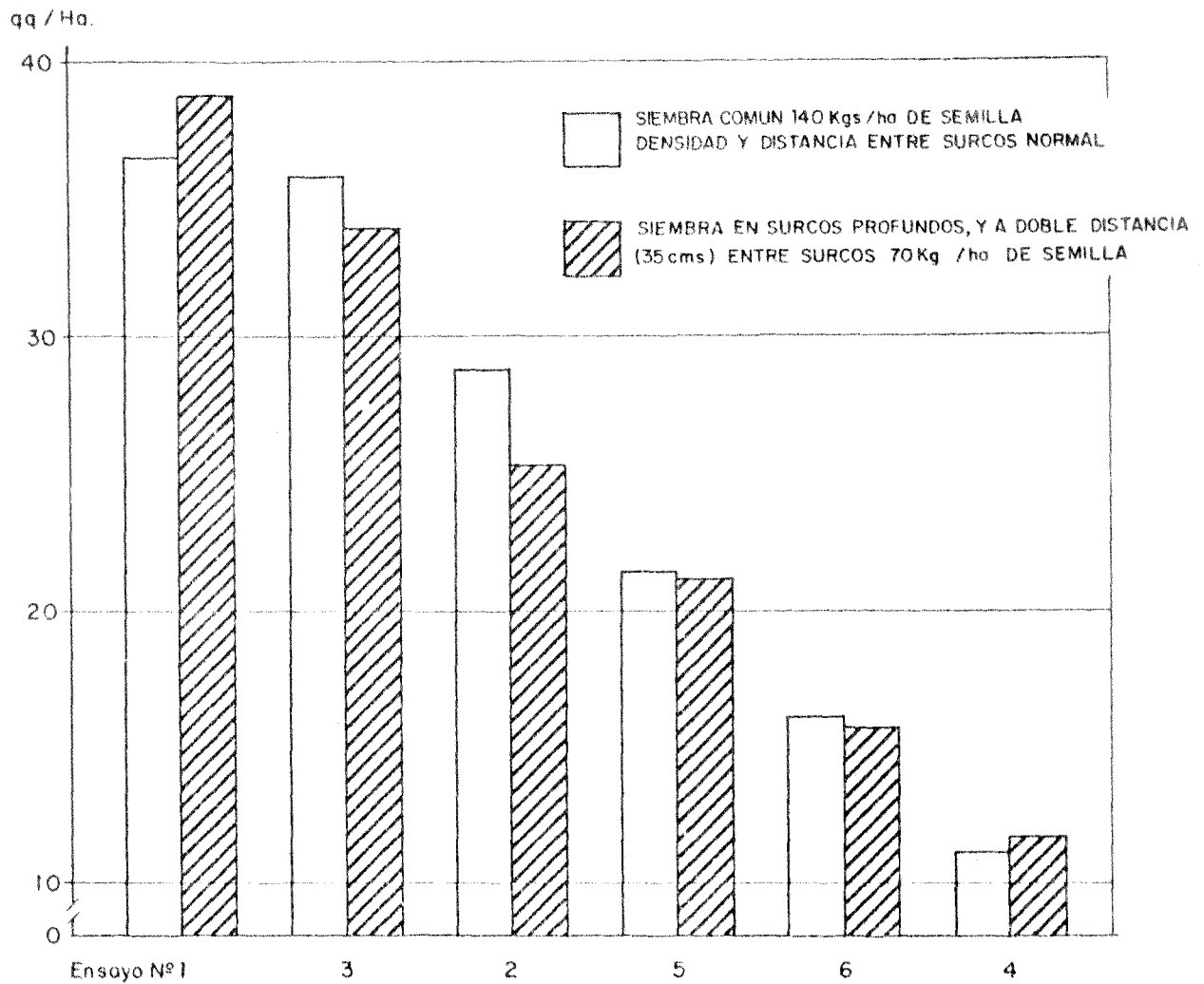
- FAO
1960 Prácticas y máquinas de labranza y siembra para el cultivo de secano en zonas semiáridas. Serie de ingeniería agrícola, 1960. Boletín no oficial de Trabajo N° 8.
- FAO
1965 La erosión del suelo por el agua - Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. FAO: Cuadernos de fomento agropecuario. N° 81.
- International Scientific Conference on the Objectives of Soil Tillage, Netherlands
1962 (Doorwerth), October 2-3, 1962. Neth. J. of Agr. Sci., 11 (2), Special issue 1963.
- Jackman, R. H.
1964 Accumulation of organic matter in some New Zealand soils under permanent pasture. N.Z. Journ. Agri. Res. 7:445-471; 472-479.
- Letelier, E.
1961 100 Ensayos NPK en trigo. Depto. de Investigaciones Agrícolas. Boletín Técnico No. 9, Santiago, Chile.
- Letelier, E.
1961 Uso actual y necesidad potencial de fertilizantes en la agricultura chilena. Agric. Técnica 25:135-154.
- Shear, G. M.
1968 The development of the no-tillage concept in the United States. Outlook on Agriculture, 5(6):247-251.
- Viets, F. G. Jr.
1962 Fertilizers and the efficient use of water. Advanc. Agron. 14 (1962):223-264.
- Wischmeier, W. H.
1960 Relation of field-plot runoff to management and physical factors. Proc. Soil. Sci. Amer. 30:272-277.
- Wischmeier, W. H., and D. D. Smith
1962 Rainfall Erosion, Advanc. Agron. 14:109-148.
- Wischmeier, W. H., and D. D. Smith
1965 Predicting rainfall-erosion losses from cropland East of the Rocky-Mountains. Guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, 1965. Agricultural Handbook USDA 282.

Gráfico 1

TRIGO - 1969

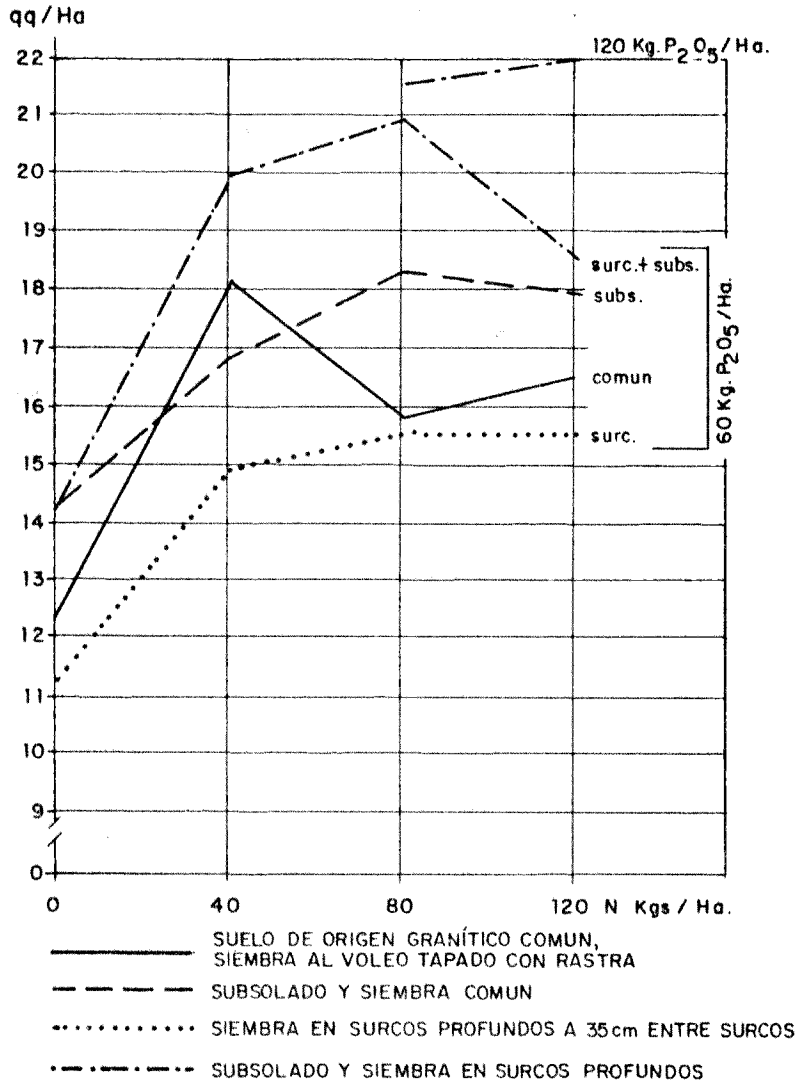
EFECTO DE LA MODIFICACION DE SIEMBRA

RENDIMIENTOS PROMEDIOS:
LAS DIFERENCIAS NO SON ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS.



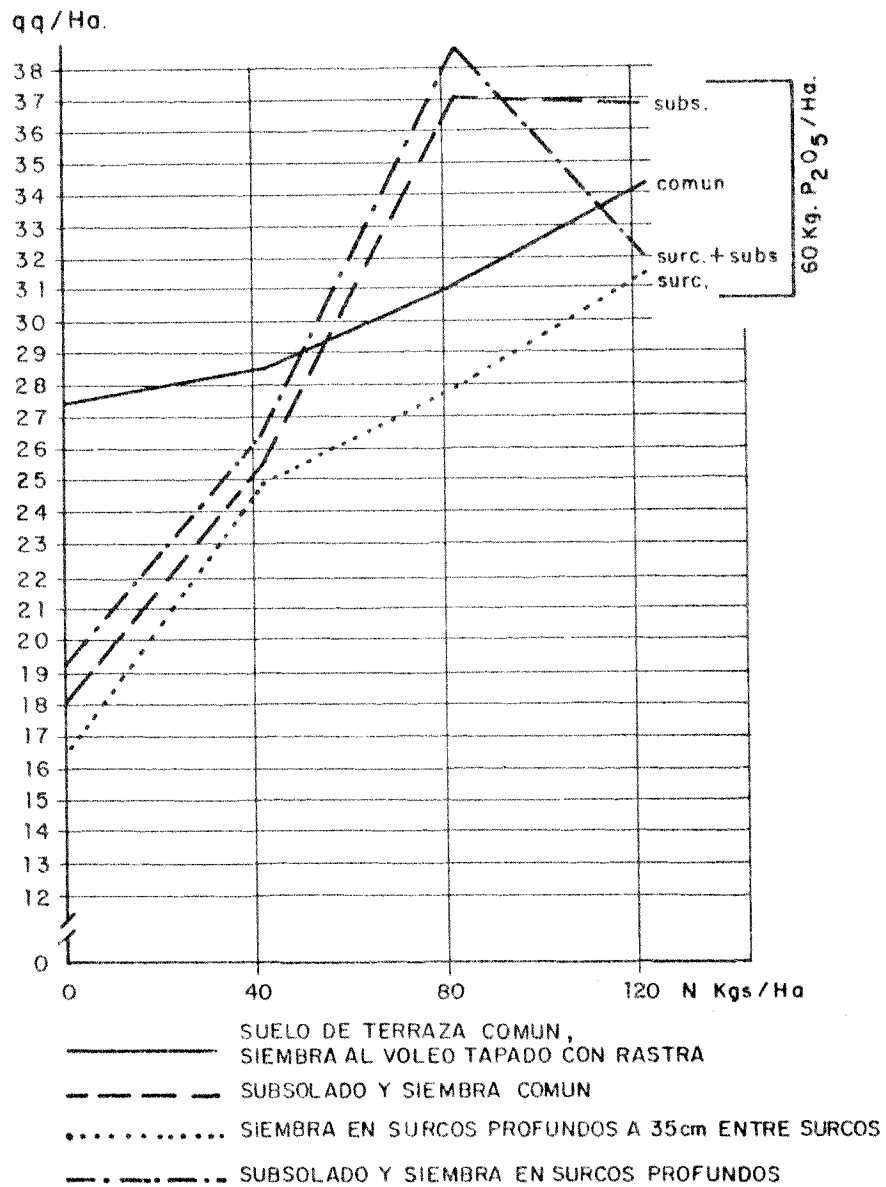
Gráfica 2

TRIGO - 1969
 FDO. ORREGO ARRIBA, CASABLANCA, VALPARAISO
 (ENSAYO Nº 6)
 RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO BAJO
 DIFERENTES MÉTODOS DE MANEJO.



TRIGO - 1969
 FDO. STA. MONICA. ROSARIO DE LO SOLIS, COLCHAGUA
 (ENSAYO Nº 2)

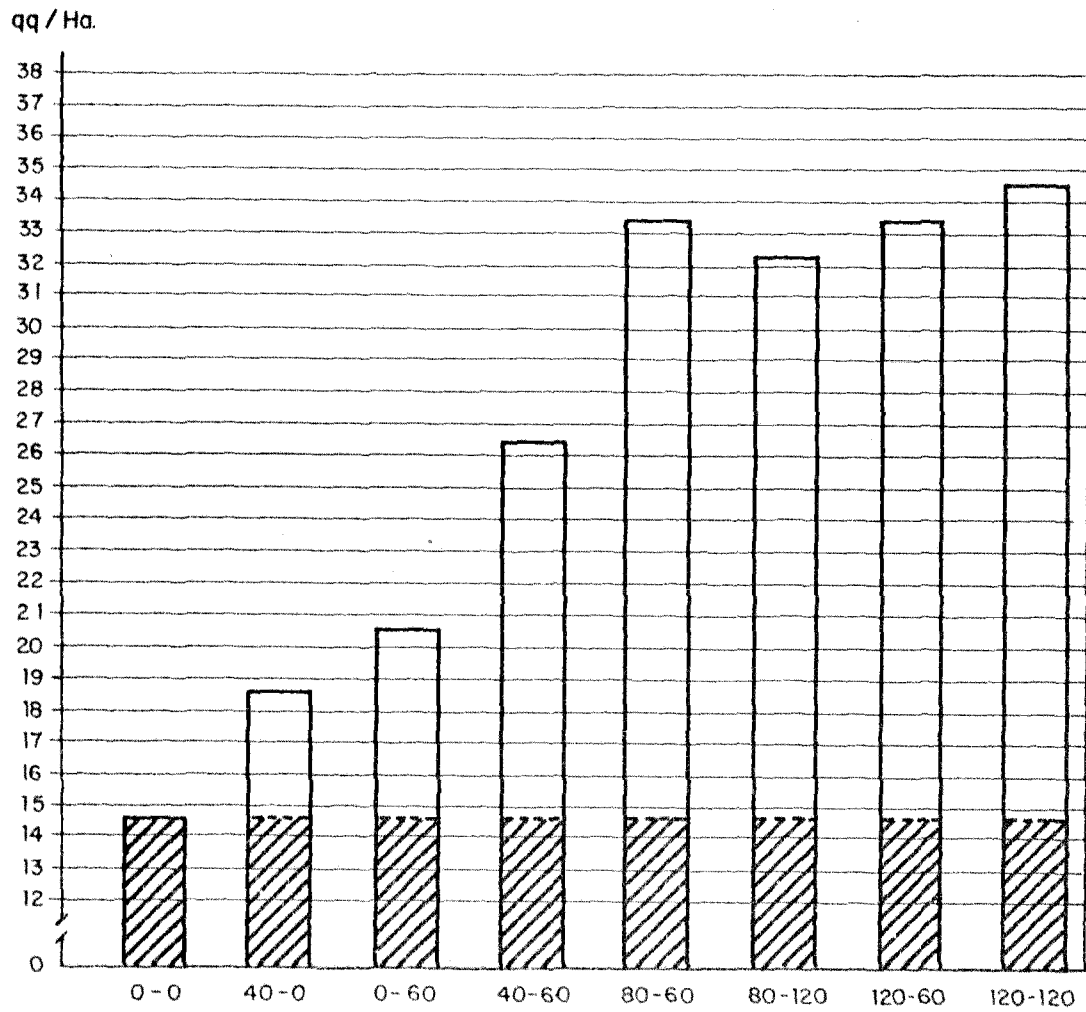
RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO BAJO
 DIFERENTES MÉTODOS DE MANEJO



TRIGO - 1969
FDO. STA. MONICA. ROSARIO DE LO SOLIS, COLCHAGUA
(ENSAYO Nº 2)

Gráfica 4

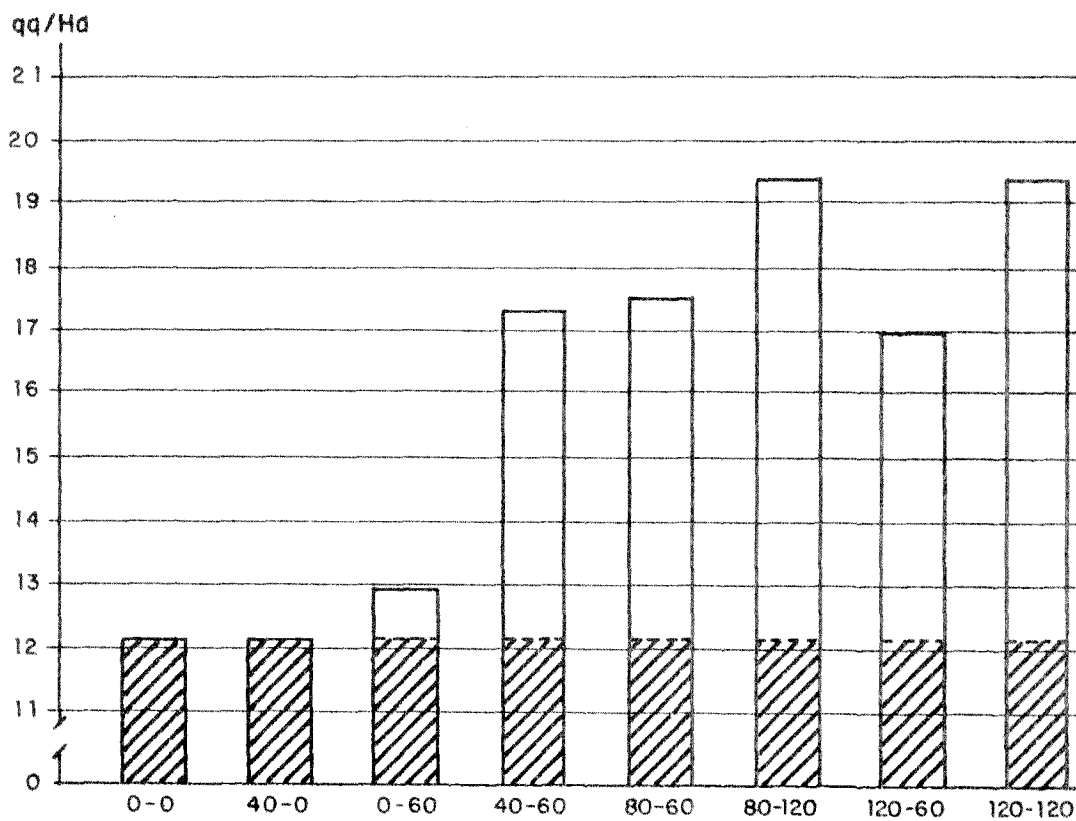
RESPUESTA PROMEDIA A LA FERTILIZACIÓN CON DIFERENTES
COMBINACIONES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO
(N - P₂ O₅ Kg / ha)



TRIGO -1969

FDO. ORREGO ARRIBA, CASABLANCA, VALPARAISO
(ENSAYO Nº 6)

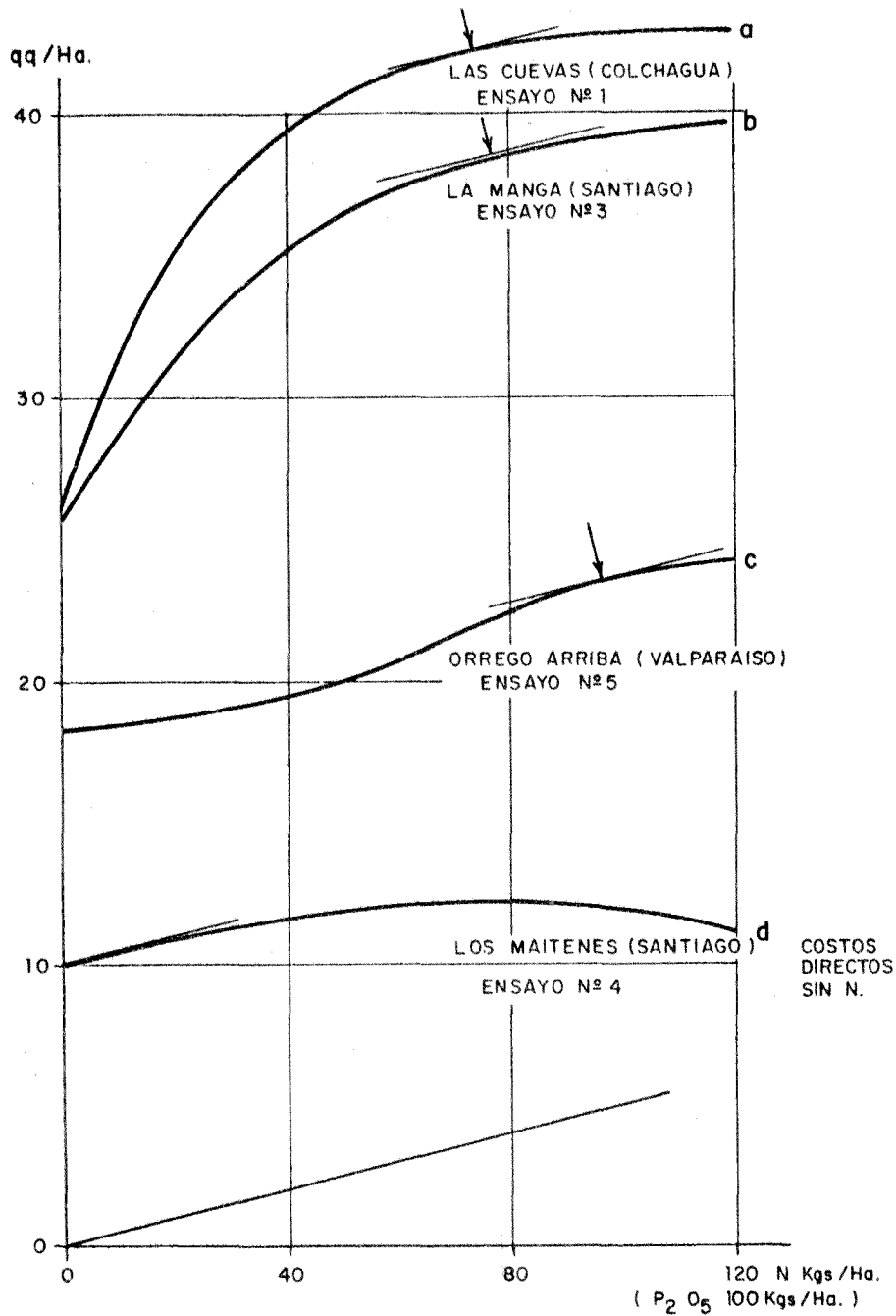
RESPUESTA PROMEDIA A LA FERTILIZACIÓN CON DIFERENTES
COMBINACIONES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO
(N - P₂ O₅ Kg / ha)



TRIGO -1969

RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO EN DISTINTAS
CONDICIONES DE HUMEDAD DISPONIBLE Y LAS CANTIDADES ÓPTIMAS
ECONÓMICAS DE NITRÓGENO APLICADO (↘) PARA LA RELACIÓN

$$\frac{\text{Precio Kg de N}}{\text{Precio Kg de trigo}} = 5$$



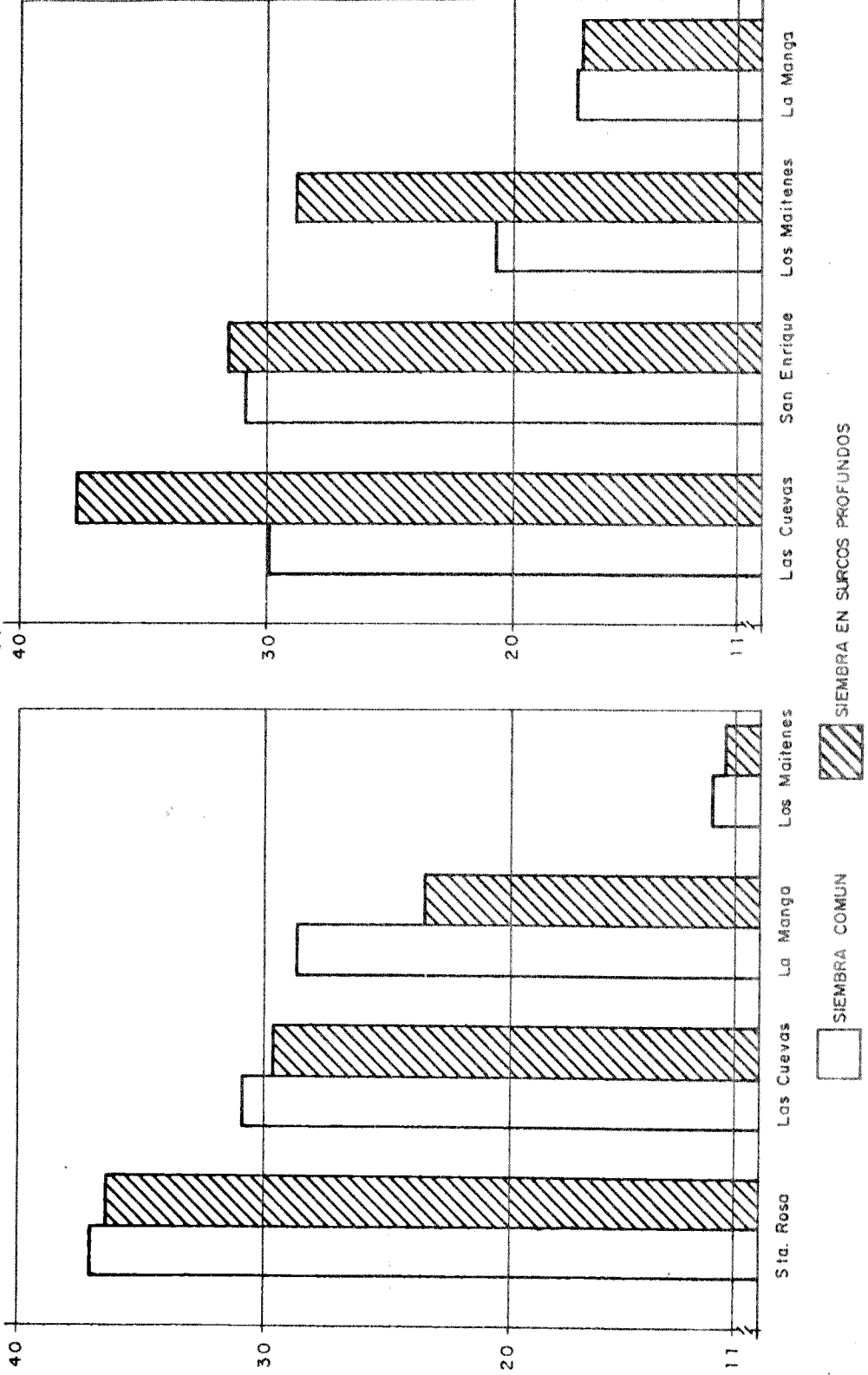
- a. — HUMEDAD NO LIMITANTE
- b. — HUMEDAD ALGO MÁS BAJO AL FINAL DEL DESARROLLO DE LA PLANTA
- c. — HUMEDAD LIMITANTE EN PRIMAVERA
- d. — HUMEDAD LIMITANTE EN PRIMAVERA, ADEMÁS Poca PROFUNDIDAD DE SUELO

Gráfica 7

TRIGO - 1970

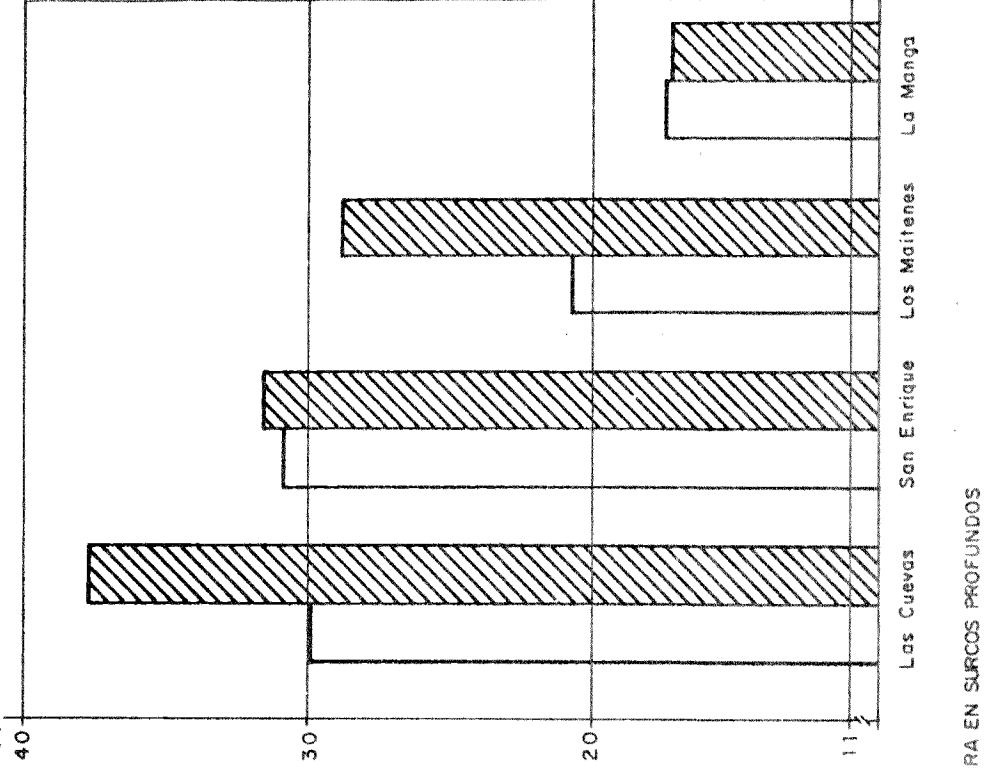
EFFECTO PROMEDIO DEL METODO DE LA SIEMBRA EN SURCOS PROFUNDOS A 35 cms ENTRE SURCOS
 ENSAYO MET. SIEMBRA x SUBSOLADO x FERTILIZACION

qq/Ha



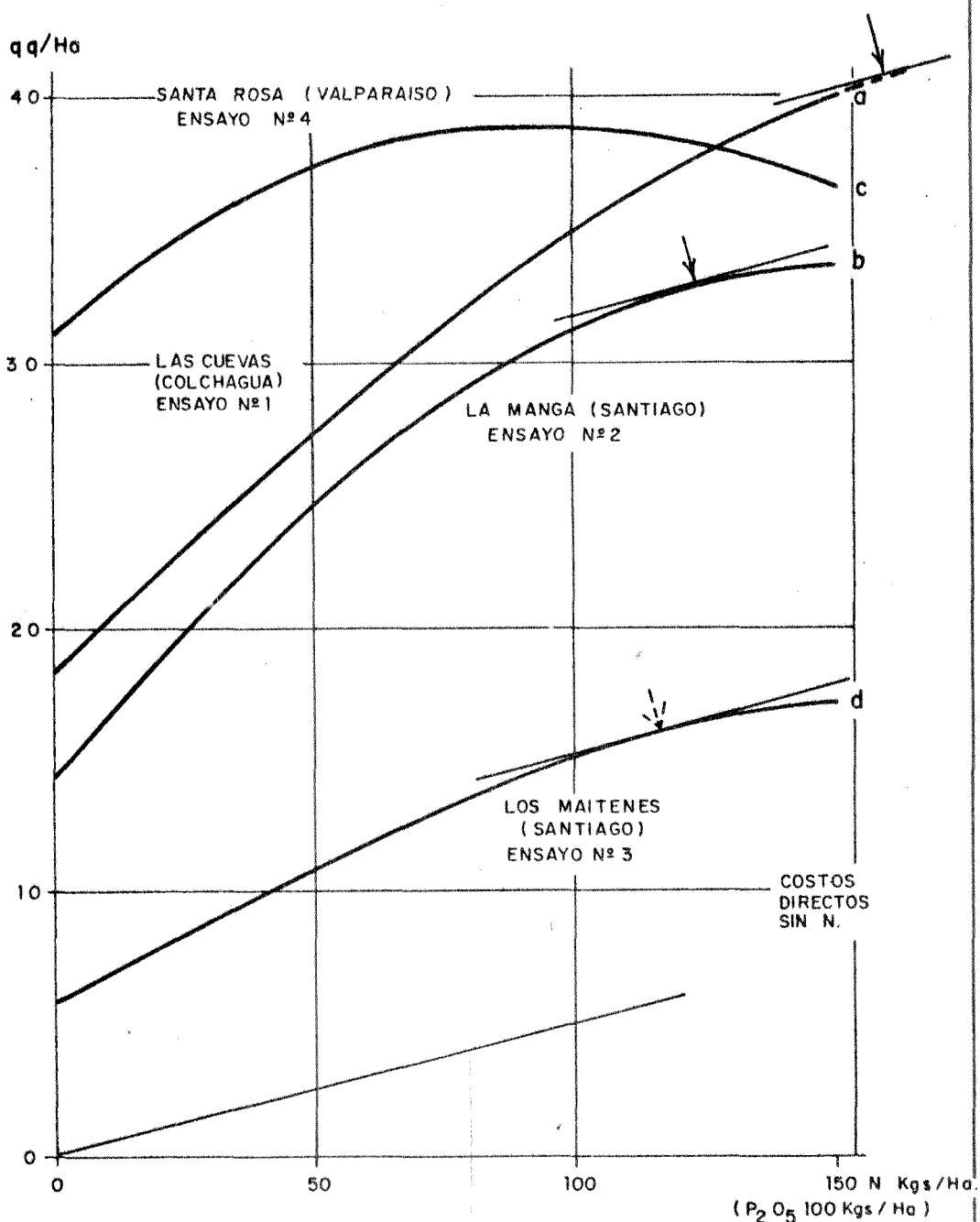
EFFECTO PROMEDIO DEL METODO DE LA SIEMBRA EN SURCOS PROFUNDOS A 35 cms ENTRE SURCOS
 ENSAYO MET. SIEMBRA x VARIETADES x FERTILIZACION (N)

qq/Ha



TRIGO - 1970
 RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO EN DISTINTAS
 CONDICIONES DE HUMEDAD DISPONIBLE Y LAS CANTIDADES ÓPTIMAS
 ECONÓMICAS DE NITRÓGENO APLICADO (↘) PARA LA RELACIÓN

$$\frac{\text{Precio Kg de N}}{\text{Precio Kg de trigo}} = 5$$



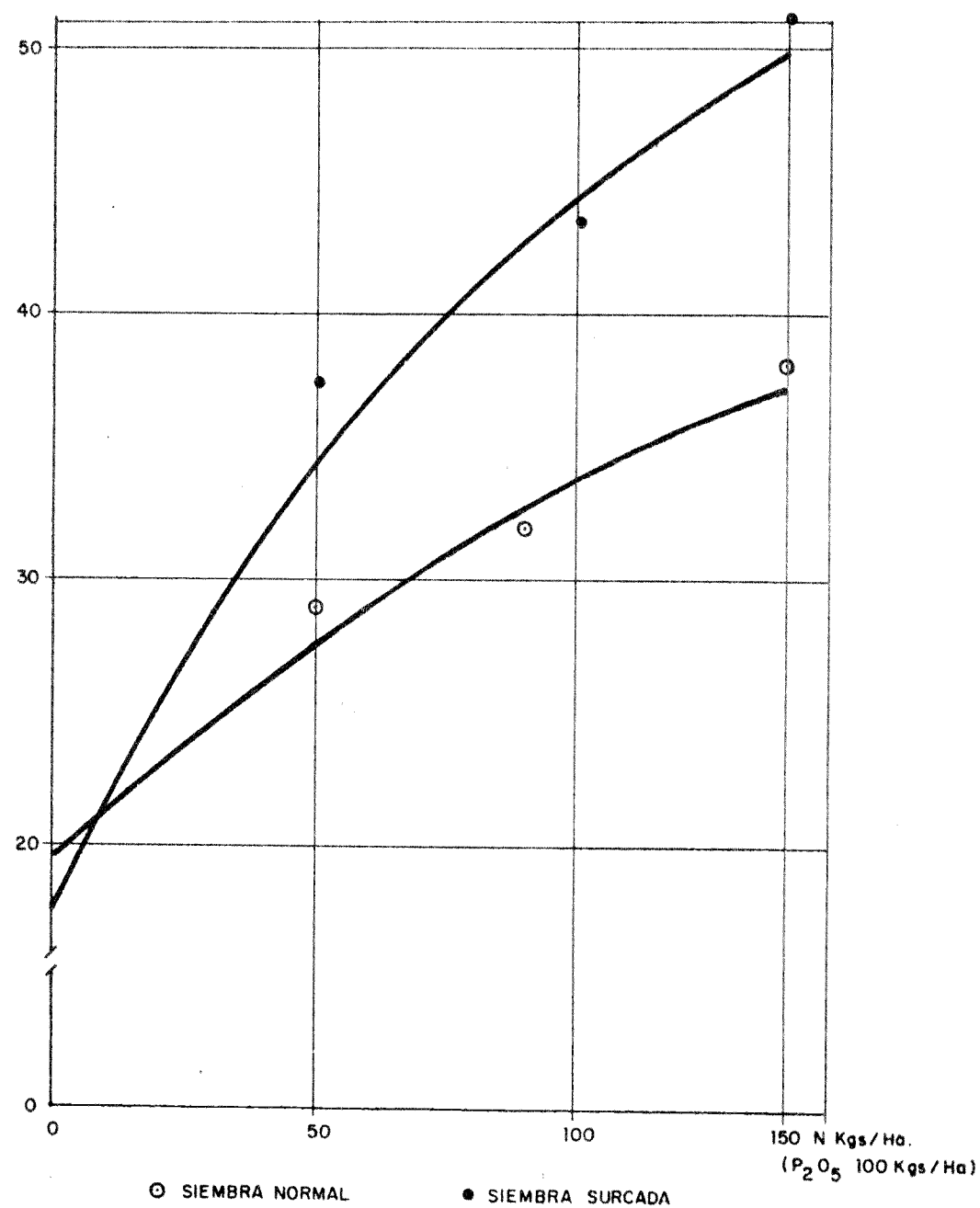
- a. — HUMEDAD NO LIMITANTE
- b. — HUMEDAD ALGO MÁS BAJO AL FINAL DEL PERÍODO DE DESARROLLO DE LA PLANTA
- c. — HUMEDAD LIMITANTE EN PRIMAVERA
- d. — HUMEDAD LIMITANTE EN PRIMAVERA, ADEMÁS Poca PROFUNDIDAD DE SUELO

TRIGO 1970 LAS CUEVAS

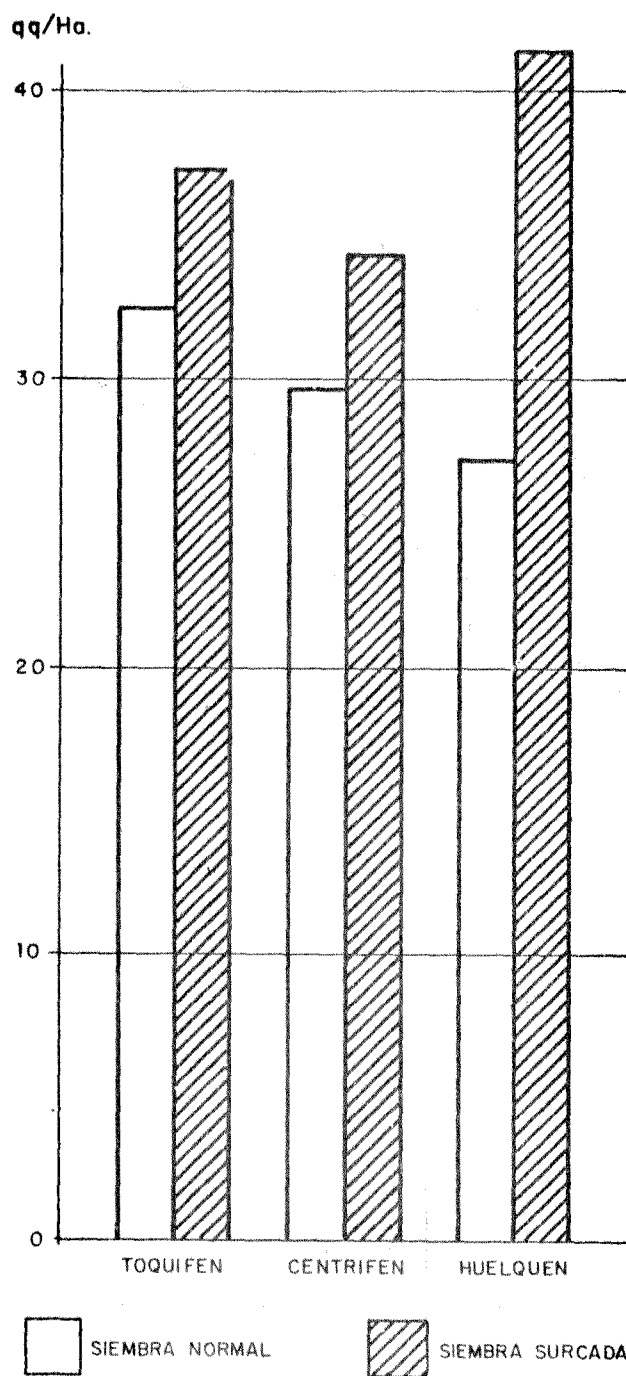
Gráfica 9

RESPUESTA A LA FERTILIZACION CON NITROGENO
PARA DIFERENTES METODOS DE SIEMBRA INTERACCION MET
SIEMBRA x FERT. N.

qq/Ha



TRIGO 1970 LAS CUEVAS

EFECTO DEL METODO
DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO
DE 3 DISTINTAS VARIETADES

TRIGO 1970 LAS CUEVAS

INTERACCION VARIEDAD POR RESPUESTA AL NITROGENO

