



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

ESCUELA DE AGRICULTURA

RESPUESTA DEL TRIGO DE TEMPORAL
A LOS FERTILIZANTES NITROGENADO, FOSFORICO
Y A LA DENSIDAD DE SIEMBRA
EN LA SIERRA TARASCA, MICHOACAN.

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRONOMO
ESPECIALISTA EN SUELOS



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

PRESENTA

LUIS ROBERTO RAMIREZ GUZMAN

GUADALAJARA, JAL.

1982

Las Agujas, Mpio. de Zapopan, Jal. 21 de Septiembre 1982

ING. LEONEL GONZALEZ JAUREGUI
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE AGRICULTURA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del
Pasante LUIS ROBERTO RAMIREZ GUZMAN Titulada:

" RESPUESTA DEL TRIGO DE TEMPORAL A TRES FACTORES DE PRODUCCION
EN LA SIERRA TARASCA."

Damos nuestra aprobación para la im-
presión de la misma.

DIRECTOR

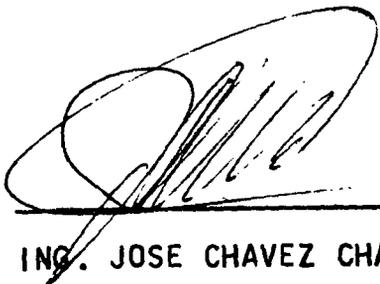


ING. ROGELIO HUERTA ROSAS



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

ASESOR



ING. JOSE CHAVEZ CHAVEZ

ASESOR



ING. SALVADOR MENA MUNGUIA

AGRADECIMIENTOS



A la Escuela de Agricultura de la Universidad de Guadalajara, por la oportunidad para la realización de mis estudios de licenciatura.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas por las facilidades para la realización de la presente tesis.

Al Ing. Rogelio Huerta Rosas por sus valiosas sugerencias y orientaciones que como director de tesis me proporcionó en la realización de este trabajo.

Al M.C. José Chávez Chávez y al Ing. Salvador Mena munguía por sus atenciones, sugerencias y revisión del presente trabajo.

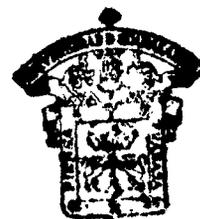
Al Ing. Román de Jesus Barajas Carlos por su desinteresada ayuda y sus valiosos consejos en la realización de esta tesis.

A la Srita. Rosa Martha Suárez C. por su paciente y dedicada labor mecanográfica.

Al profesor José Ma. Morales, por la revisión en la edición del trabajo.

A mi esposa por su constante apoyo en la elaboración y revisión de este trabajo.

A todas aquellas personas que en alguna forma participaron en este trabajo y que involuntariamente dejo de citar.



**ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA**

DEDICATORIA

A LA MEMORIA DE MI ABUELITA LORENZA FERNANDEZ VDA. DE RAMIREZ

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MIS HERMANOS

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

CONTENIDO

	pág.
INDICE DE CUADROS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
I. INTRODUCCION.....	1
II. DESCRIPCION DEL AREA; SU SISTEMAS DE PRODUCCION Y SU TECNOLOGIA.....	4
2.1 El área en estudio.....	4
2.1.1 Localización.....	4
2.1.2 Descripción fisiográfica y geológica.....	4
2.1.3 Vegetación.....	7
2.1.4 Suelos.....	7
2.1.4.1 Suelos Francos.....	8
2.1.4.2 Suelos migajón arcillosos.....	9
2.1.5 Clima.....	9
2.1.6 Superficie de labor.....	12
2.1.7 Cultivos principales.....	12
2.2 Sistemas de producción.....	12
2.2.1 Tecnología.....	14
III. REVISION DE LITERATURA.....	19
3.1 Conclusiones de la revisión de literatura.....	30
IV. OBJETIVO, HIPOTESIS Y SUPUESTOS.....	32
V. MATERIALES Y METODOS.....	34
5.1 Características de los experimentos.....	34
5.1.1 Factores de estudio y espacios de exploración.....	36
5.1.2 Matriz de tratamientos y diseño experimental.....	37
5.2 Trabajos de campo.....	38

	Pag.
5.2.1 Preparación del terreno.....	38
5.2.2 Obtención y análisis de las muestras de suelo.....	38
5.2.3 Antecedentes del terreno.....	42
5.2.4 Siembra de los experimentos.....	42
5.2.5 Observaciones experimentales.....	43
5.2.6 Fenómenos meteorológicos.....	44
5.2.7 Cosecha de los experimentos.....	44
5.3 Análisis de los datos de cosecha.....	45
5.3.1 Cálculo del rendimiento en kg/ha.....	45
5.3.2 Análisis de varianza.....	45
5.4 Determinación de las dosis óptimas económicas.....	46
5.4.1 Método gráfico modificado por Turrent.....	47
5.4.1.1 Determinación de la dosis óptima económica para capital ilimitado.....	53
5.4.1.2 Determinación de la dosis óptima económica para capital limitado.....	58
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	60
6.1 Rendimientos.....	60
6.1.1 Temporal.....	60
6.1.2 Humedad residual.....	60
6.2 Análisis estadístico.....	63
6.3 Respuesta a los factores en estudio.....	63
6.3.1 Humedad.....	65
6.3.2 Temporal.....	68
6.4 Análisis económico.....	74
VII. RECOMENDACIONES DE PRODUCCION.....	78

	pag.
VIII. CONCLUSIONES.....	80
IX. BIBLIOGRAFIA.....	82

INDICE DE CUADROS

CUADRO		Pág.
1	Superficies laborables sembradas de maíz, trigo y en descanso en el área de influencia de la Sierra Tarasca.	12
2	Ubicación de los trabajos experimentales de fertilización en el cultivo del trigo, en la Sierra Tarasca.	35
3	Total de tratamientos ensayados en los experimentos de trigo ciclo primavera-verano 1980.	39
4	Características físicas y químicas del suelo (0-30 cm) en los sitios donde se condujeron los experimentos.	41
5	Aplicación del método de Yates a los ocho tratamientos del cubo del experimento 06.	49
6	Ingreso neto (IN) y tasa de retorno (TR) para los tratamientos estudiados en el experimento 06.	55
7	Rendimientos experimentales de trigo al 12% de humedad para los tratamientos estudiados en suelos de temporal. Ciclo P-V 1980.	61
8	Rendimientos medios experimentales de trigo al 12% de humedad para los tratamientos estudiados en suelos de humedad residual. Ciclo P-V 1980.	62
9	Análisis de varianza para los experimentos de trigo, conocidos en suelos de temporal y humedad residual. Ciclo P-V 1980.	64
10	Efectos factoriales medios obtenidos mediante el Código de Yates para los factores de estudio, en los experimentos de humedad residual. Ciclo P-V 1980.	66
11	Efectos factoriales medios obtenidos mediante el Código de Yates para los factores de estudio, en los experimentos de temporal. Ciclo P-V 1980.	70
12	Tratamientos óptimos económicos (TOE) de nitrógeno, fósforo y densidad de siembra, obtenidos para cada sitio experimental en el sistema de producción de temporal. Ciclo P-V 1980.	76
13	Tratamientos óptimos económicos (TOE) de nitrógeno, fósforo y densidad de siembra, obtenidos para cada sitio experimental en el sistema de producción de humedad residual. Ciclo P-V 1980.	77

INDICE DE CUADROS

CUADRO		Pág.
14	Alternativas de fórmulas de producción promedio para los sistemas agrícolas de temporal y humedad residual. Ciclo P-V 1980.	79

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		Pág.
1	Localización del área de la Sierra Tarasca.	5
2	Localización del sistema de producción de temporal y de sus sitios experimentales.	15
3	Localización del sistema de producción de humedad residual y de sus sitios experimentales.	16
4	Representación gráfica de la matriz Plan Puebla II, para tres factores: Dosis de fertilización nitrogenada, fósforica y semilla.	37
5	Representación gráfica de la respuesta del trigo a N, P_2O_5 y DS, solución gráfica de la DOECI para el experimento 06.	57
6	Representación gráfica de la respuesta promedio del trigo a N, P_2O_5 y DS, solución gráfica de la DOECI para los experimentos de humedad residual.	69
7	Representación gráfica de la respuesta promedio del trigo a N, P_2O_5 y DS, solución gráfica de la DOECI para los experimentos de temporal.	73

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió la respuesta de diferentes niveles de fertilización y densidad de siembra para el cultivo del trigo, en la parte NW del estado de Michoacán, que corresponde a la región conocida como "Sierra Tarasca".

El objetivo de este estudio fue encontrar las dosis óptimas económicas para los sistemas de producción de humedad residual y temporal.

De acuerdo con la situación productiva de la región, con los problemas detectados y con la revisión bibliográfica, las hipótesis que se plantearon fueron las siguientes:

- a) Los nutrimentos nitrógeno, fósforo y la densidad de siembra, son factores que limitan la producción del trigo en la mayoría de las condiciones de producción del área.

- b) El incremento en la productividad del trigo expresado en rendimiento de grano, como respuesta a estos factores, está relacionado con el genotipo usado con la competencia, con las malezas, con la posición fisiográfica, con los elementos del clima y con las propiedades físicas y químicas del suelo.

Para probar estas hipótesis se consideraron los siguientes supuestos:

- a) Dejando constantes los demás factores controlables de la produc-

ción, al variar simultáneamente la dosis de nitrógeno, fósforo y densidad de siembra, puede explorarse una gran parte de la capacidad productiva del sistema.

- b) En el espacio de exploración estudiado se encuentra la dosis óptima económica de nitrógeno, fósforo y densidad de siembra, que permite llevar económicamente la producción de trigo hasta un nivel intermedio entre la producción actual y la potencialidad ecológica conocida.
- c) La selección de los sitios experimentales capta la variabilidad regional de los factores inmodificables de la producción.

Para probar las hipótesis planteadas se emplearon seis experimentos de campo, establecidos en 1980 por investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) en parcelas de agricultores cooperadores de la Sierra Tarasca.

Para la selección de los sitios experimentales, se tomaron en cuenta los siguientes criterios: que los sitios experimentales representaran la variabilidad de los factores no modificables de la producción en la región, y que quedaran ubicados en municipios productores de trigo, o con potencialidad para ello, y que además presentaran facilidad de acceso.

Los factores estudiados fueron niveles de nitrógeno, fósforo y densidad de siembra, con los espacios de exploración siguientes:

- N. De 0 a 200 kg/ha
- P₂O₅. De 0 a 100 kg/ha
- DS. De 80 a 200 kg de semilla/ha

La definición de los tratamientos se hizo de acuerdo a la matriz Plan Puebla II para 3 factores, que da un total de 15 tratamientos, más cinco tratamientos adicionales que fueron: 16, tratamiento potencial; 17, testigo absoluto; 18, tratamiento recomendado por el Patronato Estatal de Fertilización; 19, testigo P₂O₅, y 20, testigo nitrógeno.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con seis repeticiones, excepto el experimento de Napízaro (05), que tuvo 4.

El tamaño de la parcela experimental, en todos los casos, fue de seis surcos de 5m de largo, separados entre sí 30 cm. La parcela útil constó de los cuatro surcos centrales.

Previamente al establecimiento de cada uno de los lotes experimentales, se tomaron muestras de suelos a 30 cm de profundidad, las cuales se transportaron al laboratorio de química de suelos del Campo Agrícola Experimental de El Bajío, en donde después de haberse secado al aire y tamizado en una malla de 2 mm, se les practicaron los siguientes análisis: textura, materia orgánica, N, total, P asimilable, K, Ca y Mg asimilables, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico.

Con los datos de rendimiento ajustado, en primer lugar, se llevó a cabo el análisis de varianza a nivel experimento para conocer los efectos de repeticiones y tratamientos.

Para detectar que tratamiento le convendría al agricultor monetariamente, se utilizó el método gráfico modificado, el cual determinó las dosis óptimas económicas para capital ilimitado (DOECI), y la DOE para capital limitado (DOECL).

Esta modificación al método gráfico original se hace con el objeto de aumentar la precisión en la determinación de la DOE, y consiste en combinar la técnica de Yates, citada por Turrent, la cual analiza los efectos factoriales totales, en este caso N, P_2O_5 , DS y sus interacciones. Identifica además si existe significancia para los mismos y luego pasa al método gráfico que determina la DOE por medio de la construcción del triángulo constituido con la relación costo del insumo/valor del producto.

El análisis económico se practicó a aquellos tratamientos en los que su efecto factorial resultó significativo; en los casos en que este efecto no fue significativo dentro del cubo, se procedió a comparar los rendimientos medios de las prolongaciones del factor no significativo, con los tratamientos medios del cubo que tengan niveles de los factores significativos similares a las prolongaciones. Esta prueba de comparación de medias se hizo mediante el valor de la diferencia mínima significativa al 5%, y en aquellos experimentos que mostraron significancia en rendimiento a estas pruebas, se hizo de acuerdo con la técnica descrita en materiales y métodos.

La DOECI obtenida por medio del análisis económico se aproximó a la DOECI obtenida por medio del método gráfico, en aquellos experimentos en que las curvas lo permitían, o sea, cuando presentaron un máximo de rendimiento o DOF.

El tratamiento óptimo económico para capital ilimitado fue aquél que presentó el ingreso neto más alto, y para capital limitado el que tuvo la tasa de retorno al capital variable más alta.

Las gráficas de respuesta de la variable rendimiento de grano indicaron que la respuesta a los factores estudiados en humedad residual fueron: nitrógeno, hasta 130 kg/ha, fósforo a 90 kg/ha, y densidad de siembra a 160 kg de semilla/ha. Mientras que en los suelos de temporal la respuesta a nitrógeno fue hasta 130 kg/ha, fósforo a 65 kg/ha, y densidad de siembra a 150 kg de semilla/ha.

En los resultados de los análisis químicos pudo encontrarse, de acuerdo a la revisión bibliográfica, que el análisis de P dio un buen indicio de la respuesta esperada al fertilizante fosfórico en los suelos de humedad residual.

Las discusiones, recomendaciones y conclusiones de este trabajo se dan en los capítulos correspondientes.

I. INTRODUCCION

El trigo es una planta que se adapta desde la proximidad del Ecuador hasta los 60° de latitud norte y 40° de latitud sur y de 0 a 3,500 m de asnm, por lo que su cultivo se realiza en una gran variedad de climas (22).

En México este cereal es el segundo en importancia después del maíz. Su importancia estriba en su superficie sembrada, valor de su cosecha y en su vigor nutritivo, ya que forma parte integral de la dieta del pueblo; proporciona el 13.4% de calorías y el 12.77% de proteínas, de las cantidades requeridas por una persona adulta.

En el año de 1981 se sembraron, a nivel nacional, aproximadamente 727,000 hectáreas (12), con un volumen de producción de 2'600,000 toneladas; de la superficie sembrada correspondieron a Michoacán 40,700 ha* que equivalieron al 5.60% del total sembrado, lo que representó un volumen de 143,760 ton que correspondieron al 5.53% de la producción nacional.

Las necesidades de trigo, a nivel estatal, considerando que existen 3 millones (17) de habitantes con un consumo anual per cápita de 55 kg, son de 165,000 ton, y dado que se producen 143,760 ton, el déficit de este grano es de 21,240 ton aproximadamente. Por tanto, es de vital importancia realizar investigación en este cultivo, con el fin de aumentar su superficie de siembra y el rendimiento por ha.

* Fuente. Planeación Agrícola del Estado de Michoacán.

De esas 40,700 hectáreas sembradas de trigo en el estado, 27,000 correspondieron al sistema de producción de riego, 11,700 al de temporal y 2,000 al de humedad residual, cuyos rendimientos medios fueron de 4.5, 1.8 y 0.6 ton/ha, respectivamente.

De la superficie sembrada de temporal anteriormente mencionada, el 57% (6,700 ha)* queda enmarcado dentro de la Sierra Tarasca, distribuido principalmente en los municipios de Villa Escalante, Cherán, Ario de Rosales, Tingambato, Los Reyes, Charapan, Tancítaro, Nahuatzen, Zitácuaro y Pátzcuaro, en donde los factores causantes de los bajos rendimientos, por orden de importancia, son:

1. Uso de variedades inadaptadas o de baja capacidad para producir.
2. Deficiencia nutricional causada por fijación de fósforo y/o toxicidad de aluminio.
3. Uso inadecuado de fertilizantes y semillas
4. Combate deficiente de malezas.
5. Ataque de enfermedades fungosas en la hoja (*Septoria tritici*, *Puccinia recondita*) y en la espiga (*Septoria nodorum*, *Fusarium roseum*).
6. Combate deficiente de roedores como la tuza.
7. Escaso o nulo uso de maquinaria para realizar la siembra y la cosecha.
8. Daño por heladas tempranas

Debido a los problemas antes descritos, la investigación agrícola regional trata de contrarestarlos por medio de realizar selección de variedades

*Fuente. *Distritos de Temporal*

con buena capacidad de rendimiento y resistentes a las enfermedades fungosas, y con la determinación de dosis óptimas de insumos, generar una tecnología que incremente los ingresos netos del agricultor, así como la producción de este cereal en el Estado.

Cabe hacer mención que al momento de contar con una técnica de producción adecuada, aunada a un efectivo apoyo institucional, la superficie de siembra de este cultivo podría aumentarse considerablemente en las partes altas de la Sierra (Meseta Tarasca), dado que en ella existen aproximadamente 50,000 ha que se siembran de maíz un año y se dejan "descansar" otro (año y vez), lo que significa una buena práctica de rotación y facilita que estas extensiones se cultiven "año con año", siguiendo la rotación maíz-trigo-maíz-trigo. La diferencia entre la producción actual y la potencial representa un total de por lo menos 65,000 ton anuales de trigo, que hasta ahora no se cosechan.

Por otro lado recientemente, se ha considerado factible producir en el área del eje neovolcánico (que comprende parte de los estados de Colima, Michoacán, Jalisco, Puebla, México, Veracruz y Oaxaca) del 30 al 50% del trigo que el país requiere para su consumo, con sólo optimizar el uso de insumos y liberar variedades resistentes a las enfermedades fungosas, que su sistema de raíces esté adaptado para absorber nutrientes de suelos ácidos y/o con exceso de aluminio.

De esta manera, las áreas de riego que tiene México se podrían dedicar a producir en mayor escala cultivos como soya, sorgo, ajonjolí, frijol y cártamo, ya que éstos son menos adecuados para desarrollarse en esta área con suelos de origen volcánico reciente.

II. DESCRIPCION DEL AREA; SUS SISTEMAS DE PRODUCCION Y SU TECNOLOGIA

2.1 El área en estudio

2.1.1 Localización

De acuerdo con Robert C. West, citado por Cortés (4), la formación orográfica conocida como "Sierra Tarasca" (ST), está situada al NW del estado de Michoacán y está comprendida entre los 19°15' y 19°45' de latitud norte y los 101°20' y 102°30' de longitud oeste de Greenwich. Su extensión es de aproximadamente 3,500 km². Su principal cultivo es el maíz, ya que se siembran anualmente 60,000 ha. (Fig. 1).

2.1.2 Descripción fisiográfica y geológica

La región en estudio se encuentra ubicada en la provincia fisiográfica denominada, eje neovolcánico. El paisaje está formado principalmente por laderas, colinas someras, pequeños valles planos de ceniza consolidada y no consolidada, escoria y otras eyecciones volcánicas. Es común encontrar conos de escoria volcánica reciente, malpaíses y pendientes escalonadas de volcanes compuestos del terciario. Estas geoformas son producto del vulcanismo del terciario y cuaternario. Los conos de ceniza y flujos de lava representan las formas más jóvenes, cuya edad se remonta al pleistoceno.

Uno de los rasgos físicos más característicos de la zona es el escaso número de arroyos y lagos permanentes.

La superficie volcaniporosa absorbe rápidamente la mayor parte de hu-

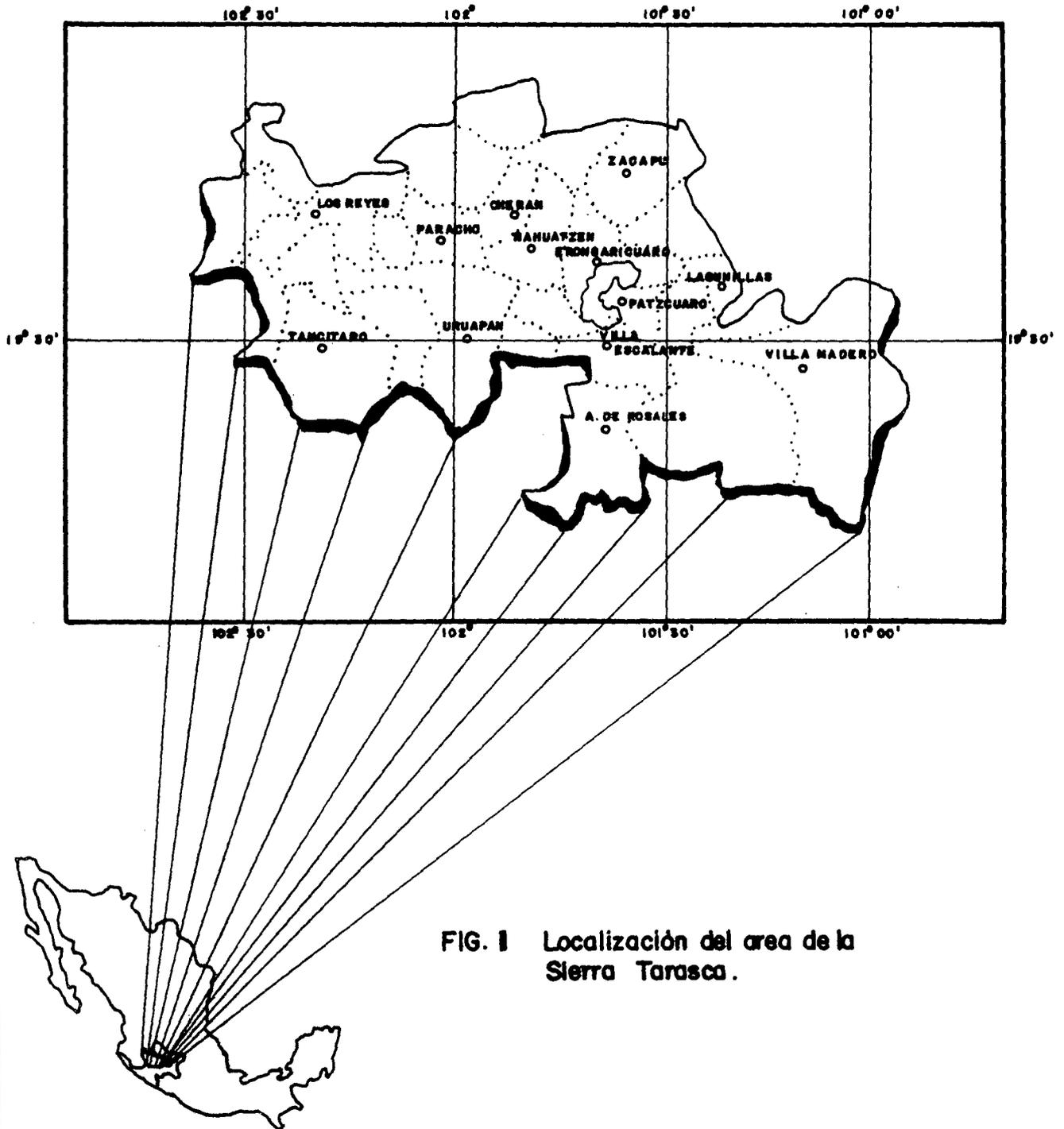


FIG. 1 Localización del area de la Sierra Tarasca.

medad disponible. Las alturas del área agrícola fluctúan entre los 2,000 y 2,800 msnm.

En el área predominan rocas de composición intermedia y básica con respecto a Dióxido de silicio SiO_2 , como son:

a) Basaltos. Roca ígnea básica; contiene menos de 50% de SiO_2 ; generalmente es de color oscuro. Su modo de ocurrencia es extrusivo, debido a que su localización durante el tiempo de formación fue en la superficie o cerca de ésta, lo que ocasionó que se formara por procesos de enfriamiento relativamente rápido, por lo que contiene un grano fino (del tamaño de los cristales de azúcar), o una textura vitrea.

La composición de esta roca es la siguiente: plagioclasas, silicatos Na, Ca y Al; anfíboles y piroxenos, silicatos complejos principalmente de Ca, Fe, Mg y Al, y en menores cantidades contiene olivinos, silicatos de Mg y Fe.

b) Andesitas. Roca ígnea básica extrusiva; compuesta principalmente por feldespatos alcalinos o alumino-silicatos, con bases de K, Na y Ca; plagioclasas, anfíboles y piroxenos, y su constituyente principal las micas: hidrosilicatos de K, Mg, Fe y Al.

c) Brecha volcánica. Roca sedimentaria clástica (fragmental); ha sido formada a través de medios físicos o mecánicos. Los sedimentos o fragmentos de las rocas ígneas intemperizadas son consolidados por efectos de la presión y la infiltración del material cementante. Los principales sedimentos de las rocas clásticas varían notablemente en tamaño, y los agentes cementantes pue-

den ser arcilla, óxido de Fe, sílice, Al, Mn o CaCO_3 , por tanto los fragmentos minerales formados son angulares y mayores de 2 mm de diámetro; su composición química depende del tipo de roca y del agente cementante presente.

2.1.3 Vegetación

La vegetación asociada al clima y precipitación descritas corresponde a un bosque de pino-encino que cubre casi toda el área en estudio, y solamente se encuentran pequeñas poblaciones de bosque de abeto a la altura de San Gregorio y Cruz Gorda.

Entre las especies de pino se mencionan como principales, las siguientes: pino chino (*Pinus leiophylla*), (*P. michoacana* var. *comuta*); *P. tecote*; *P. pseudostrubus* y *P. oocarpa*. Y de encino, las más comunes son: *Quercus fulva*; *Q. acuminata*; *Q. circinata*, *Q. laxa*; *Q. crassipes*; y *Q. pandurata*. Como especies menores se encuentran: capulín (*prunus spp*) zarzamora (*rubus sp*) dife^{re}ntes laureáceas, hidrófitas, tejocote (*Crateagus spp*), etc. los pinos y encinos (5) forman la asociación predominante; sin embargo, en la generalidad de la región las coníferas dominan fuertemente a los encinos, sólo en las partes más bajas los encinos dominan sobre los pinos. Existen otras asociaciones pero son de menor importancia por la localización específica y el área que ocupan.

2.1.4 Suelos

a) Puesto que la investigación se hizo en dos sistemas de producción: temporal y humedad residual, los cuales fueron diferenciados originalmente entre

otros por la morfología y propiedades de sus suelos. Se da a continuación la descripción de cada uno de ellos.

2.1.4.1 Suelos francos

Este tipo de suelo es el que predomina en la Sierra Tarasca; se han formado a partir de material volcánico del terciario (4); son suelos que debido a los factores ecológicos que aceleran la alteración y permiten una hidratación y una liberación rápida de los silicatos preexistentes en la roca madre, poseen alto contenido de geles amorfos en su fracción mineral tales como alófano cuya relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ varía entre 0.5 y 1.3, pero puede ascender hasta 2.42. En el cual los tetraedros de silice y los octaedros de alumina se disponen irregularmente y en ocasiones mezclados con otros tetraedros, geles de alumina, polimerizados y geles de fierro y silicio (7), compuestos que determinan el pH ácido. Su principal defecto químico reside en la precipitación y fijación poco reversible de los iones fosfato por la alumina lo cual origina una carencia frecuente en fósforo. Internacionalmente se le conoce como suelos de Ando, y de acuerdo a la clasificación de la 7a. aproximación, se enmarcan dentro del orden Inceptisol, suborden Andéptico, con el gran grupo Durandéptico.

En estos suelos predominan las texturas medias con tendencia hacia gruesas, por lo que son altamente permeables; se encuentran en las partes altas y en los valles de la Sierra; localmente se les conoce como "suelos tupuri"*. Su color va de café a oscuro, con predominio de colores oscuros debido a su

*Del p'urhépecha; viene de tupuni (podrón).

origen geológico y a su contenido de materia orgánica. Como consecuencia de ello, los suelos tienen una regular capacidad de intercambio catiónico, reflejan una alta fertilidad natural, excepto en fósforo, lo que los limita para su explotación agrícola.

En estos suelos la textura de la capa superior es fina, y al secarse, actúa como aislador, con lo que se evita la evaporación de la parte interior del suelo.

Esta característica es lo que permite que en abril y mayo, casi al final de la estación seca, el suelo esté bien humedo a 10 cm de profundidad. No obstante, sus características físicas permiten que el suelo sea fácilmente erosionable.

2.1.4.2 Suelos migajón arcillosos

b) Este tipo de suelos ocurre en las partes bajas; ribera del lago de Pátzcuaro y el corredor Pátzcuaro-Morelia; son suelos aluviales con una capa superficial parcialmente compuesta de ceniza volcánica gruesa, por tal motivo se les llama localmente de cascajo. Presentan además un incremento en el contenido de arcilla lo que les confiere una alta capacidad de intercambio catiónico y el nombre de "charanda". Internacionalmente se les conoce como suelos faeosems (7).

2.1.5 Clima

El clima predominante corresponde a los tipos Cwb Koppen, que equivalen

al clima de tierras frías por los tarascos. Tomando la modificación que hizo Enriqueta García en 1964 al mismo sistema de Koppen (8), el clima de la Sierra Tarasca es C (w2)(W) b (e) g. Donde los símbolos significan lo siguiente:

C(w2): El más húmedo de los subhúmedos, con lluvias en verano, y un cociente de precipitación-temperatura mayor que 55.

(w): Con porcentaje de lluvia invernal mayor que el 5% de la total anual.

b. Templado con verano fresco y largo; temperatura media anual de 12°C a 18°C, temperatura media del mes más frío entre -3°C y 18°C, y temperatura media del mes más caliente entre 6.5 y 22°C.

(e) La oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es extrema y varía entre 7° y 14°C.

g. El mes más caliente del año es mayo.

La precipitación en el área, como en la mayor parte de México, es estacional; el 80% de la total cae principalmente en forma de chubascos convencionales en los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Las lloviznas por periodos de 3 a 4 días son comunes, lo que manifiesta un origen ciclónico local. Ocasionalmente, durante los meses de diciembre y enero, ocurren lluvias ligeras que se conocen con el nombre de "cabañuelas". La precipitación media anual en la zona es de 1,000 mm en temporal y 1,250 mm en humedad residual.

Las granizadas ocurren con una frecuencia de 1-4 por año, principalmente en los meses de mayo a agosto.

Otros fenómenos meteorológicos que se presentan en el área son vientos fuertes, con mayor frecuencia en los meses de septiembre, octubre, febrero y marzo.

En promedio se presentan de 5 a 60 heladas por año, por arriba de la cota de 2,000 msnm, con mayor frecuencia durante los meses de diciembre y enero.

En general la radiación solar es intensa sobre todo en la periferia norte del área, centro y partes altas de las montañas, se presentan de 2,200 a 2,800 horas de insolación al año.

La luminosidad es alta en invierno y de media a escasa en verano. En la parte central y sur se presentan de 50 a 200 días nublados al año; de junio a octubre más de 20 días nublados por mes, y de noviembre a mayo menos de 10 días nublados por mes.

La ocurrencia común de radiación de neblina es alta en los valles bajos, desde finales del verano hasta el inicio del invierno. Se forman en las primeras horas de la mañana (después de la 1 a.m.), y se evapora al mediodía. Su presencia baja las temperaturas medias diarias y previene la evaporación rápida de la humedad superficial.

La humedad relativa es elevada en toda la zona, por lo que se favorece el desarrollo de plantas epífitas, así como el ataque de enfermedades fungosas.

2.1.6 Superficie de labor

En el Cuadro 1 se presenta la superficie en hectáreas de labor, sembradas de maíz, de trigo y en descanso, en 13 municipios de la Sierra Tarasca.

2.1.7 Cultivos principales

La región, desde el punto de vista agrícola, se dedica principalmente al monocultivo del maíz, y en menores superficies se siembra asociado con frijol, haba y/o con calabaza. El segundo lugar lo ocupa el aguacate, y en orden de importancia le siguen el trigo, garbanzo, lenteja, veza (janamargo), avena, frutales caducifolios, hortalizas y papa.

2.2 Sistemas de producción

A la fecha se han identificado en la región dos grandes sistemas de producción:

- a) Siembras de año y vez en suelos de humedad residual
- b) Siembras de año con año en suelos de temporal

A partir del área total (4) que anualmente se siembra en la zona de estudio, el 19% es de año con año, y el 81% de año y vez, por consecuencia el cultivo del trigo dentro de los sistemas de producción mencionados, queda comprendido de la manera siguiente:

Temporal. Comprende la ribera del lago de Pátzcuaro, junto con algunos

CUADRO 1. SUPERFICIES LABORABLES, SEMBRADAS DE MAIZ, TRIGO Y EN DESCANSO, EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LA SIERRA TARASCA.

MUNICIPIO	TOTAL	SUPERFICIE (HAS)		EN DESCANSO*	OTROS CULTIVOS
	LABOR*	MAIZ*	TRIGO**		
Villa Escalante	17,246	7,922	900	7,016	1,408
Cherán	11,064	5,330	900	1,015	3,819
Los Reyes	7,834	1,457	800	4,601	176
Tingambato	5,000	910	800	2,570	720
A. de Rosales	19,672	4,674	800	8,316	5,882
Charapan	3,165	1,059	550	1,489	67
Tancítaro	7,955	3,501	400	2,347	1,747
Nahuatzen	11,308	6,347	400	3,831	730
Zitácuaro	16,121	5,383	350	2,714	7,674
Tacámbaro	17,021	4,080	200	3,492	9,249
Pátzcuaro	10,677	4,802	200	3,496	2,179
Ocampo	4,276	2,299	200	834	943
Erongarícuaro	4,971	1,117	200	3,066	588
TOTALES	136,310	48,881	6,700	44,787	35,985

* Fuente: V Censo Agrícola, Ganadero y Ejidal del estado de Michoacán 1970.

** Fuente: Distrito de Temporal.

municipios aledaños y corresponde a los suelos faeozems, planos y ubicados por lo regular en abanicos aluviales, con alturas que varían entre 2,040 y 2,200 msnm (Fig. 2); su capa superficial está parcialmente compuesta de ceniza volcánica gruesa, por lo que se les llama "de cascajo". Estos suelos presentan además un incremento en el contenido de arcilla, y debido a esta característica se les llama también "charanda"; son los más productivos y se siembran todos los años, generalmente de maíz solo y/o asociado, o se sigue la rotación maíz-trigo-maíz-trigo.

Humedad residual. Este sistema de producción comprende los valles altos de la Sierra, o Meseta Tarasca, y sus alturas fluctúan entre 2,200 y 2,800 msnm (Fig 3); sus suelos de ando son francos, conocidos regionalmente como "tupuri", altamente permeables pero con la característica de poseer una capa superficial de textura fina, que al secarse actúa como aislador, con lo que se evita la evaporación de la parte interior del suelo; estos suelos son menos productivos, por lo que se siembran regularmente de maíz un año y se dejan descansar otro, o con la secuencia que a continuación se describe.

- a) Trigo-descanso-maíz descanso-trigo
- b) Trigo-descanso-trigo-descanso

2.2.1 Tecnología

De las 6,700 ha sembradas de trigo de temporal en la región aproximadamente el 60% pertenece a pequeños propietarios, los cuales representan más o menos el 10% de los agricultores que siembran este cereal; y el 40% de la superficie mencionada está en manos de ejidatarios y/o comuneros, o sea, el 90%

SITIOS EXPERIMENTALES

▲ 05 — Napizaro

▲ 06 — Fontezuelas

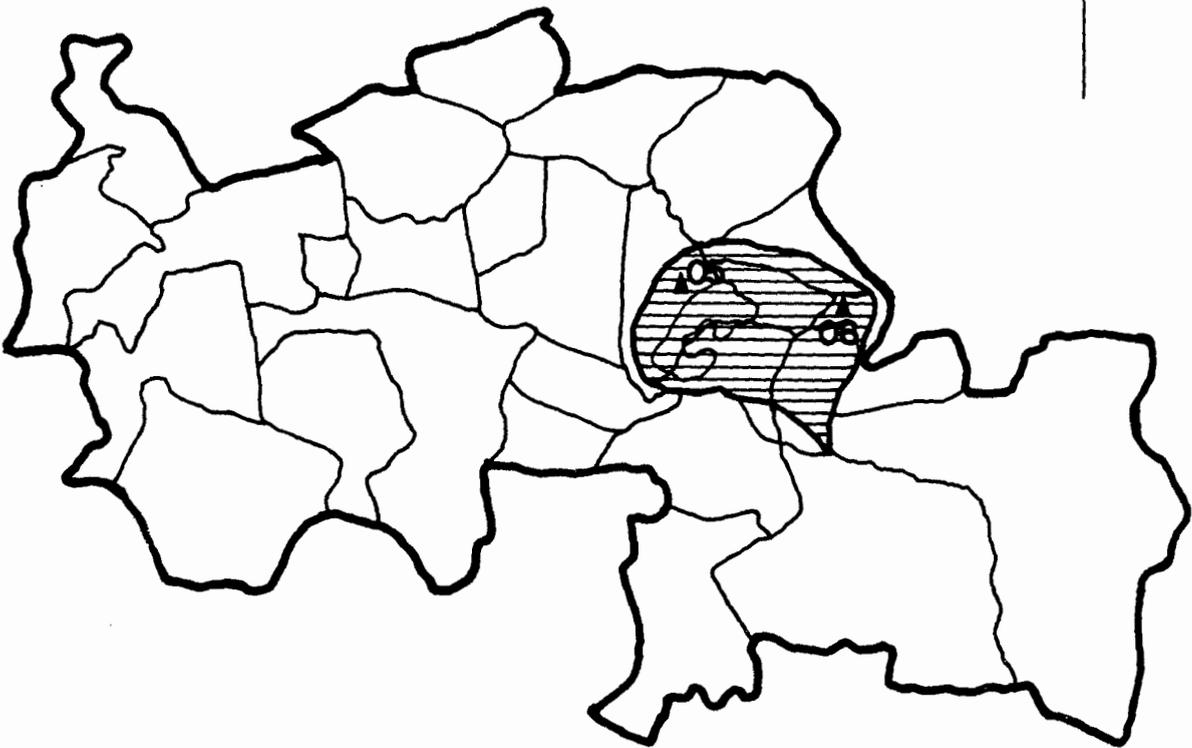


FIG. 2 Localización del sistema de producción de temporal y sus sitios experimentales.

SITIOS EXPERIMENTALES

- ▲ 01.— San Juan Tumbio
- ▲ 02.— Huaniqueo
- ▲ 03.— Nahuatzen
- ▲ 04.— Mojonera

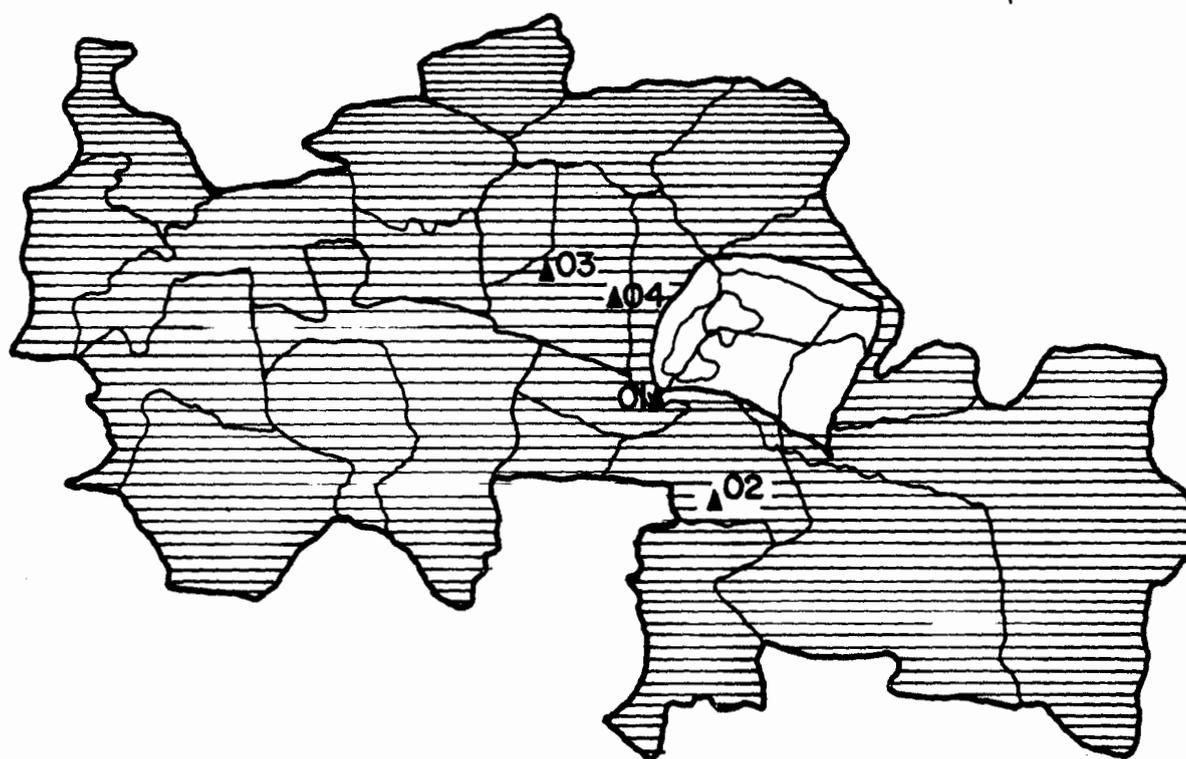


FIG. 3 Localización del sistema de producción de Humedad Residual y de sus sitios experimentales.

(13). Es necesario hacer notar que la superficie que pertenece a los pequeños propietarios es explotada bajo una tecnología mejor que la del resto, ya que utilizan cultivares mejorados antiguos de regular capacidad de rendimiento, como Tobarí y Lerma Rojo, actualmente ya empiezan a utilizar variedades mejoradas recientes como Cleopatra, Nacozari, Pavón y Anáhuac. La preparación del terreno, como son barbecho y cruza, se hacen con tractor, generalmente en abril y mayo; la siembra se realiza entre los meses de junio y julio, para esto dan antes un paso de rastra y utilizan aproximadamente 100 kg de semilla por hectárea, para luego taparla mediante otro paso de rastra. Simultáneamente a la siembra fertilizan con fórmulas bajas como la 60-40, 70-40 y/o la 80-60/ha; en los tres casos la primera corresponde a nitrógeno (sulfato de amonio) y la segunda, a fósforo (super fosfato simple). Combaten las malezas con herbicidas. La cosecha se realiza con máquina combinada en los meses de noviembre y diciembre. El promedio de producción que se tiene en esta superficie es de aproximadamente 2.0 ton de grano/ha.

En la parte que corresponde a los ejidatarios y comuneros, el uso de tecnología moderna no se ha generalizado; a la fecha utilizan cultivares criollos más o menos uniformes de origen desconocido (13), variedades antiguas como Azteca y Lerma Rojo. La precipitación del suelo se hace muy superficial ya que es con yunta, la semilla se distribuye al voleo y se tapa con rastra de ramas; la cantidad empleada de semilla para la siembra es muy variable, va de 50 a 80 kg/ha.

Aunque la aplicación de fertilizantes no está generalizada, algunos agricultores la llevan a cabo de la misma manera que en el maíz (4): esto es, al momento de la siembra, y consiste principalmente en la aplicación de fertili-

zante fosfórico, a una dosis que varía entre 10 y 30 kg de P_2O_5 /ha, mezcladas con 20 kg de nitrógeno y estiércol. A este cultivo no se le hacen labores ni se le aplican herbicidas. En este tipo de siembras se obtiene un promedio de rendimiento de 1.0 ton de grano/ha.

La cosecha se puede clasificar; de acuerdo con la técnica usada, en dos tipos: la tradicional, en la que la siega es manual con rozaderas y posteriormente se trilla con animales; y la semimecanizada, en la que se corta el trigo manualmente y se trilla con máquinas estacionarias.

Sin embargo, aunado a los factores mencionados anteriormente, los rendimientos de trigo que se obtienen en cada uno de los sistemas de producción descritos están severamente afectados por ataque de enfermedades fungosas en la hoja y en la espiga, y por el ataque de tuza que principalmente en el sistema de humedad residual es un problema agrícola de importancia central, al reducir los rendimientos aproximadamente en un 20%.

III. REVISION DE LITERATURA

Debido a la distribución mundial que tienen los andosoles, y dado que su comportamiento para producir altos rendimientos es complejo, en la actualidad existen muchos trabajos desarrollados en estos suelos que cubren prácticamente todas las disciplinas de la ciencia del suelo.

Entre los trabajos realizados en la Sierra Tarasca y otros lugares se destacan los siguientes:

Pérez en 1956, citado por Cortés (4), bajo condiciones de laboratorio e invernadero y usando como planta indicadora a la lechuga, estudió la respuesta a fósforo en cinco suelos de la Sierra Tarasca. Las muestras se colectaron en las localidades de Aranza, Tacámbaro, Pátzcuaro y Villa Escalante, en donde se emplearon dos fuentes de fósforo y encalado al suelo. Las conclusiones que se obtuvieron son las siguientes:

La deficiencia de fósforo fue un factor limitativo en la productividad de los suelos estudiados.

Los rendimientos, concentración de fósforo en la planta y cantidades totales de fósforo extraídas, se incrementaron considerablemente con las aplicaciones de los fertilizantes fosfatados.

El fertilizante químico produjo mayor rendimiento de materia seca que el guano, la cual no aumentó significativamente los rendimientos. Todos los suelos tienen un alto poder de fijación de fósforo; sin embargo, en condiciones

de invernadero, 80 kg de P_2O_5 /ha resultan una cantidad eficiente para la producción de materia seca.

Moncada (14), al estudiar la fisicoquímica de algunos suelos de la Sierra Tarasca, registró que los resultados del fraccionamiento del fósforo indicaron que la mayor parte de este elemento se encontró en forma orgánica y en forma de fosfato de hierro reducible soluble, así como formando compuestos con el calcio y el aluminio, de lo que concluye que para aumentar la disponibilidad de fósforo para la planta, y por tanto incrementar la productividad de estos suelos, es factible la aplicación de materia orgánica para tratar de quelatar el aluminio, hierro y calcio.

Gutiérrez en 1979 (11), señala que en estudios de fraccionamiento realizados en un suelo de Camébaro, Michoacán, encontró que el fósforo inorgánico extraído corresponde al 87.7% del fósforo total presente en el suelo y el 12.3% corresponde al fósforo orgánico. En lo que se refiere a las distintas formas del fósforo inorgánico, se encuentra que el 32% del fósforo total extraído, corresponde a fosfatos de hierro; el 28%, a fosfatos de hierro ocluido; el 24%, a fosfatos de aluminio; el 14% a fosfatos de calcio y el 2%, a fosfatos de aluminio ocluido. En otros trabajos llevados a cabo con seis suelos de origen volcánico, dentro de los cuales se incluyen tres suelos de la Sierra Tarasca (dos suelos de San Gregorio y un suelo de la Guardia), se ha estudiado la relación que existe entre algunas componentes del suelo y la adsorción del fósforo. Algunos resultados de esta investigación son los siguientes:

1. Los suelos estudiados se caracterizan por una alta capacidad de adsorción de fósforo, y se encontró que la cantidad máxima adsorbida fue del or-

den de 2,000 ppm de P.

2. Las curvas de fijación de fósforo muestran una fase inicial que se caracteriza por una reacción de fijación instantánea y una segunda fase caracterizada por un proceso lento de adsorción.

3. Las curvas de desorción de fósforo, mismas que tienen una relación estrecha con el fósforo disponible para la planta, revelan una baja cantidad de fósforo solubilizado después de seis horas de agitación, la concentración de fósforo adsorbido no era mayor a 0.1 mg/g de suelo. Esto indica que para que el suelo libere fósforo a la planta, es necesario saturar previamente con fósforo los sitios de fijación presentes en el suelo.

4. Respecto a la relación existente entre la capacidad máxima de adsorción de fósforo y las variables: materia orgánica nativa del suelo, aluminio intercambiable, aluminio y fierro amorfos y cristalinos, los resultados indican que el aluminio intercambiable no juega un papel importante en la adsorción de fósforo y más bien la magnitud de la adsorción está controlada en primer lugar por la presencia de los compuestos amorfos y cristalinos de aluminio; y en orden decreciente de importancia le siguen la materia orgánica nativa y el aluminio intercambiable, y en menor grado el fierro (Cajuste, 1974).

Chávez y Laird (6), encontraron en El Bajío, en suelos planos formados sobre depósitos aluviales del río Lerma, que cuando el trigo fue precedido de siembra de papa, jitomate, maíz y/o frijol, respondió a la fertilización nitrogenada, en el 83% de los lotes que se establecieron; el mejor resultado se obtuvo con la aplicación de 80 kg de N/ha; el fósforo logró incrementar los ren

dimientos en 0.66 ton/ha, al fertilizar con 40 kg de este elemento.

Sánchez y Pérez (16) al trabajar en un sitio ubicado en las márgenes de la Sierra Tarasca, registraron que tanto el nitrógeno como el fósforo aplicados solos y sin cal, no aumentaron significativamente los rendimientos, pero al aplicar 80 kg de N más 60 kg de P_2O_5 /ha sin cal, el rendimiento se duplicó; este resultado puso en duda la costeabilidad del encalado.

Turrent, (1962) citado por Cortés (4), considerando la posibilidad de que existiera una relación entre lo que causaba el atraso del desarrollo en las lechugas cuando se trasplantaban sobre suelos de la Meseta Tarasca y el problema nutricional que se presentaba en el campo, trabajó con la idea de eliminar la etapa inicial en que las lechugas no crecen apreciablemente.

Desde este punto de vista, el tratamiento que llevara el suelo a una condición en que las plantas crecieran normalmente, podría dar algunas indicaciones sobre el problema nutricional que limitaba la fertilidad de los suelos estudiados.

En base a tres tipos de experimentos llevados a cabo en el invernadero, concluye:

a) El índice de atraso en el rendimiento de las lechugas está inversamente relacionado con la cantidad de fósforo disponible y directamente con el contenido de aluminio extraíble (acetato de amonio IN, pH 4.8).

b) La cantidad de aluminio extraíble no se vio afectada con la aplica-

ción de 6.25 ton de CaCO_3 /ha, aun cuando los incrementos de pH fueron sensibles.

c) El efecto de la cal sobre la producción de materia seca fue nulo.

d) El problema nutricional se corrige con una mezcla a base de gallinaza más fósforo, o bien con aplicaciones masivas de fósforo, y parcialmente con aplicaciones de silicato de calcio.

c) El atraso en el crecimiento se debe a la baja concentración de fósforo aprovechable.

Gil 1966, citado por Cortés (4) realizó dos estudios de fertilidad de suelo en el área de la Sierra Tarasca.

El primero se llevó a cabo durante 1964 en dos suelos ubicados alrededor del lago de Pátzcuaro: Puerta Cadena y Tzurumútaró. El trabajo consistió en determinar la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada y fosfatada para evaluar la fertilidad de los suelos.

Los resultados de este estudio indicaron que el rendimiento fue afectado significativamente por los tratamientos de nitrógeno, mientras que la respuesta a fósforo no se observó. En general, los rendimientos estuvieron altamente correlacionados con el contenido de nitrógeno de la sexta hoja en ambas localidades. Los análisis físicos y químicos mostraron que se trataba de suelos arcillo-limosos Tigeramente ácidos, con bajo contenido de materia orgánica, y los valores de CIC y por ciento de saturación de bases corresponden a los de un

suelo fértil. Las arcillas predominantes fueron de estructura 1:1 con cantidades pequeñas de materiales amorfos.

El segundo estudio se realizó en 1965, en condiciones de invernadero, con muestras recolectadas en el área de la Sierra Tarasca, con la finalidad de caracterizar la fertilidad del suelo y para evaluar la respuesta del maíz a roca fosfórica parcialmente acidulada, comparada con roca fosfórica pura y superfosfato común como una fuente de fósforo para el maíz.

Aplicando una dosis de fósforo de 224 kg/ha a todos los tratamientos, el autor concluyó: a) la acidulación al 40% proporcionó tanto fósforo como el superfosfato común. b) el tratamiento de acidulación al 40% mostró mejor eficiencia de fósforo recuperado, considerando la cantidad de fósforo disponible en los materiales fertilizantes. Este efecto se explicó sobre la base de un efecto de ion común menos adverso y/o formación de fosfatos solubles. En dos localidades se observó toxicidad de aluminio.

Por otra parte, el análisis mecánico, químico y de rayos X e infrarrojos, indicaron que los suelos eran limo-arcillosos, ligeramente ácidos, con alto contenido de materia orgánica, con cantidades apreciables de materiales amorfos en la fracción arcillosa, y hubo una tendencia general que indicó que la fertilidad se incrementó desde las partes altas a las partes bajas.

Volke (21), en 47 experimentos de campo en donde se estudió la respuesta del trigo a los factores nitrógeno y fósforo en varios suelos trumaos* ubicados en laderas y en planicie, trató de determinar cuáles son los principales factores que afectan la producción de trigo en estos suelos.

Como variable dependiente se consideraron los rendimientos asociados con tres tratamientos experimentales, y como independientes se involucraron factores edafológicos, biológicos y climáticos. Mediante análisis de correlación y regresión, el autor concluye: "En los suelos trumaos* estudiados, los factores de la producción más importantes que afectan el rendimiento de trigo son: los bajos contenidos de nitrógeno y fósforo asimilables del suelo, el contenido de materia orgánica, la lluvia registrada desde el estado de encañado de trigo al de grano lechoso, la infestación de malezas durante el desarrollo del cultivo, el potencial de producción de la variedad de trigo, la profundidad del suelo, el viento y las bajas temperaturas de fines de primavera". De acuerdo con este trabajo, la deficiencia de fósforo es solamente uno de los factores que limitan los rendimientos en los suelos de Ando.

Aguilar (1), en estudios de fertilización que realizó para observar el efecto de las aplicaciones de nitrógeno al suelo en forma de $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ sobre el rendimiento y calidad del trigo en los estados de Michoacán y Guanajuato, encontró que en forma general el fertilizante nitrogenado incrementa el contenido de proteínas y el rendimiento de grano a medida que se aumenta la dosis de 120 a 180 kg/ha y aun a mayores niveles.

Chávez** durante 1981 realizó estudios de fertilización y densidad de siembra en el cultivo del trigo bajo condiciones de temporal en la región de

* Denominación que se da a los suelos de Ando en las provincias de Malleco y Cautín (Chile).

**Comunicación personal. Adolfo Chávez, Investigador del Programa de Productividad de Suelos del Campo Agrícola Experimental los Altos de Jalisco. SARH - INIA - CIAB.

los Altos de Jalisco, con las variedades Anáhuac y Pavón, y menciona que con la aplicación del tratamiento óptimo económico 100-40-135/ha (kilogramos de nitrógeno, fósforo y semilla respectivamente), los rendimientos medios se incrementaron de 2.7 a 4.5 ton por unidad de superficie.

Campos, en el ciclo de invierno 1976-1977, en la Mixteca Oaxaqueña, estableció un ensayo para determinar la combinación óptima económica de dosis: fertilizantes nitrogenado, fosforado y densidad de siembra en el cultivo del trigo. En dicho ensayo la combinación óptima para las condiciones en que se realizó el experimento fue de 90 kg de nitrógeno, 75 kg de fósforo y 110 kg de semilla/ha. (2).

Hobbs (1953) citado por Torres (18) en 1968, observó durante los años 1946-1951, el efecto de las aplicaciones de nitrógeno realizadas en la primavera, sobre los rendimientos de trigo de invierno, en el estado de Kansas, encontrando que los rendimientos medios aumentaron de 1.74 a 2.08 ton/ha, con una aplicación en primavera de 41 kg de N/ha. En las parcelas fertilizadas con fósforo y potasio al momento de la siembra.

Gaucher (9) describe que los estudios hechos sobre la fijación del ion PO_4 a menudo han llegado a conclusiones confusas o contradictorias, precisamente porque estos procesos ponen en marcha agentes (complejo, arcilla, humus, sesquióxidos, Ca) que puedan dar también con el ion PO_4 otras formas de unión que le conducen a estados de inmovilización (retrogradación, insolubilización). Las condiciones que causan la fijación o la inmovilización del ion PO_4 son difíciles de definir y aun no están determinadas. Después de haber revisado estos procesos, damos, para aclarar las ideas, un cuadro recapitulativo que com

prende a la vez las distintas clases de fijación del ion PO_4 cambiante y sus formas de inmovilización.

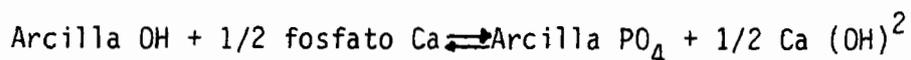
El anión PO_4 comparte la propiedad de poderse fijar en estado cambiante sobre el complejo absorbente con varios otros aniones, y la energía de la fijación decrece en el orden siguiente: $SiO_3 > PO_4 > SO_4 > NO_3 > Cl$. La fijación se produce en medio ácido para todos los aniones, tiene lugar también en medio neutro, en alcalino para algunos de ellos (PO_4), pero en estas condiciones, los dos últimos (NO_3^- y Cl^-) no se fijan y permanecen en las soluciones del suelo.

Las fijaciones y los cambios de aniones se producen siguiendo un mecanismo análogo al del cambio de cationes. El poder fijador existe prácticamente en todos los suelos, excepto en los puramente arenosos: una poca cantidad de arcilla y humus son suficientes para provocarlo. Su valor varía con la naturaleza, la reacción de los suelos y su capacidad de saturación: los suelos ácidos y los que tienen gran capacidad de saturación fijan mejor PO_4 . Su capacidad de absorción tiene una variación media de 10 a 40 miliequivalentes para 100 g de tierra (0,25 a 1 g de P_2O_5).

Tales son los aspectos generales de los mecanismos de fijación y de cambio de aniones. Veamos ahora los principales procesos conocidos que pueden causar una fijación del ion PO_4 en la superficie de los coloides.

a) La primera posibilidad de fijación la ofrece la presencia de iones OH^- - cambiantes y reemplazables por los radicales ácidos sobre los gránulos coloidales de arcilla, de los que ya hemos señalado el carácter atmosférico.

La fijación va acompañada de la liberación de una alcalinidad de cambio según la reacción:



El poder de fijación variaría con la naturaleza mineralógica de la arcilla de la forma siguiente: ilita > kaolinita > montmorillonita. También se admite que el fósforo se fija sobre el aluminio de la molécula silicatada de las hojas de arcillas; es posible además que esta forma de fijación no sea muy diferente de la precedente.

b) Un segundo proceso se ha descubierto por la presencia de cationes fijados por el complejo y capaces de actuar de "puente" entre los gránulos arcillosos y los aniones. Los iones Ca^{++} , Al^{+++} y Fe^{+++} cumplirían principalmente este oficio. La intervención de estos dos últimos está probada por el hecho de que la fijación de los aniones se facilita con la disminución de la relación $\frac{\text{silice}}{\text{sesquióxido}}$; por otra parte, cuando se opera sobre un suelo descalcificado si se hacen desaparecer los sesquióxidos, Fe_2O_3 y Al_2O_3 , el poder de fijación de los aniones disminuye mucho. En lo referente al calcio, se ve corrientemente que cuando se hacen absorber los iones Ca a una arcilla, el porcentaje de fijación del anión fosfato aumenta sin que el umbral de precipitación de los fosfatos de calcio se ha alcanzado, lo que demuestra claramente que se trata de una fijación en estado iónico y no de una precipitación por una vía química. La estabilidad de esta fijación varía según las condiciones del medio y la liberación del anión puede tener lugar cuando cambien, particularmente si la arcilla peptiza. Los restantes cationes que pueden fijarse sobre la arcilla, principalmente K y Na, tienen, respecto al anión fosfato, un poder de fi-

jación mucho más reducido. Finalmente, cuando se efectúa la fijación del anión fosfato sobre una arcilla que ya retiene calcio y hierro, se puede controlar que PO_4 se fija primero por intermedio del calcio y después del hierro. Este segundo proceso de fijación es el más frecuente y es, pués, generalmente, por medio de los iones calcio que el anión fosfato se fija sobre la arcilla.

c) Por otra parte, los hidratos coloidales de hierro y de alumina pueden también provocar una fijación reversible del anión fosfato sobre sus propias miselas ($pH < 6$) — sin unión, por lo tanto, con los coloides arcillosos — antes de llegar al estado de fosfato insoluble de hierro o de alumina. El poder de fijación de los hidratos de hierro es mayor que el de la arcilla, pero la proporción de los iones PO_4 "en enjambre" con relación a los iones fijados es inferior a la de la arcilla.

d) Y, finalmente, según se encuentre en el estado de ácido, de humato cálcico o humato alcalino, el humus llega al ion PO_4 hacia destinos bien diferentes.

Los coloides húmicos sin salificar parece que no dan lugar, como la arcilla, a una fijación; por el contrario, fijándose sobre la arcilla, los aniones húmicos pueden desplazar a los aniones PO_4 y proceder así a su "movilización". Además limitan la insolubilización del ion PO_4 por los iones calcio y tienden a mantenerlo en estado cambiante.

El humato cálcico sólo retiene PO_4 en el momento en que el pH del medio llega al umbral de precipitación de los fosfatos cálcicos ($pH = 7$). El ion fosfato en este momento precipita, verosíblemente, en forma de fosfato bicalci

co en la superficie de los granulos de humato de calcio, y se mantiene en esta forma mientras la reacción del medio permanece superior al pH 6.

Los humatos alcalinos no fijan el ion fosfato de una solución de fosfatos alcalinos, pero se comprueba, por el contrario, que dispersan los fosfatos cálcicos y favorecen el paso del anión en solución.

Ortíz (15) indica que los fenómenos de toxicidad relativos a cualquier elemento se deben a su abundancia en el suelo; de ello resulta, en los vegetales, o bien desórdenes fisiológicos o accidentes mucho más graves. Los síntomas están más bien en relación con la concentración del agente tóxico que con su naturaleza, y son, indicios foliares: clorosis y amarillamientos seguidos de quemaduras; necrosis en las ramas y en los frutos; enanismo, raquitismo, etc.

Cuando el aluminio, en forma de alumina soluble es el catión predominante, como ocurre en los suelos minerales ácidos, se promueven efectos nocivos en el desarrollo de las raíces de las plantas, disminución de la absorción y traslocación del Ca, y la necesidad de cantidades considerablemente altas de fertilizantes fosfatados.

3.1 CONCLUSIONES SOBRE LA REVISION BIBLIOGRAFICA

1. Los suelos de la Sierra Tarasca (10) presentan un problema nutricional que limita la productividad de los cultivos en la zona.

2. El problema nutricional es causado por fijación de fósforo y/o toxicidad de aluminio.

3. En algunas ocasiones, al estudiar los factores aisladamente, no aumentaron significativamente los rendimientos, pero al estudiar conjuntamente dos o más, provocaron interacciones que pueden duplicar el rendimiento.

4. El problema nutricional se corrige (10) con la aplicación de dosis elevadas de fertilizante fosfórico, y/o una mezcla de gallinaza más fertilizante fosfórico, aplicado también a dosis elevadas. Ambas soluciones pueden ser antieconómicas.

IV. OBJETIVO, HIPOTESIS Y SUPUESTOS

El objetivo principal que se tuvo al planear el presente trabajo fue el de conocer la respuesta del trigo a la adición de dosis de fertilizantes y semillas en diferentes sitios de la Sierra Tarasca, para determinar las dosis óptimas económicas de nitrógeno, fósforo y densidad de siembra, específicas para cada condición de producción.

Las hipótesis que se plantearon para probarse contra la realidad fueron:

- a) Los nutrimentos nitrógeno, fósforo y la densidad de siembra, son factores que limitan la producción del trigo en la mayoría de las condiciones de producción del área.
- b) El incremento en la productividad del trigo expresado en rendimiento de grano, como respuesta a estos factores, está relacionado con el genotipo usado, la competencia con las malezas, la posición fisiográfica, los elementos del clima y con las propiedades físicas y químicas del suelo.

Para probar estas hipótesis se consideraron los siguientes supuestos:

- a) Dejando constantes los demás factores controlables de la producción, al variar simultáneamente la dosis de nitrógeno, fósforo y densidad de siembra, puede explorarse una gran parte de la capacidad productiva del sistema.

- b) En el espacio de exploración estudiado se encuentra la dosis óptima económica de nitrógeno, fósforo y densidad de siembra, que permite llevar económicamente la producción de trigo hasta un nivel intermedio entre la producción actual y la potencialidad ecológica conocida.

- c) La selección de los sitios experimentales capta la variabilidad regional de los factores inmodificables de la producción, como son: profundidad del suelo, pendiente, color y humedad.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Características de los experimentos

Para probar las hipótesis planteadas se emplearon seis experimentos de campo, realizados en 1980 por investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) en parcelas de agricultores cooperadores de la Sierra Tarasca.

Para la selección de los sitios experimentales se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

1. Que los sitios experimentales representen la variabilidad de los factores no modificables de la producción en esta región.
2. Que los lotes quedaran ubicados en municipios productores de trigo, o con potencialidad para ello.
3. Que la ubicación de los sitios experimentales presentara facilidad de acceso.

En el Cuadro 2 se encuentra la identificación de los lotes experimentales. El número de sitio que tiene asignado cada localidad es con el que siempre se hará referencia.

CUADRO 2. UBICACION DE LOS TRABAJOS EXPERIMENTALES DE FERTILIZACION EN EL CULTIVO DEL TRIGO, EN LA SIERRA TARASCA. CICLO P-V 1980

SITIO	LOCALIDAD	MSNM	MUNICIPIO	SISTEMA DE PRODUCCION			
01	San Juan Tumbio	2,250	Pátzcuaro	Humedad Residual Año y vez			
02	Huaniqueo	2,350	V. Escalante	"	"	"	"
03	Nahuatzen	2,420	Nahuatzen	"	"	"	"
04	Mojonera	2,650	Nahuatzen	"	"	"	"
05	Napízaro	2,040	Erongarícuaro	Temporal	Año con año		
06	Fontezuelas	2,160	Lagunillas	"	"	"	

5.1.1 Factores de estudio y espacios de exploración

Los factores estudiados fueron niveles de nitrógeno, fósforo y densidad de siembra, con los espacios de exploración siguientes:

N	De 0 a 200 kg/ha
P ₂ O ₅	De 0 a 100 kg/ha
D S	De 80 a 200 kg de semilla/ha

Para definir estos espacios de exploración se tomaron en cuenta las experiencias de los agricultores y los experimentos de campo previos establecidos en la zona, referentes a fertilización y densidad de siembra.

La matriz de tratamientos, el diseño experimental y los espacios de exploración de los factores en estudio, permanecerán constantes en todos los sitios experimentales.

5.1.2 Matriz de tratamientos y diseño experimental

La definición de los tratamientos se hizo de acuerdo a la matriz Plan Puebla II para 3 factores (20), que da un total de 15 tratamientos, más 5 tratamientos adicionales que fueron: 16, tratamiento potencial; 17 testigo absoluto; 18 tratamiento recomendado por el Patronato Estatal de Fertilización; 19 testigo P₂O₅ y 20, testigo nitrógeno. En la figura 4 se presenta esta matriz, con los tratamientos a que da origen.

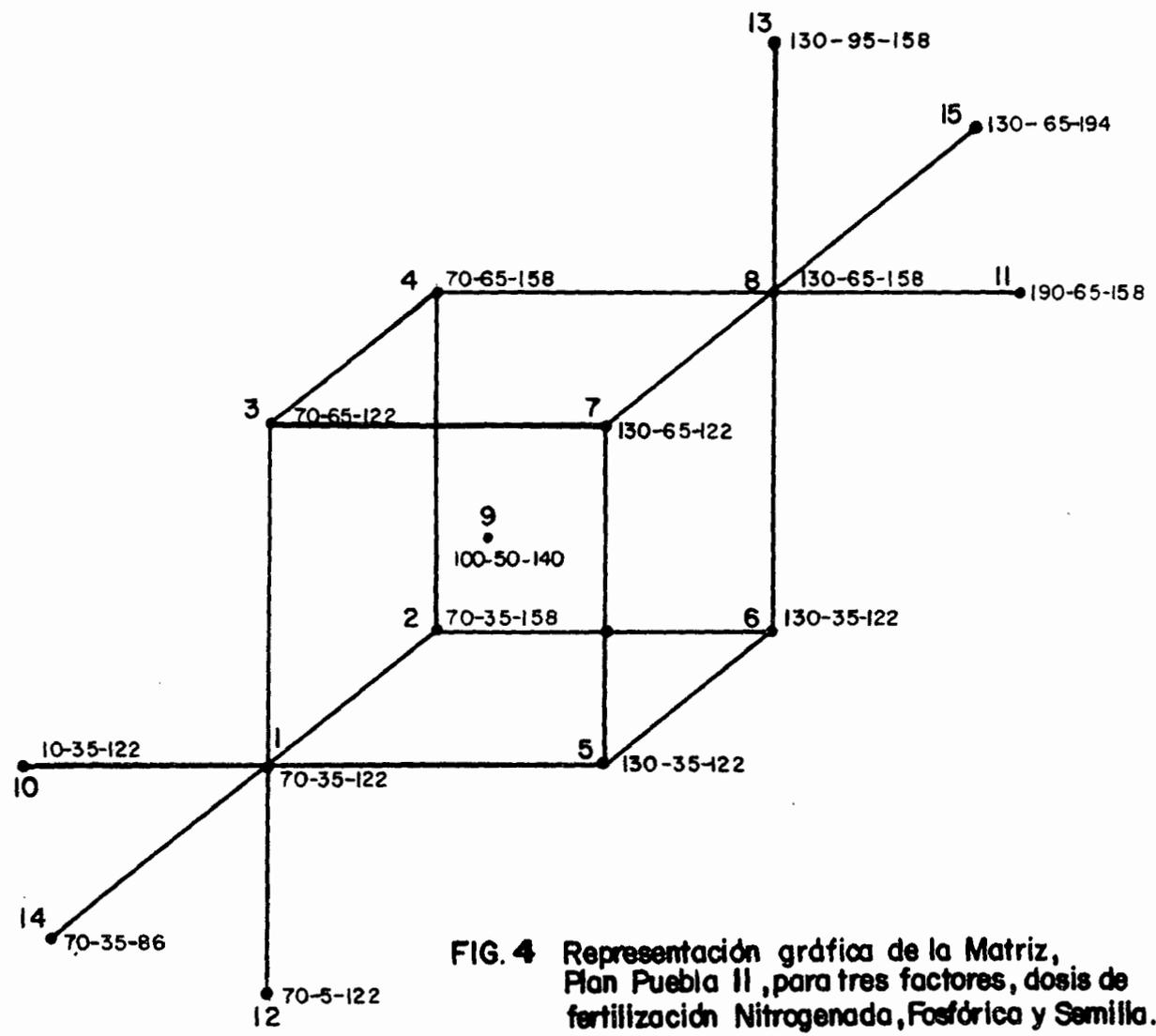
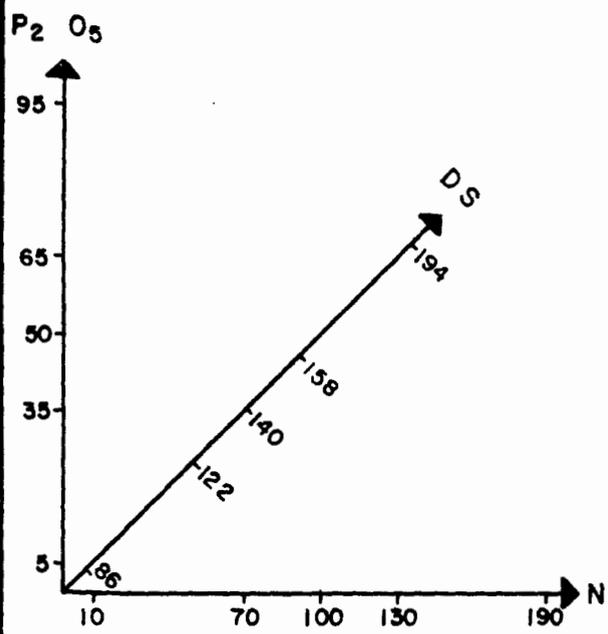


FIG. 4 Representación gráfica de la Matriz, Plan Puebla II, para tres factores, dosis de fertilización Nitrogenada, Fosfórica y Semilla.

En el Cuadro 3 se presenta la lista total de tratamientos utilizados en los experimentos.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con 6 repeticiones, excepto el experimento de Napízaro (05), que tuvo 4.

El tamaño de la parcela experimental, en todos los casos, fue de seis surcos de 5m de largo, separados entre sí 30 cm. La parcela útil constó de los cuatro surcos centrales.

5.2 Trabajos de campo

5.2.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno se hizo con tractor y consistió en un barbecho y dos pasos de rastra, que es como generalmente se realiza en la región.

5.2.2 Obtención y análisis de las muestras de suelo

Previamente al establecimiento de cada uno de los lotes experimentales, se tomaron muestras de suelos a la profundidad de 0 a 30 cm, las cuales se transportaron al laboratorio de química de suelos del Campo Agrícola Experimental Bajío, en donde después de haberse secado al aire y tamizado en una malla de 2 mm, se les paracticaron los siguientes análisis.

Texturas. Realizadas por medio del método del Hidrómetro de Bouyoucos.

CUADRO 3. TOTAL DE TRATAMIENTOS ENSAYADOS EN LOS EXPERIMENTOS DE TRIGO.
CICLO PRIMAVERA-VERANO 1980.

TRAT. No.	N	P_2O_5	SEMILLA
		kg/ha	
1	70	35	122
2	70	35	158
3	70	65	122
4	70	65	158
5	130	35	122
6	130	35	158
7	130	65	122
8	130	65	158
9	100	50	140
10	10	35	122
11	190	65	158
12	70	5	122
13	130	95	158
14	70	35	86
15	130	65	194
*16	130	65	158
17	0	0	80
18	80	40	122
19	130	0	122
20	0	65	122

* Más 10 ton/ha de gallinaza.

La materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black.

El nitrógeno total se hizo de acuerdo con el método de Kjeldahl, modificado por Gunning.

El pH se midió con el potenciómetro, con un electrodo de calomel, en una relación suelo-agua de 1:2.

El fósforo asimilable se determinó por el método de Bray P_1 .

El potasio, calcio y magnesio asimilables se analizaron por medio de la solución extractora del método de Peech-Morgan, y la cantidad extraída de terminada cuantitativamente se analizó por absorción atómica.

La conductividad eléctrica se determinó mediante el puente de conductividad de Wheastone. Modelo RC 1B.

La capacidad de intercambio catiónico se determinó con el método de saturación de amonio N_aCl acidificado.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados del análisis físico-químico de los suelos de cada uno de los lotes experimentales.

Se puede apreciar que los experimentos de humedad residual 01, 02, 03 y 04 contienen niveles de materia orgánica (MO), que corresponden a suelos ricos principalmente en lo referente a nitrógeno nítrico; sin embargo, su textura franco arenosa y su exceso de material amorfo les confiere una baja

CUADRO 4. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO (0-30 CM) EN LOS SITIOS DONDE SE CONDUJERON LOS EXPERIMENTOS

No. EXPTO.	C.I.C. MEC/100GRS	pH	ANALISIS MECANICO			CLASIFICACION TEXTUAL	M.O. %	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C _a O	M _g O
			ARENA	LIMO	ARCILLA							
01	17.48	6.4	48	30	22	FRANCO	5.95	.199	.739	229	5.018	348
02	19.05	6.0	46	32	22	FRANCO	3.66	.522	1.108	260	5.500	103
03	14.93	6.3	54	26	20	MIGAJON-ARENOSO	2.91	.151	1.846	239	7.430	244
04	12.37	5.9	44	34	22	FRANCO	5.33	.240	1.477	52	5.597	94
05	23.37	6.1	26	38	36	MIGAJON-ARCILLOSO	3.035	.144	3.324	280	8.106	762
06	21.01	5.5	26	36	38	MIGAJON-ARCILLOSO	0.743	.110	4.062	83	6.658	564

capacidad de intercambio catiónico y por consiguiente bajos contenidos de fósforo, potasio, calcio y magnesio, en forma asimilable.

En cambio, los experimentos de temporal 05 y 06, a pesar de contener niveles medios de M.O., su textura migajón-arcillosa y su baja o nula cantidad de material amorfo en el suelo, ocasiona una mayor capacidad de intercambio de cationes y esto induce a una mayor disponibilidad de nitrógeno amoniacal, fósforo, potasio, calcio y magnesio para las raíces de las plantas.

5.2.3 Antecedentes del terreno

Se tomaron en cuenta las historias previas de los cultivos en cada uno de los lotes, los años que han estado bajo cultivo, las características de las fertilizaciones comerciales, y en general, las prácticas de cultivo realizadas por el agricultor.

5.2.4 Siembra de los experimentos

La siembra de los seis experimentos se realizó entre el 23 de junio y el 23 de julio de 1978, de la siguiente forma: las parcelas del experimento se delimitaron con estacas e hilos, con 30 cm de separación entre parcelas, y un metro entre cada repetición. Después con azadones de aguillón se hicieron los surcos a 30 cm de separación, luego se depositó la semilla a lo largo del fondo del surco. En todos los experimentos se sembró la variedad Anáhuac, que es la mejor actualmente en la región en cuanto a rendimiento y resistencia a enfermedades.

El fertilizante se aplicó en banda, también en el fondo del surco y fue 1/3 del nitrógeno y todo el fósforo en la siembra, y el resto del nitrógeno, a los 35 días después de la siembra. Esto es, en la etapa fenológica del amacollamiento.

Las fuentes de los fertilizantes empleados para estos experimentos fueron: sulfato de amonio, con 20.5% de N, y super fosfato de calcio simple, con 20% de P_2O_5 .

5.2.5 Observaciones experimentales

Los lotes experimentales fueron periódicamente inspeccionados y en ellos se hicieron observaciones que a la postre fueron de utilidad para interpretar mejor los resultados.

En todos los experimentos la germinación fue buena, y se inició entre los ocho y 10 días después de la siembra.

En la mayoría de los sitios experimentales, desde la siembra hasta la cosecha, el ataque de tuza fue constante, el control se hacía colocando trampas y/o cebos envenenados con estricnina en las galerías recién abiertas.

En la Sierra Tarasca la presencia de malezas es un problema fuerte para las siembras del trigo. Las más comunes son el chayotillo *Sicyos angulatus*, rabanillo *Brassica spp.*, andán o girasol silvestre *Helianthus spp.* y lengua de vaca *Rumex crispus*.

En todos los experimentos se controlaron las malezas, a mano cuando la infestación así lo requería o mediante el uso de herbicidas químicos apropiados como 2-4 D Amina o Esterón, en dosis de 1.5 a 2 lt/ha diluidos en 200 litros de agua. Esta aplicación se hizo en etapa de amacollamiento; en todos los casos se logró un control aceptable que impidió que la presencia de malezas afectará los resultados de los diferentes tratamientos.

Como se mencionó anteriormente, la presencia de enfermedades fungosas es uno de los factores que en mayor grado influyen en los bajos rendimientos comercialmente en la región, y debido a esto se tomó a cada experimento el grado de infección que presentó en lo que respecta a *Septoria nodorum*, *S. tritici*, *Fusarium roseum* y *Puccinia recondita*.

Para complementar un poco más el trabajo, se tomaron los datos referentes a espigas por m², altura de planta y días a floración de todos los tratamientos de tres repeticiones.

5.2.6 Fenómenos meteorológicos

Durante el ciclo vegetativo del cultivo no se presentó ningún problema que pudiera dañar al experimento, ya que la primera helada se presentó el 28 de octubre, fecha en la cual ya había llenado el grano.

5.2.7 Cosecha de los experimentos

La cosecha se realizó durante los meses de noviembre y diciembre, en forma manual; esto es, cortando con hoces el trigo correspondiente a los cuatro

surcos centrales, y se formaron manojos que posteriormente se ataron con hilos junto con su bolsa de identificación parcelaria correspondiente; después se procedió a su trilla con una máquina Pullman de tipo experimental; así se obtuvo el peso en gramos de cada una de las parcelas.

Todos los datos se anotaron en hojas de codificación para realizar los análisis estadísticos correspondientes.

5.3 Análisis de los datos de cosecha

5.3.1 Cálculo del rendimiento en kg/ha

Los rendimientos de grano de cada parcela útil se transformaron a rendimientos por hectárea, ajustados al 12% de humedad residual.

5.3.2 Análisis de varianza

Con los datos de rendimiento ajustado, en primer lugar, se llevó a cabo el análisis de varianza a nivel de experimento para conocer los efectos de repeticiones y tratamientos, y la precisión obtenida en cada uno de los ensayos, mediante sus valores correspondientes al cuadrado medio del error experimental (CMEE) así como al coeficiente de variación (C.V.)

5.4 Determinación de las dosis óptimas económicas

Para detectar qué tratamiento le convendría al agricultor monetariamente, se utilizó el método gráfico modificado, el cual determinó las dosis óptimas económicas para capital ilimitado (DOECI) y la DOE para capital limitado (DOECL).

Para determinar estas dosis óptimas, se tuvo que calcular el costo de cada uno de los insumos estudiados, tomando como base el precio actual que rige en el mercado y los gastos que implica su aplicación y otros, así como el precio del producto, descontando los gastos de flete y cosecha, como se detalla a continuación:

Los precios actuales* del sulfato de amonio (20.5% de N) y del superfosfato de calcio simple (20% de P_2O_5) son de 1,982.00 y 1,808.00 pesos por tonelada, respectivamente, los cuales dan un costo de 9.67 pesos por cada kg de nitrógeno, y 9.04 pesos por kg de fósforo.

Se recabó información de los agricultores que siembran maíz y trigo, y de acuerdo a los datos obtenidos, se determinó que los costos por concepto de aplicar un kg de nitrógeno y uno de fósforo son de 2.44 y 2.50 pesos respectivamente. El flete de la bodega a la parcela tiene un costo aproximado de 1.27 pesos por kg de nitrógeno, y de 1.30 kg de fósforo. Por lo tanto, el nitrógeno tuvo un costo global de 13.38 pesos, mientras que el costo global del kg de fósforo fue de 12.84 pesos.

La semilla que se sugiere usar a los agricultores de la región tiene

*Julio de 1982.

un valor de 10 pesos por kg, ya tratada y certificada por SNICS, con una garantía de 80% de germinación como mínimo. El costo de la siembra varía de acuerdo a la densidad utilizada, ya que aproximadamente cuesta un peso por cada kg de semilla, por lo tanto, el costo total de un kg de trigo sembrado es de 11 pesos.

El precio de garantía actual del trigo es de 6.40 pesos, pero si se descuentan los costos de cosecha, trilla y flete, que son de 0.66 pesos por kg, da un valor de 5.74 pesos, que es realmente lo que el agricultor recibe por cada kg de trigo.

5.4.1 Método gráfico modificado por Turrent

Esta modificación al método gráfico original se hace con el objeto de aumentar la precisión en la determinación de la DOE, y consiste en combinar la técnica de Yates, citada por Turrent (19), la cual analiza los efectos factoriales totales, en este caso N, P_2O_5 , DS, y sus interacciones, identificando si existe significancia para los mismos y luego pasa al método gráfico que determina la DOE por medio de la construcción del triangulo constituido por la relación costo del insumo/valor del producto. Para ilustrar el procedimiento a seguir para la determinación de las DOE, por este método, se analizan a continuación los datos del experimento 06 incluido dentro de este estudio.

Incluye los siguientes pasos:

1. Los tratamientos del cubo se ordenan sistemáticamente de acuerdo al código de Yates, y los totales de rendimiento por tratamiento, se anotan

tal como se indica en el Cuadro 5.

2. Se realiza el análisis de varianza (ANVA) de todos los tratamientos del experimento, donde el CMEE obtenido servirá para análisis posteriores.

3. Utilizando totales de rendimiento se aplica la técnica de Yates (3) a los tratamientos del cubo (1-8) para estimar el o los efectos factoriales totales que resultan significativos a un nivel de probabilidad del 5 o 10% de cometer error de tipo 1.

De acuerdo con Yates, las letras minúsculas encerradas entre paréntesis en la columna titulada "codigo de Yates", indican lo siguiente: (1) los factores en estudio se encuentran en su nivel bajo; se escribe después la "d", porque en el tratamiento 2 la densidad de población se encuentra en el nivel superior; después "p", porque es el fósforo que está en el nivel superior en el tratamiento 3 y los factores nitrógeno y densidad de siembra en su nivel bajo; la combinación "pd" corresponde al tratamiento 4 en donde los factores fósforo y densidad están en su nivel alto, y el factor nitrógeno en su nivel bajo; y así sucesivamente para las otras codificaciones.

La primera columna de Yates se obtiene a partir de la columna de rendimientos totales, sumando de dos en dos: $18552 + 20610 = 39162$, $19152 + 19218 = 38370$, etc. hasta llegar a la mitad de la columna. Enseguida se restan algebraicamente, también por pares, el de abajo menos el de arriba, comenzando por el primer par de totales: $20610 - 18552 = 2058$; $19218 - 19152 = 66$; y así se completan los ocho valores de la columna.

CUADRO 5. APLICACION DEL METODO DE YATES A LOS OCHO TRATAMIENTOS DEL CUBO DEL EXPERIMENTO 06

TRAT. No.	N	$\frac{P_2O_5}{KG/HA}$	D.S.	REND. KG/HA	CODIGO YATES	TOTALES DE TRATAMIENTOS	(1)	(2)	EFEC. FAC-TORIALES TOTALES	EFEC. FAC-TORIAL MEDIO KG/HA	EFEOTO FACTORIAL
1	70	35	122	3092	(1)	18552	39162	77532	174498	3635	MEDIA
2	70	35	158	3435	d	20610	38370	96966	3702	154*	D
3	70	65	122	3192	p	19152	48174	2124	-174	-7.25	P
4	70	65	158	3203	pd	19218	48792	1578	-414	-17.25	PD
5	130	35	122	4018	n	24108	2058	-792	19434	809*	N
6	130	35	158	4011	nd	24066	66	618	-546	-22.75	ND
7	130	65	122	3931	np	23586	-42	-1992	-174	-7.25	NP
8	130	65	158	4201	npd	25206	1620	1578	-414	-17.25	NPD

E.M.S. 5% 137 kg/ha

* Tratamientos significativos

9	100	50	140	3661
10	10	35	122	1940
11	190	65	158	4121
12	70	5	122	2833
13	130	95	158	3858
14	70	35	86	3018
15	130	65	194	3705

A continuación se aplica el mismo procedimiento a la primera columna de Yates para obtener la segunda, y a partir de ésta, la tercera.

En cuanto a columnas, a partir de la denominada "de totales", serán tantas como factores en estudio se tengan, que en este caso son tres. La tercera columna representa los efectos factoriales totales (EFT); la cuarta, denominada "de efectos factoriales medios" (EFM), se obtiene al usar como divisor $2^n r = 2^3 \times 6 = 48$ para el tratamiento codificado como (1); y $2^{n-1} r = 2^2 \times 6 = 24$ para los restantes, donde:

n = número de factores en estudio

r = número de repeticiones

La significancia de los efectos factoriales totales se determina usando como comparador el efecto mínimo significativo (EMS) con la siguiente fórmula:

$$\text{EMS} = t_{\alpha} (\text{glE}) \sqrt{\frac{S^2}{2^{n-2} r}}$$

Donde:

glE = Grados de libertad del error

S^2 = Cuadrado medio del error experimental

t_{α} = T student

$n-2$ = Número de factores menos dos

r = Número de repeticiones

Entonces, lo que se trata de comparar es la siguiente hipótesis:

$$H_0 = EFM = 0$$

$$H_A = EFM \neq 0$$

Tomando la siguiente regla de decisión:

Si $EFM \geq EMS$ se rechaza H_0

Si $EFM \leq EMS$ no se rechaza H_0

Para el experimento que se analiza como ejemplo, el EMS estimado fue el siguiente:

$$EMS = (1.982) \sqrt{\frac{57213.56}{12}} = 137$$

De acuerdo con esta regla, los valores de EFM correspondientes a D y N, son mayores a este EMS, por lo tanto significativos a un $\alpha = 5\%$; los restantes EFM son estadísticamente no significativos al nivel establecido. Puede darse el caso de que el EFM sea menor que el EMS, y de que el valor se encuentre muy cercano a este último, en cuyo caso se debe recurrir a la gráfica original; si se observa respuesta marcada a este factor y si el error experimental es muy grande, lo cual hace que el EMS sea grande, deberá considerarse ese EFT como significativo.

En cualesquiera de las interacciones de dos factores está implícito el efecto de ambos, lo que seguiría siendo válido aun si los efectos principales de ambos factores fueran de cero. La interacción de tres factores lleva también implícito el efecto de los tres factores, aun cuando los efectos de las interacciones de dos factores y los efectos principales valieran cero.

4. Usando el mismo ejemplo, se nota la ausencia de respuesta al factor P dentro del cubo; esto significa que debe probarse si el efecto no significativo continúa en sus aristas no prolongadas, especialmente la prolongación hasta su valor mínimo. Por lo tanto, se promedia, entre otros casos, a los rendimientos asociados con los tratamientos 1 y 3: 70-35-122 y 70-65-122; y el promedio de rendimiento se asocia con el tratamiento 70-35-122. También se han promediado los rendimientos asociados con los tratamientos (6) 130-35-158 y (8) 130-65-158, y nombrando a la nueva media de rendimientos como asociada con el tratamiento 130-35-158. Se debe probar ahora la hipótesis de que no hay diferencia entre los rendimientos asociados con los tratamientos (12) 70-5-122 y (1/3)* 70-35-122, y además la prueba de los rendimientos asociados con los tratamientos (6/8) 130-35-158 y (13) 130-95-158.

$$\begin{array}{r} 1.- 3092 \\ 3.- 3192 \\ \hline 12.-2833 \text{ VS } 3142^{**} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 6.- 4011 \\ 8.- 4201 \\ \hline 13.-3858 \text{ VS } 4106^{**} \end{array}$$

Si esta prueba resultara negativa, se concluiría que no hay respuesta al factor P en todo el espacio explorado. En tal caso la recomendación final involucraría al nivel aplicado más bajo del fertilizante fosfórico.

* Significa que se promedió el rendimiento del tratamiento 1 y 3
 ** Significancia al 5%

Esta comparación se hace mediante el valor de la diferencia mínima significativa (DMS) y se calcula como sigue:

$$DMS = t_{\alpha} (g|E) \sqrt{S^2 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)}$$

donde:

t_{α} y S^2 son los mismos términos que en la fórmula descrita para el EMS; y r_1 y r_2 son los números de repeticiones que intervienen en el cálculo de cada una de las dos medias comparadas.

Entonces, en el mismo ejemplo, la

$$DMS = 1.982 \sqrt{57213.56 \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{12} \right)} = 237$$

En este caso se observó que la prueba de hipótesis en la prolongación hacia su valor mínimo fue positiva; esto es, que existe respuesta al pasar de 5 kg de fósforo a 35 ó 65 kg del mismo factor, no así cuando se eleva la dosis de 65 a 95 kg del fertilizante fosfórico. Por lo tanto, lo más conveniente se rá ignorar la conclusión sobre la respuesta solamente a N y D, y manejar el caso de respuesta a los tres factores en la siguiente fase del análisis.

5.4.1.1 Determinación de la dosis óptima económica para capital ilimitado

La siguiente modificación al método gráfico para interpretar un experimento con la matriz PP II consiste en la selección de la función sobre la

que habrá de localizarse la dosis óptima económica para capital ilimitado. La diferencia consiste en que se calculan los ingresos netos asociados con cada uno de los tratamientos del factorial 2^k de la matriz (Cuadro 6), mediante la función:

$$IN = yY - CV$$

Donde:

IN = Ingreso neto

y = Valor de un kg de trigo

Y = Rendimiento

CV = Costos Variables

Para calcular los costos variables se utilizó:

$$CV = nN + pP + dpDP + ftY$$

Donde:

n = Costo de un kg de N aplicado en el campo

N = Dosis de N utilizada

p = Costo de un kg de fósforo aplicado en el campo

P = Dosis de fósforo utilizada

dp = Costo de adquirir y sembrar un kg de trigo

DP = Densidad de siembra utilizada

ft = Costo de cosecha y flete de un kg de trigo

Y = Rendimiento obtenido por cada uno de los tratamientos

CUADRO 6. INGRESO NETO (IN) Y TASA DE RETORNO (TR) PARA LOS TRATAMIENTOS ESTUDIADOS EN EL EXPERIMENTO 06

No. TRAT.	N	P ₂ O ₅	D.S.	Y	yY	C V	I N	Y/TESTIGO	T R
	(kg/ha)			(kg/ha)	(Pesos/ha)	(Pesos/ha)	(Pesos/ha)	kg/ha	
1	70	35	122	3092	19789	4769	15020	1483	1.99
2	70	35	158	3430	21984	5391	16593	1826	2.17
3	70	65	122	3192	20429	5220	15209	1583	1.94
4	70	65	158	3203	20499	5623	14876	1594	1.81
5	130	35	122	4018	25715	6183	19532	2409	2.49**
6	130	35	158	4011	25670	6574	19096	2402	2.34
7	130	65	122	3931	25158	6510	18648	2322	2.28
8	130	65	158	4201	26886	7084	19802*	2592	2.34
17	0	0	80	1609	10298	1942	8356		

* TOECI

** TOECL

Como se observa, el número de tratamientos es de ocho, y por definición, el TOECI se asocia con la máxima ganancia posible, entonces, aquella esquina del cubo asociada con el mayor ingreso neto, será el tratamiento más cercano, en términos relativos al TOECI.

En la matriz PP II hay solamente dos esquinas del cubo por las que se prolongan las tres aristas que convergen a tales esquinas. Las prolongaciones de estas aristas permiten medir la curvatura de respuestas a cada factor. Estas esquinas ó tratamientos son los números 1 y 8 del Cuadro 5 .

Cuando la selección del espacio de exploración ha sido atinada, el tratamiento 8 se asociará con el máximo ingreso neto observado. Esto sucedió en este caso; por lo tanto, la función de respuesta que se escogerá para obtener sobre ella mediante el triángulo de relaciones costo del insumo/ precio del producto, a la DOECI del factor, será aquella que pase por el tratamiento 8. Esto es, las curvas N-65-158, 130-P-158 y 130-65-DS. A continuación se localiza el punto de tangencia para cada factor. (Fig. 5). Las tres soluciones integran el TOECI.

Para calcular el triángulo de relación costo del insumo/ precio del producto, se debe tomar en cuenta que para cualquier dosis de fertilizante nitrogenado corresponde una cantidad de grano de trigo que cubre su costo. Esto se logra con la relación $n/y = 2.09 \text{ kg de N/kg de Y}$, donde n es el precio unitario del kg de N y Y el del kg de trigo. Así, los 120 kg de N marcados en la parte inferior izquierda de la Figura 5 cuestan $120 \times 2.09 = 250.8$ kg de trigo. A continuación se traslada con escuadras esa pendiente de ganancia cero hacia la curva N-65-158 para localizar el punto de tangen-

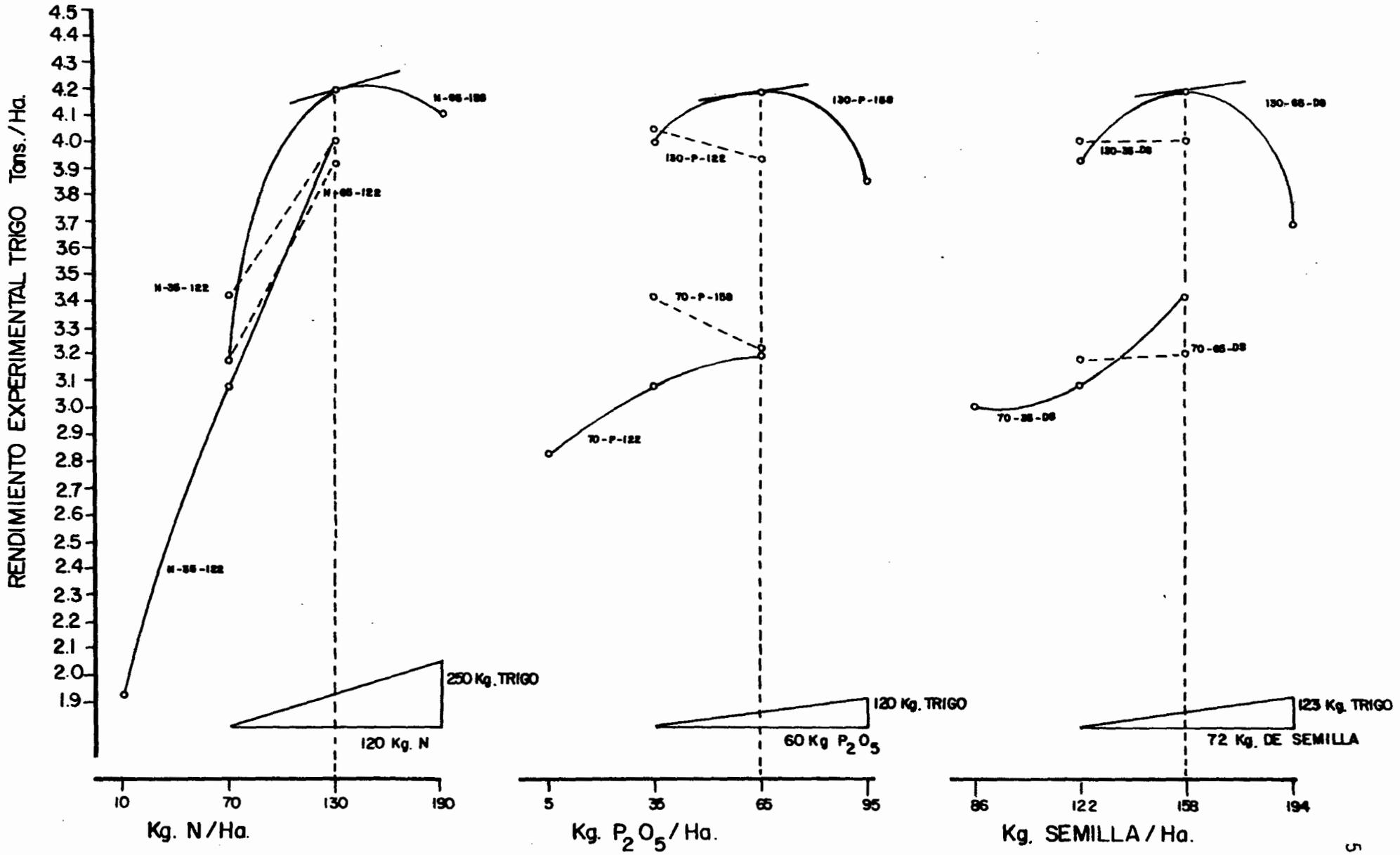


FIG.5 Representación gráfica de la respuesta del trigo a N, P₂O₅ y DS, solución gráfica de la DOECI para el experimento 06.

cia. La solución corresponde a la dosis de 130 kg de N/ha.

En la selección central de la misma Figura 5. está la respuesta al factor fósforo. En este caso la relación de precios $p/y = 2.0$ kg de P/ha de Y. Los 60 kg de P_2O_5 , que representan al espacio explorado del mismo factor tienen un costo de $60 \times 2.0 = 120$ kg de trigo. Al trasladar esta pendiente sobre la función 130-p-158, se encuentra tangencia en 65 kg de P_2O_5 /ha.

Volviendo a la Figura 5, en su sección derecha está la respuesta a la densidad de siembra; en este caso la relación de precios $DS/Y = 1.72$ kg de semilla/kg de trigo. Los 72 kg de semilla, que representan al espacio explorado de densidad de siembra, tienen un costo de $72 \times 1.72 = 123$ kg de trigo. Esto conduce a la solución de 158 kg de semilla/ha, al trasladar dicha pendiente sobre la función 130-65-DS. El TOECL es, por lo tanto, 130-65-158, y como éste coincidió con el determinado por el análisis económico e involucrado en el cubo de la matriz, su rendimiento e ingreso neto aparecen en las Columnas 5 y 8 del Cuadro 6.

El proceso de estimación gráfica del rendimiento asociado con el TOECL, puede ser complejo cuando no se presenta la coincidencia observada en el ejemplo, y no hay además respuesta a los tres factores. Para examinar las reglas que deben seguirse para tal solución en el caso más complejo, se recomienda consultar el texto original mencionado en la bibliografía consultada.

5.4.1.2 Determinación de la dosis óptima económica para capital limitado

La DOECL es el tratamiento que da la máxima tasa de retorno a capital

variable, y se calcula de la siguiente manera: se resta el yY correspondiente al testigo, del yY del tratamiento en cuestión, y el valor resultante se divide entre los costos variables del mismo tratamiento (Cuadro 6).

El TOECL es, por lo tanto 130-35-122.

VI RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Rendimientos

6.1.1 Temporal

En el Cuadro 7 se presentan los rendimientos experimentales medios al 12% de humedad de los dos experimentos establecidos en suelos de temporal, en donde se observa que el rendimiento del testigo varió de 1,609 kg/ha en Fontezuelas, a 1,871 kg/ha en Napízaro, con una media de 1,740 kg/ha.

En los tratamientos correspondientes a la matriz experimental (1-15) se pueden apreciar también diferencias significativas a un 5% en rendimiento. El rendimiento medio del total de tratamientos varió de 3,015 kg/ha en Napízaro a 3,343 kg/ha en Fontezuelas, con una media general de los dos sitios de 3,179 kg/ha.

6.1.2 Humedad residual

Para los experimentos establecidos en suelos de humedad residual, Cuadro 8, se tiene que el rendimiento del testigo varió de 599 kg/ha en Mojonera, a 790 kg/ha en Nahuatzen, con una media general de 667 kg/ha. El rendimiento medio general, que comprendió todos los tratamientos y todos los sitios fue de 2,231 kg/ha.

Se pudo observar, por visitas a los sitios experimentales durante el ciclo del cultivo, que en este sistema de producción existieron dos estratos

CUADRO 7. RENDIMIENTOS MEDIOS EXPERIMENTALES DE TRIGO AL 12% DE HUMEDAD PARA LOS TRATAMIENTOS ESTUDIADOS EN SUELOS DE TEMPORAL. CICLO PV 1980

No.	TRATAMIENTOS			NAPIZARO ST8005	FONTEZUELAS ST 8006	PROMEDIO
	N	P ₂ O ₅ kg/ha	D S			
1	70	35	122	3458	3092	3275
2	70	35	158	3396	3435	3416
3	70	65	122	3417	3192	3305
4	70	65	158	3554	3203	3379
5	130	35	122	3058	4018	3538
6	130	35	158	3942	4011	3977
7	130	65	122	3662	3931	3797
8	130	65	158	3392	4136	3764
9	100	50	140	3442	3661	3552
10	10	35	122	2246	1940	2093
11	190	65	158	3292	4121	3707
12	70	5	122	2121	2833	2477
13	130	95	158	3333	3858	3596
14	70	35	86	2708	3018	2863
15	130	65	194	3321	3705	3513
*16	130	65	158	3333	4950	4142
17	0	0	80	1871	1609	1740
18	80	40	122	2942	3096	3019
19	130	0	122	1817	3322	2570
20	0	65	122	1995	1725	1860
PROMEDIO				3015	3343	3779
C.M.E.E.				121234	57213	
D M S 1%				655	362	
D M S 5%				492	274	
C.V. (%)				12	7	

* Más 10 toneladas de gallinaza.

CUADRO 8. RENDIMIENTOS MEDIOS EXPERIMENTALES DE TRIGO AL 12% DE HUMEDAD PARA LOS TRATAMIENTOS ESTUDIADOS EN SUELOS DE HUMEDAD RESIDUAL. CICLO PV 1980

No.	TRATAMIENTOS			SAN JUAN TUMBIO ST 8001	HUANIQUEO ST 8002	NAHUATZEN ST 8003	MOJONERA ST8004	PROMEDIO
	N	P ₂ O ₅	D S					
kg/ha								
1	70	35	122	2287	2050	2249	1667	2063
2	70	35	158	2387	2060	2279	1599	2081
3	70	65	122	2323	2279	2317	1653	2143
4	70	65	158	2479	2092	2131	1940	2160
5	130	35	122	3046	2409	2721	2060	2559
6	130	35	158	3467	2297	2375	2181	2580
7	130	65	122	3386	2894	2873	2638	2948
8	130	65	158	3898	3097	2898	2530	3106
9	100	50	140	2732	2613	2605	2077	2507
10	10	35	122	1066	1002	1242	761	1018
11	190	65	158	3683	3282	3041	2162	3042
12	70	5	122	1809	988	1939	1108	1461
13	130	95	158	3699	3403	3050	2512	3166
14	70	35	86	2082	1950	2227	1700	1990
15	130	65	194	3240	3310	2935	2705	3047
*16	130	65	158	4037	3447	3157	3462	3526
17	0	0	80	605	674	790	599	667
18	80	40	122	2533	2037	2365	1599	2133
19	130	0	122	2192	1063	1821	1143	1555
20	0	65	122	619	1119	1021	743	875
PROMEDIO				2578	2203	2302	1842	2231
C.M.E.E.				73985	67700	59701	72222	
DMS 1%				412	394	370	407	
DMS 5%				311	289	280	307	
C V (%)				10	12	11	14	

* Más 10 toneladas de gallinaza.

de comportamiento del trigo, que luego se reflejaron en los rendimientos; así, en la Mojonera, donde la altura supera los 2,600 msnm, los tratamientos en general rindieron menos que en los que estaban abajo de ese límite. Esto se explica por las altas humedades relativas que se observan en esta parte alta, lo que incide en un mayor desarrollo de enfermedades fungosas. En las partes menores a 2,600 m de altitud, el desarrollo de enfermedades fue menor y por lo tanto sus rendimientos fueron mayores.

6.2 Análisis estadístico

Con los rendimientos de grano de trigo, ajustados al 12% de humedad, se procedió a efectuar el análisis de varianza de cada uno de los sitios experimentales. Los datos importantes referentes a este análisis se presentan en el Cuadro 9. Estos análisis indican lo siguiente: sólo en el experimento de Huaniqueo hubo efecto de repeticiones, con probabilidad de cometer error tipo I del 1%; para los cinco sitios restantes este efecto no resultó significativo al 10%; la F de tratamientos, en todos los sitios, fue significativa con probabilidad de cometer error tipo I al 1%, por lo que se continúa su análisis graficando los rendimientos. En el mismo Cuadro 9 se puede observar que el CMEE, en los seis sitios, fluctuó entre 1.21234 y 0.57213, con una media de 0.753425.

El valor del coeficiente de variación (C.V.) fluctuó entre 7 y 14%.

6.3 Respuesta a los factores en estudio

Esta respuesta se determinó en base a los resultados obtenidos con el

CUADRO 9. ANALISIS DE VARIANZA PARA LOS EXPERIMENTOS DE TRIGO, CONDUCTOS EN SUELOS DE TEMPORAL Y DE HUMEDAD RESIDUAL. CICLO P-V 1980.

SITIO	FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS $\times 10^{-5}$	COEFICIENTE DE VARIACION (%)
ST8001	Repeticiones	5	0.42469	NS
	Tratamientos	19	64.35422	***
	Error	95	0.73985	
ST8002	Repeticiones	5	4.09395	***
	Tratamientos	19	46.59555	***
	Error	95	0.67700	
ST8003	Repeticiones	5	2.09539	NS
	Tratamientos	19	27.23472	***
	Error	95	0.59701	
ST8004	Repeticiones	5	2.57716	NS
	Tratamientos	19	34.89585	***
	Error	95	0.72222	
ST8005	Repeticiones	3	4.42842	NS
	Tratamientos	19	16.93584	***
	Error	57	1.21243	
ST8006	Repeticiones	5	1.41623	NS
	Tratamientos	19	43.58123	***
	Error	95	0.57213	

*** La F asociada resulta significativa al 1%

NS No significativo

uso del código de Yates, aplicado a cada uno de los ocho tratamientos correspondientes al cubo de la matriz Plan Puebla II.

6.3.1 Humedad

Con la ayuda de los efectos factoriales del Cuadro 10 se interpreta la respuesta de los factores estudiados en el rendimiento del trigo.

Los efectos lineales de la D, P y N, y las interacciones ND y NP, en el experimento 01, Cuadro 10, resultaron estadísticamente significativos al 5%. La interpretación que se da al N es que al pasar del nivel inferior al nivel superior de este nutrimento, dentro del cubo, se aumentan los rendimientos en promedio, en 1,080 kg/ha de trigo.

La interacción D significa que al pasar del nivel inferior al superior de este factor, se incrementa el rendimiento en 297 kg/ha. La interacción ND indica que la respuesta a N es mayor cuando la D es de 158 kg de semilla/ha, que cuando ésta es de 122 kg de semilla por unidad de superficie. La cantidad 169 da la medida de tal diferencia en respuesta al N.

Una interacción manifiesta que los factores involucrados, en este caso ND y NP, no son independientes; esto es, puede suceder que la respuesta del N no sea la misma a una D baja que a una alta, o bien, que la respuesta de la D no sea la misma a un nivel bajo de N que a un alto. Para saber la respuesta en cada uno de los niveles de los factores involucrados, se hace lo siguiente:

CUADRO 10. EFECTOS FACTORIALES MEDIOS OBTENIDOS MEDIANTE EL CODIGO DE YATES PARA LOS FACTORES DE ESTUDIO, EN LOS EXPERIMENTOS DE HUMEDAD RESIDUAL. CICLO PV 1980.

No.	TRATAMIENTO			S. J. TUMBIO ST8001	HUANIQUEO ST8002	NAHUATZEN ST8003	MOJONERA ST8004	
	N	P ₂ O ₅	D S					
kg/ha								
1	70	35	122 (1)	2909	2397	2480	2034	M
2	70	35	158 d	297*	21	-119	58	D
3	70	65	122 p	225*	386*	149*	313*	P
4	70	65	158 pd	37	29	39	31	PD
5	130	35	122 n	1080*	554*	473*	637*	N
6	130	35	158 nd	169*	67	-41	-51	ND
7	130	65	122 np	161*	256*	189*	150	NP
8	130	65	158 npd	9	128	147*	-146	NPD

EMS al 5% en kg/ha

156

149

140

153

*EFM Significativo

- a) $D - ND = 297 - 169 = 128$ b) $D + ND = 297 + 169 = 466$
 c) $N - ND = 1080 - 169 = 911$ d) $N + ND = 1080 + 169 = 1249$

Las cifras obtenidas dicen que al pasar del nivel inferior de la D al superior, en una dosis baja de N, inciso a, se aumentan los rendimientos en 128 kg/ha, el b) indica que al pasar del nivel bajo de D al alto, con una dosis alta de N, los rendimientos se aumentan en 466 kg/ha.

El c) señala que un cambio de nivel bajo de N a un alto, en un nivel bajo de D, aumenta los rendimientos en 911 kg/ha; y el d) indica que al usar la dosis alta de N en un nivel alto de D, se incrementa el rendimiento en 1249 kg/ha. Estos aumentos del rendimiento son respecto al rendimiento que se obtiene con el nivel inferior del factor que se hace variar.

En el caso del P se puede apreciar su respuesta a los diferentes niveles de D y N, con las siguientes comparaciones:

- a) $P - PD = 225 - 37 = 188$; b) $P + PD = 225 + 37 = 262$
 c) $P - NP = 99 - 161 = -62$; d) $P + NP = 99 + 161 = 260$

De lo anterior se tiene que a niveles altos de P, con niveles altos de D y N (incisos b y d), se aumentan los rendimientos notablemente; mientras que con niveles bajos de D y N se tiene un aumento menor (inciso a) y un abatimiento de los rendimientos (inciso c). volviendo al Cuadro 10, se observa que las significancias a los efectos factoriales medios de los experimentos 02, 03 y 04, son muy similares a las del experimento descrito (01). Por lo tanto, se puede decir que en este sistema de producción el P tiene un efecto positivo en niveles altos de D y N, sobre el rendimiento del trigo.

La respuesta gráfica promedio a los factores en estudio en humedad residual, se muestra en la Figura 6, y en donde se observa que los niveles usados de los factores estudiados, excepto el de P_2O_5 quedaron dentro de la dosis que da el máximo rendimiento y que denomina dosis óptima fisiológica (DOF), esto es, el espacio de exploración estudiado para el nitrógeno y la densidad de siembra, fue suficiente (acertó el supuesto b), no siendo válido esto mismo para el fósforo, ya que la gráfica de respuesta a este factor manifiesta que faltaron 10 o 20 kg más en la prolongación superior de su espacio de exploración para lograr la DOF.

En la misma figura 6 se observa la DOECI obtenida, por medio del triángulo de relación insumo/producto, la cual se aproxima bastante a la DOECI, obtenida por medio del análisis económico. (Cuadro 13).

6.3.2 Temporal

En el Cuadro 11 se presentan los efectos factoriales medios, y en base a ellos se interpreta la respuesta de los factores involucrados sobre el rendimiento del cultivo del trigo.

En el experimento 06 del mismo Cuadro 11, los efectos lineales de la D y N resultaron estadísticamente significativos al 5%. Esto es, que el N, al pasar del nivel inferior al nivel superior, aumenta los rendimientos en promedio, en 809 kg/ha de trigo; lo mismo ocurre con la D, pues al pasar de su nivel inferior al superior el aumento es de 154 kg/ha.

En el caso de P, aunque este no alcanza el valor de EMS al nivel de significancia usado en este trabajo, se puede apreciar su respuesta a los diferentes niveles de D y N, con las siguientes comparaciones:

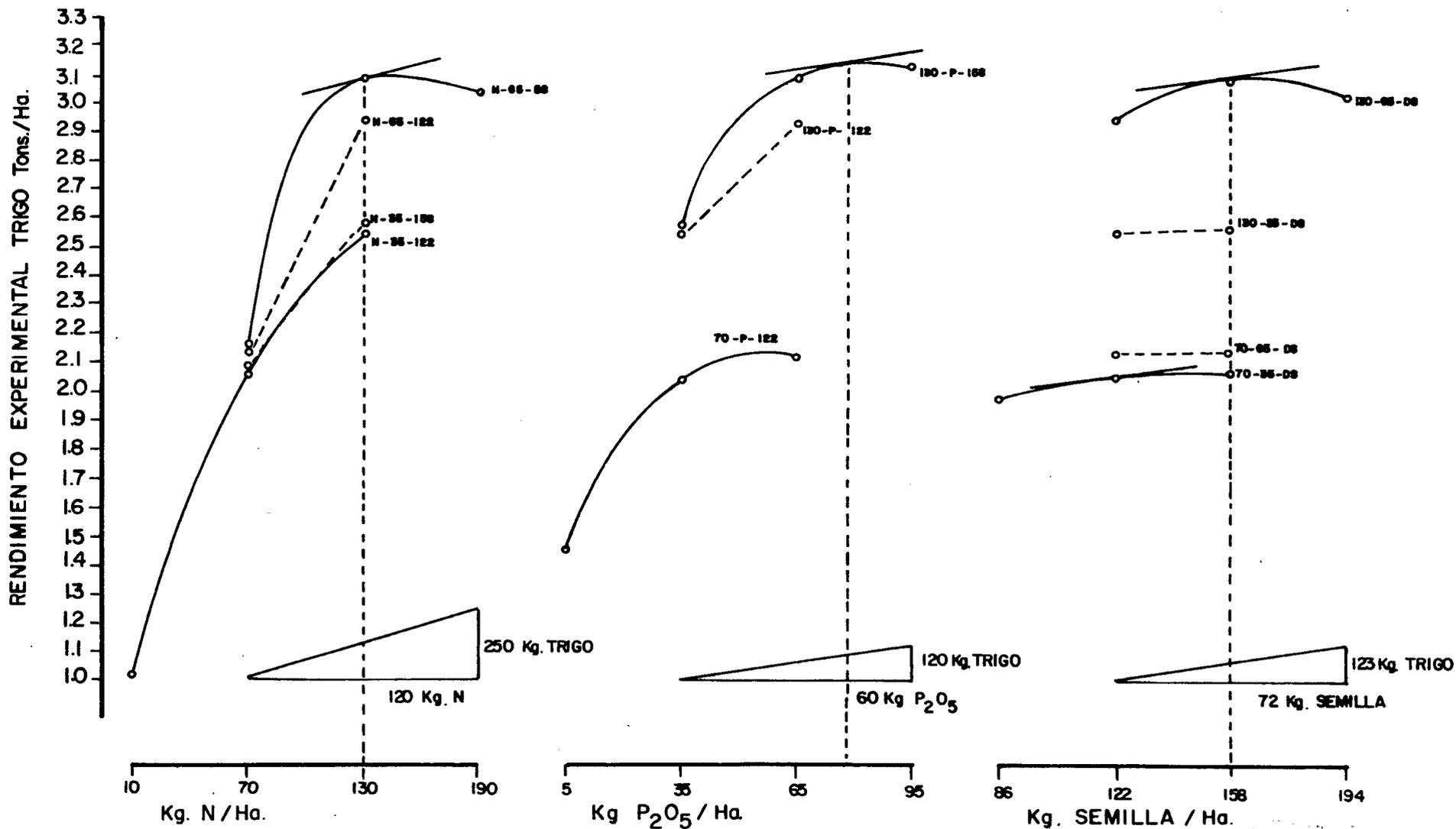


FIG. 6 Representación gráfica de la respuesta promedio del trigo a N, P_2O_5 y DS, solución gráfica de la DOECI para los experimentos de Humedad Residual.

CUADRO 11. EFECTOS FACTORIALES MEDIOS OBTENIDOS MEDIANTE EL CODIGO DE YATES PARA LOS FACTORES DE ESTUDIO, EN LOS EXPERIMENTOS DE TEMPORAL. CICLO P-V 1980

No.	T R A T A M I E N T O				NAPIZARO ST8005	FONTEZUELAS ST8006	
	N	P ₂ O ₅	D S				
kg/ha							
1	70	35	122	(1)	3485	3635	M
2	70	35	158	d	172	154*	D
3	70	65	122	p	43	-7.25	P
4	70	65	158	pd	-478*	-17.25	PD
5	130	35	122	n	57	809*	N
6	130	35	158	nd	135	-22.75	ND
7	130	65	122	np	-15	-7.25	NP
8	130	65	158	npd	-338*	-17.25	NPD
EMS al .5% en Kg/ha					247	137	
*EFM Significativo							

- a) $P - PD = -7.25 - (-17.25) = 10$; b) $P + PD = -7.25 + -17.25 = -24.50$
 c) $P - NP = -7.25 - -7.25 = 0$; d) $P + NP = -7.25 + -7.25 = -14.5$

Esto manifiesta que a niveles altos de P, con niveles altos de D y N (incisos b y d), se reducen los rendimientos notablemente; mientras que con niveles bajos de N y D se tiene un detrimento pequeño o nulo de los rendimientos.

En el experimento 05 que aparece en el mismo Cuadro 11, se observa que los efectos correspondientes a PD y NPD resultaron significativos al cinco por ciento, por lo que se puede apreciar su respuesta a los diferentes niveles de N P y D, con las siguientes comparaciones.

- a) $D - ND = 172 - 135 = 37$; b) $D + ND = 172 + 135 = 307$
 c) $N - ND = 57 - 135 = -78$; d) $N + ND = 57 + 135 = 192$

Las cifras obtenidas manifiestan que al pasar del nivel inferior de la D al nivel superior en una dosis baja de N, inciso a), se aumentan los rendimientos en 37 kg/ha; el b) indica que al pasar del nivel bajo de D al nivel alto, con una dosis alta de N, se aumentan los rendimientos en 307 kg/ha; el c) muestra que un cambio de nivel bajo de N a un alto, en un nivel bajo de D, disminuye los rendimientos en 72 kg/ha; el d) indica que al usar la dosis alta de N en un nivel alto de D, se incrementa el rendimiento en 192 kg/ha.

En el caso del P se aprecia su respuesta a los diferentes niveles de D y N con las siguientes comparaciones.

$$\begin{aligned} \text{a) } P - PD &= 43 - (-478) = 521 \quad ; \quad \text{b) } P + PD = 43 + - 478 = -435 \\ \text{c) } P - NP &= 43 - (-15) = 58 \quad ; \quad \text{d) } P + NP = 43 + - 15 = 28 \end{aligned}$$

Esto pone de manifiesto que a niveles altos de P, con niveles altos de D (inciso b); decrecen los rendimientos notablemente; mientras que niveles altos de P, con niveles altos de N (inciso d), se aumentan los rendimientos. El inciso (a) indica que el P, con el nivel bajo de D, aumenta apreciablemente los rendimientos, no así con el nivel bajo de N. Esto permite decir, que en este sistema de producción, el P en su nivel alto tiene un efecto negativo en niveles también altos de D y N, sobre el rendimiento del trigo.

La respuesta gráfica promedio a los factores en estudio en temporal se muestra en la Figura 7 , y en ella se confirman los resultados del método de Yates, o sea, la no respuesta del nivel alto de fósforo con niveles altos de N y D, además se observa que los niveles usados de los factores N, P y DS quedaron dentro de la dosis que da el máximo rendimiento (DOF), o sea, el espacio de exploración estudiado fue suficiente.(acertó el supuesto b).

En esta misma Figura, la DOECI obtenida por el método del triangulo se aproximó bastante a la DOECI, obtenida por el análisis económico. Cuadro 12 .

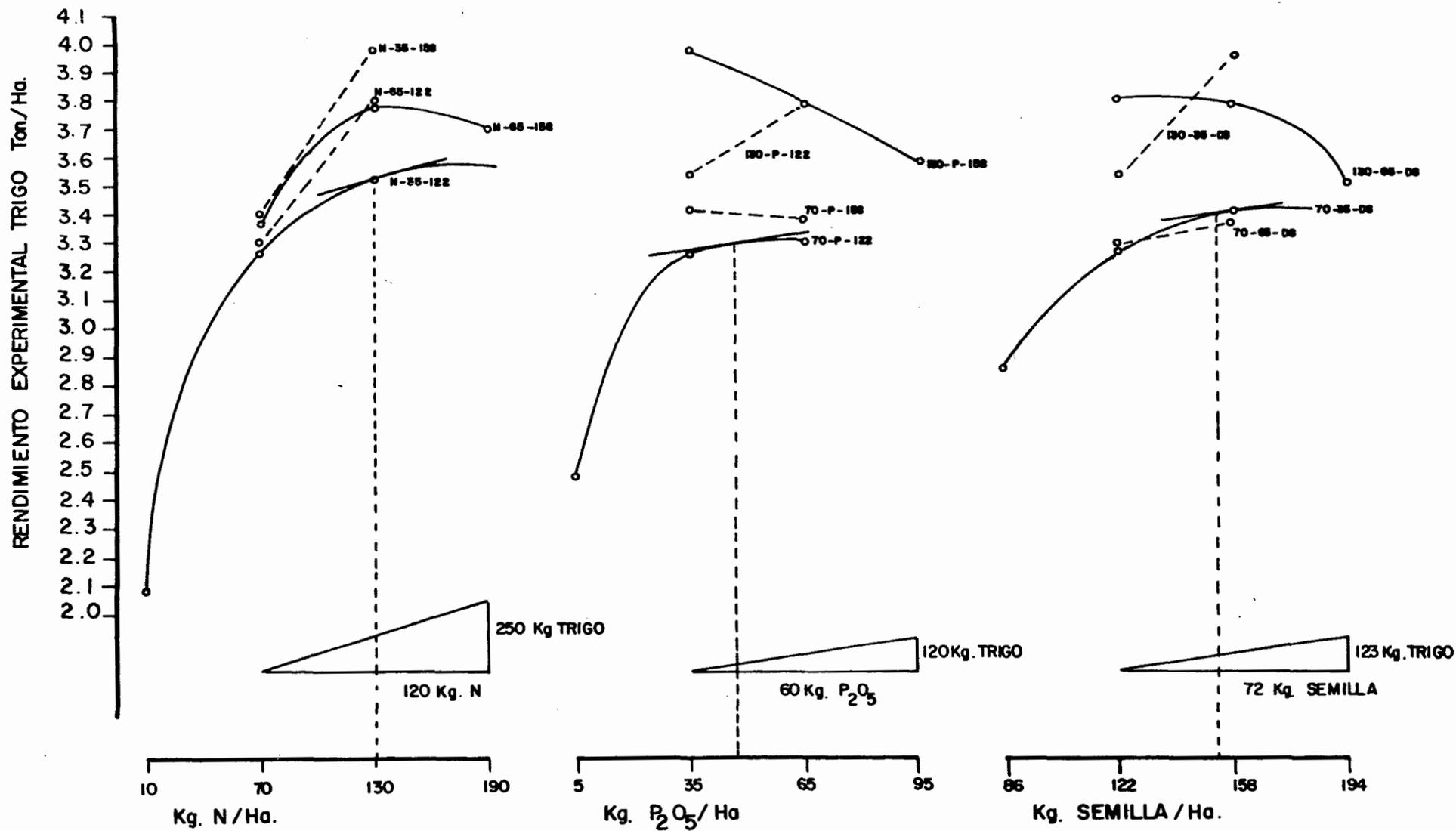


FIG. 7 Representación gráfica de la respuesta promedio del trigo a N, P₂O y DS, solución gráfica de la DOECI para los experimentos de Temporal.

6.4 Análisis económico

Este análisis se practicó a aquellos tratamientos en los que resultó significativo su efecto factorial; en los casos en que este efecto no fue significativo dentro del cubo, se procedió a comparar los rendimientos medios de las prolongaciones del factor no significativo, con los tratamientos medios del cubo que tengan niveles de los factores significativos similares a las prolongaciones, esta prueba de comparación de medias, se hizo mediante el valor de la diferencia mínima significativa al 5%, y en aquellos experimentos que mostraron significancia en rendimiento a estas pruebas. se efectuó el análisis económico a todos los tratamientos, análisis que se hizo de acuerdo con la técnica descrita en materiales y métodos.

La DOECI obtenida por medio del análisis económico se aproximó a la DOECI obtenida por medio del método gráfico, en aquellos experimentos en que las curvas lo permitían, o sea, cuando presentaron un máximo de rendimiento o DOF.

El tratamiento óptimo económico para capital ilimitado fue aquel que presentó el ingreso neto más alto, y para capital limitado el que tuvo la tasa de retorno más alta con respecto al capital variable.

En el Cuadro 12 se presentan los tratamientos óptimos económicos para capital ilimitado y capital limitado para cada uno de los experimentos del sistema de producción de temporal, así como su promedio.

Igualmente en el Cuadro 13 se presentan los tratamientos óptimos eco-

economicos para capital ilimitado y capital limitado para cada uno de los si
tios experimentales del sistema de producción de humedad residual, así como
su promedio.

CUADRO 12. TRATAMIENTOS OPTIMOS ECONOMICOS (TOE) DE NITROGENO, FOSFORO Y DENSIDAD DE SIEMBRA, OBTENIDOS PARA CADA SITIO EXPERIMENTAL EN EL SISTEMA DE PRODUCCION DE TEMPORAL. CICLO AGRICOLA P.V. 1980.

EXPERIMENTO	CAPITAL ILIMITADO			CAPITAL LIMITADO		
	N	P ₂ O ₅	D S	N	P	D S
	kg/ha			kg/ha		
Napízaro	130	35	158	70	35	122
Fontezuelas	130	65	158	130	35	122
PROMEDIO	130	50	158	100	35	122

CUADRO 13. TRATAMIENTOS OPTIMOS ECONOMICOS (TOE) DE NITROGENO, FOSFORO Y DENSIDAD DE SIEMBRA, OBTENIDOS PARA CADA SITIO EXPERIMENTAL EN EL SISTEMA DE PRODUCCION DE HUMEDAD RESIDUAL. CICLO AGRICOLA P-V 1980.

EXPERIMENTO	CAPITAL ILIMITADO			CAPITAL LIMITADO		
	N	P	D S	N	P	D S
	kg/ha			kg/ha		
San Juan Tumbio	130	65	158	130	65	158
Huaniqueo	130	95	158	130	95	158
Nahuatzen	130	95	158	130	35	122
Mojonera	130	65	122	130	65	122
PROMEDIO	130	80	149	130	65	140

VII. RECOMENDACIONES DE PRODUCCION

En base a los resultados de los análisis económicos, se determinaron los tratamientos óptimos económicos (TOE) para capital ilimitado y capital limitado por cada uno de los experimentos del sistema agrícola de temporal, Cuadro 12, en donde se observa que el nivel de nitrógeno fue constante, 130 kg/ha; el fósforo varió de 35 a 65 kg/ha, con una media de 50 kg; mientras que la densidad de siembra fue constante, 158 kg/ha, esto fue para capital ilimitado; y para capital limitado, mismo Cuadro, el nitrógeno varió de 70 a 130 kg/ha con una media de 100 kg; el fósforo y la densidad de siembra se mantuvieron constantes, 35 y 122 kg/ha respectivamente.

En el agrosistema de humedad residual Cuadro 13, para capital ilimitado, el nitrógeno se mantuvo constante en 130 kg/ha, el fósforo varió de 65 a 95 kg/ha, con una media de 80 kg; la densidad de siembra varió de 122 a 158 kg/ha con una media de 149 kg, mientras que para capital limitado el nitrógeno se mantuvo constante en 130 kg/ha; el fósforo varió de 35 a 95 kg/ha con una media de 65 kg; la densidad de población varió de 122 a 158 kg/ha, con una media de 140 kg.

De acuerdo a la metodología empleada para los sistemas de producción estudiados, se encontró que las dosis óptimas económicas para capital ilimitado y capital limitado son los promedios de los tratamientos óptimos económicos para cada sistema de producción. En el Cuadro 14 se tienen las alternativas de fórmulas de producción para el agrosistema de temporal y humedad residual.

CUADRO 14. ALTERNATIVAS DE FORMULAS DE PRODUCCION PROMEDIO PARA LOS SISTEMAS AGRICOLAS DE TEMPORAL Y HUMEDAD RESIDUAL. CICLO AGRICOLA P.V. 1980.

SISTEMA DE PRODUCCION	CAPITAL ILIMITADO			CAPITAL LIMITADO		
	N	P	D S	N	P	D S
	kg/ha			kg/ha		
Temporal	130	50	160	100	35	120
Humedad residual	130	80	150	130	65	140

VIII CONCLUSIONES

Tomando como base los resultados obtenidos en el presente estudio y la discusión de los mismos, en los dos sistemas de producción, temporal y humedad residual, al aplicar diferentes niveles de fertilización nitrogenada y fosfatada y densidad de siembra, se concluye:

Que los niveles de fertilización que el agricultor utiliza en los dos sistemas de producción para el cultivo de trigo en la Sierra Tarasca, limitan la producción.

De acuerdo al análisis de varianza y diferencia mínima significativa, realizado para la variable rendimiento de grano, se puede concluir:

- 1o. Que el cultivo de trigo responde a las aplicaciones de nitrógeno, fósforo y densidad de siembra, en los dos sistemas.
- 2o. No se tienen evidencias para rechazar la hipótesis que menciona que el nitrógeno, fósforo y la densidad de siembra, son factores que limitan la producción ya que todos los experimentos establecidos en los dos sistemas de producción mostraron efectos de tratamientos significativos al 1%.
- 3o. Igualmente no se tienen evidencias para rechazar la hipótesis b.
- 4o. Los supuestos considerados durante la realización del presente estudio fueron válidos. Excepto el relacionado con el del fac-

tor P, en el sistema de producción de humedad residual; esto es su espacio de exploración se debe aumentar en 20 kg/ha, con el fin de aumentar la precisión en la determinación de su DOE.

IX BIBLIOGRAFIA

1. Aguilar y S. 1956. Efectos del nitrógeno (NH_4)₂SO₄ en el rendimiento y calidad de trigo en Michoacán y Guajajuato. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.
2. Campos D., J. 1981. Marco de referencia para la planeación y evaluación de la investigación agrícola en la Mixteca Oaxaqueña. SARH-INIA- CIAPAS- CAEMOAX. Oaxaca, México. p. 82
3. Cochran, W.C y G. M. Cox. 1974. Diseños experimentales. Sexta edición Editorial Trillas, México. pp. 133-137: 279-285.
4. Cortés F., J. 1975. Diseño de recomendaciones prácticas de fertilización y densidad de población en maíz de temporal para varias condiciones de producción en la Sierra Tarasca. Michoacán, México. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp. 2-29.
5. Correa P., G. y Vargas T.F. 1979. Atlas geográfico del estado de Michoacán. Editorial EDDISA. México. p. 22.
6. Chávez R., S. y R.J. Laird. 1959. Clasificación de algunos aspectos de las prácticas de riego usadas en las siembras de trigo en El Bajío y su relación con la respuesta a los fertilizantes. Oficina de Estudios Especiales, SAG. México.
7. Duchaufor, P. 1975. Manual de Edafología. Edit. Toray-Masson. Barcelona, España. pp. 248-256.
8. García E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía UNAM. México. pp 7-21: 143-146.
9. Gaucher, G. 1971. El suelo y sus características agronómicas; tratado de pedología agrícola. Editorial Omega. Barcelona, España. pp. 324-330.
10. González T., J. 1978. Investigación agronómica en maíz bajo condiciones de Humedad Residual en el área de la Sierra Tarasca. Tesis profesional. Escuela de Agricultura, Universidad de Guadalajara, México.
11. Gutiérrez R., E. 1979. Variaciones de algunas propiedades físicas y químicas en suelos de ando por la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos. En memorias del seminario sobre suelos de ando y sus implicaciones sobre el desarrollo agrícola de la Sierra Tarasca. SARH - INIA - CIAB., C.P. Rama de Suelos. pp. 45-73.
12. Martínez G., J. 1980. 20 años de investigación agrícola en el cultivo del trigo en México. Coordinación Nacional del Programa de Trigo. SARH - INIA - CIANO - CAEVY.

13. Martínez Z., G. 1978. Relación de proyectos y subproyectos de investigación a realizar durante el ciclo agrícola P-V 1978 en el programa de trigo de temporal SARH-INIA-CIAB-CAESIT.
14. Moncada de la F., J. 1960. Estudio físico-químico de algunos suelos de origen volcánico del estado de Michoacán, México. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. p. 63.
15. Ortiz V., B. 1977. Fertilidad de suelos; apuntes editados en Chapingo, México. p 110.
16. Sánchez D., N. y Pérez. 1959. Respuesta del maíz a fertilizantes y encalado en la Sierra de Michoacán. Agricultura Técnica en México. pp. 9: 13-14.
17. SARH. 1981. Información básica. Jefatura de Planeación. Michoacán, México.
18. Torres B., M. 1968. Estudio de fertilización sobre el rendimiento de grano y algunas características del cultivo de trigo en el Delta del Rio Mayo. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. p. 4.
19. Turrent F., A. 1978. El método gráfico estadístico para la interpretación económica de experimentos conducidos con la Matriz Plan Puebla I. Rama de Suelos, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. p. 51.
20. _____ y R.J. Laird. 1975. La matriz experimental Plan Puebla, para ensayos sobre prácticas de producción de cultivos. Rama de suelos, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
21. Volke, H.V. 1972. Factores de producción del trigo en suelos trumaos de las provincias de Nalleco y Cautín. Agricultura Técnica. Chile. p. 32(4): 189-200.
22. Wilssie, C.P. 1970. Cultivos, aclimatación y distribución. Edic. Instituto del libro. Cuba.