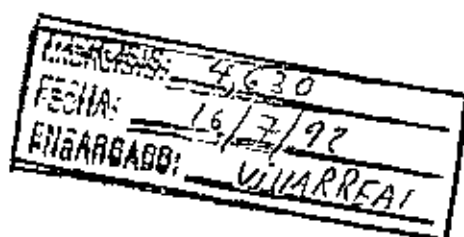


Evaluación Económica de la respuesta de
Maíz Híbrido H-27 a la aplicación de dife-
rentes Niveles de Fertilización Nitrogenada
y Fosforada en La Escuela Agrícola
Panamericana

P O R

Pedro Antonio Curry Zavala

TESIS



PRESENTADA A LA
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCION
DEL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

El Zamorano, Honduras

Abril, 1989

BIBLIOTECA WILSON POPENOL
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TEGUCIGALPA HONDURAS

EVALUACION ECONOMICA DE LA RESPUESTA DE MAIZ HIBRIDO H-27 A
LA APLICACION DE DIFERENTES NIVELES DE FERTILIZACION NITRO-
GENADA Y FOSFORADA EN LA ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

Por: Pedro Antonio Curry Zavala

El autor concede a la Escuela Agrícola Panamericana permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para los usos que considere necesario. Para otras personas y otros fines, se reservan los derechos del autor.



Pedro Antonio Curry Zavala

5 de abril de 1989

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico con toda el alma a mis padres, Heraldó Curry Calix y Carmen Zavala de Curry, por todo el esfuerzo que hicieron y el sufrimiento que pasaron para que yo lograra llegar hasta aquí.

A mi hermanita, Carmen Patricia Curry Zavala, con todo mi amor y con la convicción de que muy pronto ella me dedicará la suya.

A Dios, su Amado Hijo Jesús y a Nuestros Venerables Padres Protectores, quienes siempre estuvieron presentes asesorando no solo esta tesis sino, mi vida entera.

A Honduras.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a Su Amado Hijo Jesús.

Al Abuelito Cipriano de Jesús de Varela, al Hermanito José Pedro Betancurt, al Doctor José Jerónimo Barnett y al Profesor Edmundo Gavidia, por su continuo asesoramiento moral y espiritual.

A todos Nuestros Divinos Espiritus Protectores por su ayuda.

De forma muy especial agradezco al Dr. Jorge Moya, quien además de asesorar esta tesis asesoró mi formación durante este último año con su apoyo y conocimientos.

A la USAID/Honduras por el financiamiento de mis estudios.

A mis consejeros, profesores, compañeros y demás personas que de una u otra forma ayudaron a que esta tesis fuera llevada a cabo.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCION.	1
A.- Objetivos	3
1.- General	3
2.- Específicos	3
II. REVISION DE LITERATURA.	5
A.- Sobre Aspectos Técnicos	5
B.- Sobre Aspectos Económicos	9
III. MATERIALES Y METODOS.	16
A.- Del área experimental	16
1.- De la localización	16
2.- De sus características	17
B.- Sobre el trabajo experimental	17
1.- Sobre el manejo del experimento	17
a.- El área experimental	17
b.- Siembra	17
c.- Fertilización	19
(1) Nitrógeno	19
(2) Fósforo	19
d.- Combate de malezas	20
e.- Combate de plagas	20
f.- Cosecha	20
2.- Diseño Experimental	21
3.- Tratamientos	21
C.- Sobre la recolección de los datos	23
1.- Agronómicos	23
a.- Rendimiento	23
2.- Económicos	23
a.- Costos Fijos	23
b.- Costos Variables	24
c.- Precios de insumos y producto	24
D.- Sobre la evaluación de los datos	24
1.- Agronómicos	24
2.- Económicos	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	27
A.- Análisis de suelo	27
B.- Análisis de varianza	29
C.- Análisis de Regresión: Ajuste de la función	34
D.- Respuesta a Nitrógeno	35
E.- Respuesta a Fósforo	41
F.- Interacción de Nitrógeno y Fósforo	47
G.- Precios de Insumos y Productos	49

V. DETERMINACION DE LAS DOSIS OPTIMAS	52
A.- Optima Producción Física Sin Restricción	52
B.- Optima Producción Económica sin Restricción	53
C.- Niveles Optimos de Nitrógeno para Máxima Producción Física Dados Diferentes Niveles Fijos de Fósforo	58
D.- Niveles Optimos de Fósforo para Máxima Producción Física Dados Diferentes Niveles Fijos de Nitrógeno	59
E.- Niveles Optimos de Nitrógeno para Máxima Producción Económica Dados Diferentes Niveles Fijos de Fósforo	60
F.- Niveles Optimos de Fósforo para Máxima Producción Económica Dados Diferentes Niveles Fijos de Nitrógeno	62
G.- Determinación de los Niveles de Nitrógeno y Fósforo Para Maximizar Producción Dado un Presupuesto	63
1.- Presupuesto	63
2.- Ecuación de Isocosto	63
3.- Senda de Expansión	66
4.- Resolución simultánea de la ecuación de Isocosto y de la ecuación de la Senda de Expansión	68
H.- Determinación de los Niveles Optimos de Nitrógeno y Fósforo Para Minimizar Costos a una Producción Determinada	73
1.- Producción requerida	73
2.- Ecuación de la Isocuanta	73
3.- Resolución simultánea de la ecuación de Isocuanta y de la ecuación de la Senda de Expansión.	75
VI. ANALISIS DE SENSIBILIDAD	78
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
A.- Conclusiones	80
B.- Recomendaciones	82
VIII. RESUMEN	84
IX. BIBLIOGRAFIA	86
X. ANEXOS	91

LISTA DE CUADROS

Cuadro	1. Análisis de Semilla de Maíz Híbrido H-27. Ensayo EAP, 1988.	18
Cuadro	2. Niveles de Nitrógeno y Fósforo Evaluados. Ensayo EAP, 1988.	21
Cuadro	3. Tratamientos que se Utilizaron en el Ensayo EAP, 1988.	22
Cuadro	4. Esquema del Análisis de Varianza Usado. Ensayo EAP, 1988.	25
Cuadro	5. Resultados del Análisis de Suelo de la Terraza 15. Ensayo EAP. 1988.	28
Cuadro	6. Resultados Obtenidos para la Variable Rendi- miento, en la Repetición I. Ensayo EAP. 1988.	30
Cuadro	7. Resultados Obtenidos para la Variable Rendi- miento, en la Repetición II. Ensayo EAP. 1988.	31
Cuadro	8. Resultados Obtenidos Para la Variable Rendi- miento, en la Repetición III. Ensayo EAP. 1988.	32
Cuadro	9. Resultados Obtenidos Para la Variable Rendi- miento, en la Repetición IV. Ensayo EAP. 1988.	33
Cuadro	10. Análisis de Varianza Para Rendimiento. Ensayo EAP. 1988.	34
Cuadro	11. Costos Fijos de Producción en Lps./há. Para el Cultivo de Maíz Híbrido H-27 a un Nivel Tecnificado.	50

Cuadro 12. Costos Variables de Producción en Lps./há Para el Cultivo de Maíz Híbrido H-27 a un Nivel Tecnificado y a un Nivel de Cero Aplicación de N y P.	51
Cuadro 13. Resumen de Costos Totales de Producción en Lps./há Para el Cultivo de Maíz Híbrido H-27, a un Nivel Tecnificado y a un Nivel de Aplicación de Cero N y P.	51
Cuadro 14. Precio del Maíz Grano en Lps./Kg. para la Temporada 88-89, Mes de Octubre de 1988, Para la Zona de la EAP.	51
Cuadro 15. Producción, Ingresos y Costos por Hectárea del Cultivo de Maíz Híbrido H-27, a un Nivel de Aplicación de 102.46 Kgs. de N y un Nivel de 66.07 Kgs. de P (Máximo de Producción Física).	55
Cuadro 16. Producción, Ingresos y Costos por Hectárea del Cultivo de Maíz Híbrido H-27, a un Nivel de Aplicación de 98.02 Kgs. de N y un Nivel de 61.23 Kgs. de P (Óptimo de Producción Económica).	56
Cuadro 17. Resumen Comparativo Porcentual en Lps./há. del Cambio en la Producción, Ingresos y Costos a los Niveles de Máxima Producción Física y Óptimo de Producción Económica Encontrados.	57
Cuadro 18. Producción, Ingresos y Costos (Lps./há.) a Determinados Niveles de N Encontrados a Niveles Fijos de P Para Alcanzar Máxima Producción Física. Ensayo EAP. 1988.	59
Cuadro 19. Producción, Ingresos y Costos en Lps./há. a Determinados Niveles de P Encontrados a Niveles Fijos de N Para Alcanzar Máxima Producción Física. Ensayo EAP. 1988.	60
Cuadro 20. Producción, Ingresos y Costos en Lps./há. a determinados Niveles de N Encontrados a Niveles Fijos de P Para Alcanzar el Óptimo de Producción Económica. Ensayo EAP. 1988.	61
Cuadro 21. Producción, Ingresos y Costos (Lps./há.) a determinados Niveles de P Encontrados a Niveles Fijos de N Para Alcanzar el Óptimo de Producción Económica. Ensayo EAP. 1988.	62

Cuadro 22. Resumen de la Producción, Ingresos y Costos en Lps./há. Obtenidos Dado un M = 70. Ensayo EAP. 1988.	71
Cuadro 23. Resumen Comparativo Porcentual del Cambio en la Producción, Ingresos y Costos Obtenida a los Niveles de Optima Producción Económica y los Obtenidos con un Presupuesto Dado (M = 70). (Lps./há.).	72
Cuadro 24. Análisis de Sensibilidad Para Cambios en los precios de los Insumos y del Producto. Ensayo EAP. 1988.	79
Cuadro 25. Comparación Porcentual de los Cambios en los Niveles Determinados Para Optima Producción Suponiendo Cambios en los Precios del N, el P y el Producto. Ensayo EAP. 1988.	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de N a un nivel de aplicación de 0 Kgs. de P.....	36
Figura 2.	Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de N a un nivel de aplicación de 30 Kgs. de P.....	37
Figura 3.	Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de N a un nivel de aplicación de 60 Kgs. de P.....	38
Figura 4.	Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de N a un nivel de aplicación de 90 Kgs. de P.....	39
Figura 5.	Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de N a un nivel de aplicación de 120 Kgs. de P.....	40
Figura 6.	Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de P a un nivel de aplicación de 0 Kgs. de N.....	42
Figura 7.	Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de P a un nivel de aplicación de 40 Kgs. de N.....	43
Figura 8.	Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de P a un nivel de aplicación de 80 Kgs. de N.....	44
Figura 9.	Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de P a un nivel de aplicación de 120 Kgs. de N.....	45
Figura 10.	Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de P a un nivel de aplicación de 160 Kgs. de N.....	46
Figura 11.	Superficie de respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a la interacción de N y P.....	48

Figura 12. Superficie de costos variables para el cultivo de maíz híbrido H-27 a los diferentes niveles de N y P evaluados.....	65
Figura 13. Líneas de Isocosto para tres niveles de presupuesto.....	66
Figura 14. Senda de expansión y líneas frontera para la función de producción.....	68
Figura 15. Resolución gráfica para determinar los niveles óptimos de N y P dado un presupuesto.....	70
Figura 16. Curvas de isocuantas para dos niveles de producción.....	75
Figura 17. Resolución gráfica para determinar los niveles óptimos de de N y P para alcanzar una producción de 7910.3 Kgs./há.....	77

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1a.	Distribución mensual de la precipitación para el año 1988. Estación de recolección de datos meteorológicos El Zamorano.	93
Anexo 1b.	Temperaturas mínimas y máximas mensuales registradas durante el año de 1988. Estación de recolección de datos meteorológicos El Zamorano.	94
Anexo 2.	Distribución en el campo de los tratamientos usados en el ensayo. EAP. 1988.	94
Anexo 3.	Contenido final de P de las parcelas utilizadas en el ensayo. EAP. 1988.	95

1. INTRODUCCION.

En Honduras, al igual que en muchos países latinoamericanos, el cultivo del maíz es uno de los más importantes, ocupa además, la mayor proporción del área cultivada (Lobo, 1988). Para el año 1985 la producción total de maíz en Honduras alcanzó las 429 mil toneladas, y para 1986 había descendido a 412 mil toneladas. Estos niveles fueron insuficientes para suplir la cantidad demandada por la población (Banco Central de Honduras, 1986, 1985) y para el año 1989 es probable que haya necesidad de realizar importaciones de ese grano (EL HERALDO, 1989).

Doll y Orazem, 1984, sostienen que la investigación agrícola no solo contribuye a desarrollar nuevas variedades, genes o al mejoramiento de la calidad de los insumos, sino que también afecta el uso y combinación de ellos.

En un país con tan relativamente poca tierra agrícola, se ve la necesidad de hacer investigaciones que busquen aumentar la producción y la productividad del maíz, sin tener que aumentar el área sembrada. Una de las formas más recomendadas para lograr este aumento es el uso de fertilizantes (IICA, 1985, Llanos, 1984, Cooke, 1982).

Este aumento depende también de otros factores asociados tales como época de siembra, densidad, uso de variedades

mejoradas, labranza, etc. (Cooke 1982; FAO, 1980, 1966, Obando, 1980; González, 1977; Green, 1974;).

Honduras no produce fertilizantes y enfrenta el problema de que al no producirlos, necesita importarlos, lo que se refleja en los precios relativamente altos de los mismos. Así, la medida en que los agricultores practiquen el abonado en el maíz depende en gran parte del margen de beneficio de su aplicación. Cooke, 1982 y FAO, 1966; definen la dosis óptima económica de aplicación de fertilizantes como aquella cantidad de fertilizante, que dados los niveles de costos y precios produce los mayores beneficios netos por hectárea, coincidiendo ambos en afirmar que esta no es precisamente la que produce la mayor producción física. Cuando dos o más fertilizantes ejercen un efecto combinado en la respuesta del cultivo, la dosis óptima de un fertilizante depende de las dosis que se apliquen de los otros.

Lobo, 1988, inició trabajos de investigación con el propósito de determinar la función de superficie de respuesta a la fertilización nitrogenada y fosforada para las condiciones de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP). El presente estudio pretende continuar dichos trabajos con el fin de establecer recomendaciones valederas, sobre los niveles de aplicación de fertilizantes en la producción de maíz híbrido en la EAP.

En un estudio de este tipo, las principales limitantes las constituyen las variaciones , que de un año a otro,

pueden ocurrir en factores tales como el clima, contenido de nutrimentos del suelo, las épocas de siembra, el ataque de plagas, etc.. Estas limitantes estuvieron presentes en el estudio realizado, pero su efecto se verá reducido al tratar de uniformizar estas variables en el transcurso del tiempo. Si esta investigación continuase siendo realizada en años futuros, se minimizaría al máximo posible, el efecto limitante de los factores antes mencionados.

A.- Objetivos

1.- General

a.- Determinar la superficie de respuesta del maíz híbrido H-27 a la fertilización nitrogenada y fosforada, bajo las condiciones de la EAP.

2.- Específicos

a.- Determinar la función de mejor ajuste a la respuesta del maíz híbrido H-27 a la aplicación de nitrógeno (N) y fósforo (P).

b.- Aplicar la metodología del análisis económico para:

(1) Determinar, para los niveles de precios de insumos y productos establecidos, la dosis óptima para máxima producción física de aplicación de fertilizantes

nitrogenados y fosforados.

(2) Determinar la dosis para máxima producción económica, de aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosforados, y su comparación con los óptimos físicos.

(3) Mostrar las diferentes alternativas económicas de producción a los diferentes niveles de fertilización evaluados.

c.- A partir de los resultados obtenidos con base en los objetivos anteriores, formular una recomendación de fertilización nitrogenada y fosforada para las condiciones de la EAP.

II. REVISION DE LITERATURA.

A.- Sobre Aspectos Técnicos.

Sostiene Sen, 1966, que uno de los medios técnicos más eficaces para aumentar la producción y productividad agrícola es propagar el uso de fertilizantes.

Luchsinger, 1975, dice que los incrementos en la producción del maíz en el mundo han sido posibles por el aumento de la densidad de siembra, aumento en los niveles de fertilización y mejores híbridos. Así mismo Moyle y col., 1962, llegaron a la conclusión de que la aplicación de fertilizantes contribuye más al incremento de la producción que el uso de agua o semillas mejoradas.

El empleo racional de los fertilizantes ocupa un lugar destacado entre los medios para mejorar rendimientos y explotar las grandes posibilidades potenciales de las variedades de maíz híbrido. (Llanos, 1984). Por el contrario, FAO, 1980, sostiene que si bien los fertilizantes son uno de los factores mas importantes que pueden contribuir al aumento de la productividad, no resuelven por si solos todos los problemas de la producción agrícola. Más aún radical es la postura de Broom y Selznick, s.f., quienes sostienen que el

crecimiento en la dependencia en los fertilizantes artificiales, da como primer resultado un mayor rendimiento por unidad de área, pero además como resultado " oculto " provoca una mayor tensión ecológica debido a sus resultados indeseables de contaminación.

A pesar de lo anterior Cooke, 1982, cita dos importantes razones para aumentar el uso de fertilizantes y así aumentar la producción:

- 1.- Incrementar la producción de comida para alimentar una población creciente.
- 2.- Incrementar los beneficios de los agricultores.

En datos publicados por el mismo autor se puede ver que mientras el potencial promedio establecido para maíz es de 22 TM/há, en países desarrollados* la producción promedio es de 5.8 TM/há y en los países en desarrollo es tan solo de 1.3 TM/há. Esto sin menoscabo de que en los países en desarrollo la producción ha aumentado considerablemente en los últimos años, pero el grano producido no ha sido suficiente para balancear el aumento en población. Este aumento en producción ha sido logrado gracias a diferentes mejoras en tecnología, incluyendo el aumento de las cantidades de uso de fertilizantes (3/4 partes).

Cooke, 1982, afirma que se deben de realizar experimentos " frescos ", pues experimentos de más de 30 años son obsoletos. Usualmente estos experimentos eran realizados

* Según clasificación de la FAO, 1981. (Ref. Nº 15).

para identificar las necesidades de un nutrimento específico, sin estudiar la interacción que existe entre los mismos fertilizantes, o entre estos y otros factores. Sostiene el mismo autor, que solo experimentos de campo que prueben muchos niveles de cada nutrimento pueden mostrar como los fertilizantes afectan los rendimientos y que estos experimentos forman la base para decidir la cantidad exacta a usar de un fertilizante.

Cooke, 1987, cita estudios realizados en Gran Bretaña donde se afirma que la dosificación del N es la primera que hay que seleccionar pues este nutrimento da en su aplicación las mayores ganancias por unidad que las logradas por el Potasio (K) y el Fósforo (P). Además experimentalmente se ha demostrado que el N puede contribuir a la eficiencia en el uso del agua (National Plant Food Institute, 1974).

Los efectos del N son principalmente en rendimiento y calidad del grano (Llanos, 1984).

La respuesta a N, esta afectada principalmente por el efecto de la lixiviación (Cooke, 1982). El mismo autor sostiene que el N que no es lixiviado se pierde por desnitrificación en los suelos mal drenados.

En cuanto a épocas y métodos de aplicación se han obtenido resultados bastante contradictorios. Green, 1974, encontró que en diferentes suelos de la región de Managua, Nicaragua, no existen diferencias significativas al comparar diferentes épocas de aplicación complementarias de N en

maíz.

En experimentos conducidos por la American Society of Agronomy, 1966, en el norte y este de los Estados Unidos se afirma que los mejores rendimientos del maíz se obtienen aplicando todo el N a la siembra. Lo mismo afirman otros autores (Lugo, 1967, Mebersky, 1965). En publicación de la National Plant Food Institute, 1974, se afirma que la cantidad de nutrimentos que la planta toma al principio es pequeña, pero es importante que la planta cuente con la cantidad apropiada para que el futuro desarrollo de la planta no sea limitado.

Krantz, 1974 y Olson y col., 1964, en experimentos realizados en los Estados Unidos encontraron más provechoso aplicar el N fraccionado a la siembra y al aporque, obteniendo resultados satisfactorios.

Vitosh y col., 1974, sostienen que la mejor forma de colocar el N para un 100 % de eficiencia es por medio de los sistemas de rocío (a través del agua), pero que aplicaciones en banda a una profundidad media de 5 cm pueden resultar con un alto grado de eficiencia.

Por su parte, el P es considerado en la literatura, como el ejemplo clásico de un fertilizante ineficiente. Solo en un 10 a 30 % del aplicado es usado por la planta, el resto fácilmente es fijado al suelo, volviéndose no soluble (Cooke, 1982, National Plant Food Institute, 1974).

Diversos autores recomiendan su aplicación total a la siembra (Cooke, 1982, Gudiel, 1987). Llanos, 1984, sostiene que es necesario que la planta encuentre suficientes cantidades de P en los primeros estados, pues si no pueden ocurrir daños irreversibles.

Gonzalez, 1977, Espinoza, 1973 y Cajar, 1972, después de realizar varios experimentos, afirman que en promedio las densidades de siembra que van de 40,000 a 60,000 plantas/há. no muestran diferencias significativas aún cuando se combinan con niveles crecientes de N.

En cuanto a la profundidad de siembra es ampliamente reconocido en la literatura que una profundidad promedio de 3 cm es suficiente en suelos de humedad media (Llanos, 1984, Gudiel, 1987). En el experimento conducido por Lobo, 1988, se utilizó una densidad de siembra de 50,000 plantas/há. a una profundidad de siembra de 3 cm obteniendo resultados satisfactorios.

B.- Sobre Aspectos Económicos

Llanos, 1984, afirma que para aumentar tanto la superficie cultivada como su productividad, es necesario demostrar al agricultor que el maíz es un cultivo rentable.

La cantidad de fertilizante que produce la mayor ganancia por unidad de área, se conoce como fertilización óptima económica (Cooke, 1982, FAO, 1966); esta depende de la

reacción en rendimiento esperado (debido a agua, humedad del aire, tipo de suelo, cultivos y fertilizaciones previas, aireación, etc.), del costo del fertilizante, del financiamiento y de la magnitud del riesgo que el agricultor pueda correr (Gudiel, 1987, Cooke, 1982, National Plant Food Institute, 1974).

Cooke, 1982, cita entre otras, como una de las restricciones que impiden el uso de los fertilizantes en los países en desarrollo, el poco conocimiento sobre aspectos básicos de la respuesta de los cultivos a los fertilizantes y sostiene que la verdadera prueba de que los fertilizantes son benéficos, por dar rendimientos mayores que sus costos de aplicación, solo puede probarse por experimentos de campo.

La forma usual de encontrar la dosificación de fertilizante para un cultivo se basa en experimentos de campo, donde se prueban diferentes cantidades de nutrimentos. Estos ensayos de abonamiento correctamente planeados y evaluados proporcionan una base muy segura para las recomendaciones de fertilización (Cooke, 1987, Gudiel, 1987, Instituto de la Potasa, s.f.).

Científicamente la producción objetivo es la máxima producción que el cultivo esta en capacidad de lograr en un sitio particular, pero la máxima producción física no es siempre, la que rinda, en términos de dinero, el mayor beneficio (Cooke, 1982, FAO, 1980, 1966). Para obtener el

máximo beneficio por unidad de área debería aplicarse una cantidad determinada, de tal modo que el beneficio económico del último incremento de la cantidad de nutrimentos aplicados sea igual al costo añadido al aplicarse esa cantidad. Para esto es necesario hacer ensayos que determinen la función de superficie de respuesta del cultivo (FAO, 1980).

Una función de producción es la relación matemática que describe en que forma la cantidad de un producto depende de las cantidades de insumos utilizados, informándonos acerca de la cantidad de producto que podemos esperar a determinados niveles de insumos (Bishop y Toussaint, 1982, FAO, 1966).

Correctamente diseñado el experimento, se espera que los incrementos que se obtengan en rendimiento sigan la ley de los rendimientos decrecientes (Ley de Mitscherlich) o la ley del mínimo (Ley de Liebig). Una vez conducido el experimento, el problema consiste en encontrar la función que mejor se ajuste a los resultados obtenidos (Rodríguez y Laird, 1977).

Existen varias funciones de superficie de respuesta (Little y Hills, 1976, FAO, 1966, Heady , 1961, Munson y Doll, 1959, Heady y col., 1955) entre ellas:

- 1.- Superficie Cuadrática de Respuesta.
- 2.- Fórmula de la Raíz Cuadrada.
- 3.- Fórmula de Cobb-Douglas.
- 4.- Función de Mitscherlich-Baule.

Heady y Dillon, 1961, sostienen que las relaciones estadísticas, comparaciones gráficas y el criterio y experiencia del investigador, son la base o guías de selección de las funciones de mejor ajuste. Little y Hills, 1976, apoyan lo anterior al afirmar que " algunas veces el conocimiento cabal y la experiencia con las variables estudiadas nos capacita para elegir un tipo de curva más lógica que las demás ".

Por su parte, Rodríguez y Laird, 1977, afirman que cuando se comparan varios modelos con el propósito de seleccionar estadísticamente la función que mejor se ajuste a los datos, aún cuando el Coeficiente de Determinación (r^2) y la Suma de Cuadrados de la Regresión (SCDR), son expresiones que están relacionadas, las diferencias para tomar la decisión se aprecian mejor en la SCDR.

Heady y col., 1955, presentan los experimentos en dos cultivos de maíz y trébol rojo y seleccionan la fórmula de la Raíz Cuadrada como el mejor modelo basado en varias relaciones estadísticas y comparaciones gráficas. Munson y Doll, 1959, utilizando los mismos datos seleccionan el modelo cuadrático sin dar ninguna explicación. El mismo Heady, 1961, utiliza el modelo cuadrático para ilustrar con los mismos datos, la metodología del análisis económico.

Dillon y Orazem, 1984, utilizan también un modelo cuadrático con interacción, basados en un estudio empírico de fertilización con N y P en maíz, para describir la misma

metodología.

Smith y Parks, s.f., proponen modelos de simulación para incorporar el tiempo en las funciones de producción y además sostienen que en un experimento por ellos conducido, se probaron diferentes modelos de funciones pero determinaron la cuadrática como la que mejor se ajustaba.

Obando, 1980, en un experimento conducido en ultisoles de Nicaragua para la respuesta a N y P de la asociación maíz-frijol concluye que los mejores resultados del ajuste lo logra con una función de respuesta cuadrática; a la misma conclusión llegan Rodríguez y Laird, 1977, y Bondavalli y col., 1970, conduciendo sus propios experimentos en diferentes lugares.

Abraham y Rao, 1960, citados por FAO, 1966, muestran que en investigaciones sobre la conveniencia de distintos modelos funcionales para describir la relación de rendimiento-dosis con datos obtenidos en la India, indican que una simple función cuadrática de respuesta es satisfactoria en la mayoría de los casos.

Por otra parte, Gandarillas, 1970, Colyer y Kroth, 1968 y Johnson y Finley., s.f., afirman que el modelo de mejor ajuste dependerá de los factores de clima y suelo que prevalezcan en la zona. En investigaciones realizadas por D'Amico, 1972, en México se concluyó que el modelo que mejor describía la relación de los factores de producción era diferente para cada ambiente.

Rodriguez y Laird, 1977, observan que en la estimación de la dosis de fertilización óptima económica, no hay que confiar plenamente en los modelos matemáticos de predicción. Reynaert, 1967, sostiene que las funciones de producción tienen limitaciones técnicas de extrapolación, y que por lo tanto no pueden ser extrapoladas a otras variedades del cultivo, a diferentes suelos o a suelos con diferente manejo previo.

Bishop y Toussaint, 1982, citan por lo menos tres limitaciones de las funciones de producción, siendo:

- 1.- Solo se mide el efecto del factor en forma cuantitativa.
- 2.- Las funciones de producción esconden o dan una mala representatividad de la rentabilidad del uso de los insumos.- Vitosh y col., 1974, sostienen que esto es debido a que los primeros aumentos en la cantidad de fertilizante usado, dan mayores aumentos en producción, que aquellos realizados al irse acercando a la dosis óptima.
- 3.- A veces el objetivo de maximizar el ingreso es limitado.- La frecuente escasez y carestía de los fertilizantes (EL HERALDO, 1988) ha dejado a los productores con poca disponibilidad de los mismos por lo que Vitosh y col., 1974, afirman que el productor debe usar menos de la cantidad óptima y en esta situación deseará conocer hasta que punto

debe aumentar su fertilización dada una tasa de retorno apropiada para cada caso en particular.

Para esto último el CIMMYT, 1988, propone un "Análisis de Retorno Marginal", poniendo énfasis en la comparación de los costos con sus beneficios pues sostiene que al agricultor le interesa saber el aumento en costos que se requiera para obtener un determinado aumento en los beneficios.

III. MATERIALES Y METODOS.

A.- Del área experimental

1.- De la localización

Se llevó a cabo un ensayo en los terrenos conocidos como la " Terraza 15 " del Departamento de Agronomía de la EAP, ubicada en el valle del río Yeguare a 35 Km. al este de Tegucigalpa, departamento de Francisco Morazán, Honduras, a 14° 00' latitud norte y 87° 02' longitud oeste.

Se utilizó un total de 2,613.6 m² de tierra que corresponden a parcelas experimentales, bordes y calles. Cada parcela utilizó un área de 16 m², correspondientes a 4 surcos de 5 m de largo, con una distancia entre surco de 0.8 m. Un surco (0.80 m) separaba cada columna de parcelas. Cada fila de parcelas estaba separada por un espacio de 1 m; a la vez, cada repetición (Bloque) estaba separada del otro por un desague de 1 m de ancho, sirviendo esto al mismo tiempo para evitar posibles problemas de inundación. La parcela útil consistió en los dos surcos centrales de cada parcela a los cuales a su vez, se le eliminaron 0.5 m de borde a cada extremo. Esto dió como resultado una parcela útil de 6.4 m².

2.- De sus características

El lugar experimental se encuentra a una altitud aproximada de 800 msnm, con una temperatura media anual que oscila entre los 19 y 29 °C y con una precipitación que va de los 1100 a los 1250 mm por año, la mayor parte distribuidos en seis meses (mayo a octubre). Los datos de precipitación y temperatura se presentan en el Anexo 1a y 1b respectivamente. El análisis de suelo se realizó en el Laboratorio de Suelos del Departamento de Agronomía de la EAP. Al finalizar el ciclo del cultivo se tomó una muestra de suelo para cada una de las parcelas para determinar el contenido de P disponible final.

B.- Sobre el trabajo experimental

1.- Sobre el manejo del experimento

a.- El Área experimental

Se dió un pase de arado y dos pases de rastra. Se surcó a máquina.

b.- Siembra

Se utilizó semilla certificada del híbrido H-27. El análisis de la semilla fue realizado en el Laboratorio de Semillas del Departamento de Agronomía de la EAP.

El cuadro 1 muestra el resultado de dicho análisis.

Cuadro 1. Analisis de Semilla de Maíz Híbrido H-27. Ensayo EAP, 1988 .

VARIEDAD	H-27
PRODUCTOR	EAP
LUGAR	VEGA 2-3
FECHA DE COSECHA	OCT.-87
LOTE #	1
PUREZA	99.87 %
MATERIA INERTE	0.13 %
OTROS CULTIVOS	0.00 %
MALEZA	0.00 %
GERMINACION	85.00 %
FECHA DE PRUEBA	JUN.-88

FUENTE: Laboratorio de Semillas del Departamento de Agronomía de la EAP.

La siembra fue realizada el día 19 de junio de 1988. La semilla fue sembrada a una distancia de 80 cm entre surco y 25 cm entre planta. La densidad utilizada fue de 50,000 plantas/há.. Se sembró manualmente colocando dos semillas por postura a una profundidad media de 3 cm. Se hizo una aplicación de furadan 5 G a razón de 25 Kgs./há. aplicado en el surco al momento de la siembra, para la prevención de insectos plagas del suelo. La germinación se produjo a los 5 días de sembrada la semilla. Debido a lluvias que se sucedieron en el periodo entre siembra y germinación, se formó

una costra en el suelo que impidió que la semilla de algunas posturas germinara. Por esto a los 14 días después de siembra fue necesario realizar un trasplante para conservar la distancia deseada entre plantas. Posteriormente, a los 20 días después de sembrado el cultivo se le realizó un raleo para dejar una sola planta por postura alcanzando así la población de 30,000 plantas/há..

c.- Fertilización ✓

La aplicación de los fertilizantes se realizó de la siguiente forma:

(1) Nitrógeno

Dos dosis. La primera (33.0 % del total) al momento de la siembra en el fondo del surco donde se colocó la semilla; la segunda aplicación se realizó 35 días después de la primera, en bandas a 10 cm de la hilera de plantas.

(2) Fósforo

Una sola aplicación al momento de la siembra en el

una costra en el suelo que impidió que la semilla de algunas posturas germinara. Por esto a los 14 días después de siembra fue necesario realizar un transplante para conservar la distancia deseada entre plantas. Posteriormente, a los 20 días después de sembrado el cultivo se le realizó un raleo para dejar una sola planta por postura alcanzando así la población de 50,000 plantas/há..

c.- Fertilización

La aplicación de los fertilizantes se realizó de la siguiente forma:

(1) Nitrógeno

Dos dosis. La primera (33.0 % del total) al momento de la siembra en el fondo del surco donde se colocó la semilla; la segunda aplicación se realizó 35 días después de la primera, en bandas a 10 cm de la hilera de plantas.

(2) Fósforo

Una sola aplicación al momento de la siembra en el fondo del surco.

Como fuente de N se usó urea (46 % de N) y como fuente de P se usó superfosfato triple (46 % de P_2O_5).

d.- Combate de malezas

Se realizó un control químico de malezas al momento de la siembra. Se usó la combinación de los herbicidas lazo y gesaprin a una dosis de 1.5 Kgs. de i.a./há. para cada uno, en preemergencia. Al momento de la segunda fertilización se realizó una deshierba manual.

e.- Combate de plagas

Como se mencionó, se hizo una aplicación de furadan 5 G al momento de la siembra con lo que se previno posibles ataques de plagas del suelo. A los 20 días después de siembra fue necesario realizar una aplicación de 240 grs./há. de producto comercial de lannate 90, debido a que fue detectada una infestación crítica de Spodoptera frugiperda S. Debido a un segundo ataque del mismo insecto a los 20 días de la aplicación anterior, se hizo una aplicación de 12 Kgs./há. de volaton G al 1.5 %, aplicado al cogollo.

f.- Cosecha

La cosecha se realizó el 5 de octubre de 1988. Se cosecharon todas las mazorcas que se encontraban dentro de la parcela útil. La humedad de las mazorcas a la cosecha fue de aproximadamente un 26 %.

2.- Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con un arreglo factorial de $5 \times 5 \times 4$. (25 tratamientos y 4 repeticiones). La distribución en el campo de las parcelas experimentales se muestran en el Anexo 2.

3.- Tratamientos

Se evaluaron 5 niveles de fertilización nitrogenada y 5 niveles de fertilización fosforada (Cuadro 2). De la combinación de ellos resultan 25 tratamientos descritos en el cuadro 3.

Cuadro 2. Niveles de Nitrógeno y Fósforo Evaluados.
Ensayo EAP, 1988.

Elemento	Kg./Ha.				
Nitrógeno	0	40	80	120	160
Fósforo*	0	30	60	90	120

* Los niveles de P son en base a P_2O_5 .

Cuadro 3. Tratamientos que se Utilizaron en el
Ensayo EAP, 1988.

Nº de Tratamiento	Factores	Tratamiento (Kg/Ha.)
1	N-P*	0 - 0
2	N-P	0 - 30
3	N-P	0 - 60
4	N-P	0 - 90
5	N-P	0 - 120
6	N-P	40 - 0
7	N-P	40 - 30
8	N-P	40 - 60
9	N-P	40 - 90
10	N-P	40 - 120
11	N-P	80 - 0
12	N-P	80 - 30
13	N-P	80 - 60
14	N-P	80 - 90
15	N-P	80 - 120
16	N-P	120 - 0
17	N-P	120 - 30
18	N-P	120 - 60
19	N-P	120 - 90
20	N-P	120 - 120
21	N-P	160 - 0
22	N-P	160 - 30
23	N-P	160 - 60
24	N-P	160 - 90
25	N-P	160 - 120

* Los niveles de P son en base a P_2O_5 .

C.- Sobre la recolección de los datos

1.- Agronómicos

a.- Rendimiento

Como ya se mencionó, se cosecharon las mazorcas de maíz que se encontraban dentro del área considerada como la parcela útil. Las mazorcas fueron secadas a sol hasta alcanzar una humedad aproximada de 22 %, humedad a la cual fueron desgranadas. El desgrane se realizó manualmente. El rendimiento por hectárea se normalizó a una humedad de 14 % utilizando la siguiente fórmula^u:

$$P_i = \frac{100-H_i}{100-H_d}$$

Donde

P_i = Peso a la humedad inicial.

H_i = Humedad inicial.

H_d = Humedad deseada (14 %).

2.- Económicos

a.- Costos Fijos

Considerados como aquellos que no estuvieron afectados por cambios en la fertilización o la producción.

^u Perdomo, 1988. Comunicación personal.

b.- Costos Variables

Considerados como aquellos que variaron con los distintos niveles de fertilización o producción.

c.- Precios de insumos y producto

Se utilizaron precios de mercado al momento de compra (en el caso de los insumos) o de cosecha (en el caso del producto) en la zona de la EAP.

Todos los costos y productos fueron determinados para el cultivo del maíz híbrido H-27 a un nivel tecnificado y comparable al de la EAP.

D.- Sobre la evaluación de los datos

1.- Agronómicos

Se realizó un análisis estadístico (Paquete MSTAT v 4.0) por medio de un análisis de varianza para los diferentes niveles de N y P, tomando como variable rendimiento por hectárea.

El esquema del análisis de varianza se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Esquema del Análisis de Varianza Usado.
Ensayo EAP, 1988.

Factor de Variación	Grados de Libertad Asociados	
Bloques		3
Tratamientos		24
Nitrógeno	4	
Fósforo	4	
N X P	16	
Error		72
Total		99

2.- Económicos

Se determinó la función de mejor ajuste apropiada a los datos resultantes, con ayuda del paquete estadístico MSTAT v 4.0., usando como criterio de decisión el r^2 (escogiendo aquella función que presentara el r^2 más alto) así como diferentes comparaciones gráficas (con ayuda de los programas LOTUS 123 v 2.0 y PERSPECTIVE v. 1.1).

Las repeticiones II y III mostraron un comportamiento anormal. Se supone que lo anterior fue debido a que durante el mes de junio de 1988 se presentaron vientos huracanados acompañados de fuertes lluvias, que causaron daños en esas repeticiones (especialmente daños por inundación y por acame). Por lo anterior para el ajuste de la función solo se tomaron en cuenta los datos provenientes de las repeticiones I y IV.

Una vez determinada la función, se procedió a efectuar una derivación parcial de la misma, igualándola a cero para obtener la dosis de máxima producción física, luego se igualó a la relación de precios para obtener la dosis óptima económica de producción. Usando los mismos criterios se determinaron las dosis óptimas de producción física y económica para niveles dados de N y P. También se determinaron los niveles de N y P para máxima producción económica dado un nivel de presupuesto, y los niveles de N y P para producir a costo mínimo una determinada producción.

Por medio de un análisis comparativo se muestran las diferentes alternativas de producción dadas para los diferentes niveles de aplicación de N y P. Además se realizó un análisis de sensibilidad a cambios de precio tanto de los insumos (N y P) como del producto (maíz).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A.- Análisis de suelo

Los resultados del análisis de suelo de la terraza se muestran en el cuadro 5. Se puede observar que el suelo tiene una textura franco arenosa, con un contenido de N y P bajo (0.046 % y 11.75 ppm, respectivamente) por lo que se pueden esperar respuestas positivas a estos elementos. El contenido de materia orgánica (2.6 %) puede ser considerado bajo. El pH (KCl) determinado (4.95) es ligeramente ácido. El suelo mostro un contenido de K alto (556.10 ppm).

Cuadro 3. Resultados del Análisis de Suelo de la
Terraza 15. Ensayo EAP. 1988.

Textura	Franco arenosa
Arena	52.0 %
Limo	32.0 %
Arcilla	16.0 %
Contenido de N	0.046 %
Contenido de P	11.750 ppm.
Contenido de K	556.100 ppm.
Contenido de Materia Orgánica	2.6 %
pH en KCl	4.95

Fuente: Laboratorio de Suelos del Departamento de
Agronomía de la EAP. Elaboración propia.

El Anexo 3 muestra los resultados del análisis de suelo para contenido de P disponible final de cada una de las parcelas del ensayo. Puede notarse que a pesar de que la mayoría de las parcelas muestran un contenido final de P bajo, algunas muestran contenidos que van de medio a alto, como es el caso de ciertas parcelas de la repetición IV, donde el contenido llegó hasta las 36 ppm. Como es de esperarse, las parcelas que recibieron menos P al momento de la siembra muestran los contenidos finales más bajos, con algunas excepciones debidas posiblemente a los contenidos iniciales del suelo antes de la siembra.

B.- Análisis de varianza

A partir de los datos de rendimiento (Cuadros 6 a 9) obtenido de cada uno de los tratamientos estudiados en el ensayo, se realizó un análisis de varianza (Cuadro 10), el que nos muestra que para los factores N y P, hay una respuesta significativa lo mismo que para su interacción.

También resulto estadísticamente significativa la variación debida a repeticiones, por lo tanto fue justificado el uso del diseño de BCA.

El coeficiente de variación alcanzado fue de 14.46%, el cual puede ser considerado normal para este tipo de experimentos, por lo que se estima que hubo una buena conducción del mismo.

Cuadro 6. Resultados Obtenidos para la Variable Rendimiento, en la Repetición I.
Ensayo EAP, 1988.

I	Tra	I	Niv	I	Niv	Parcela	I	Peso	Humedad	Peso	14%	Plantas	Peso	32	Prod/Ha.	I
I	I	I	N	I	P205	Número	I	Húmedo		Húmedo	Cosech.		plantas.			I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	1	I	0	I	0	I	105	14.252	21.32	3.890	29	4.293			6707.044	I
I	2	I	0	I	30	I	110	15.827	22.76	5.233	33	5.075			7929.483	I
I	3	I	0	I	60	I	125	15.730	29.88	4.672	30	4.983			7786.881	I
I	4	I	0	I	90	I	102	16.320	22.12	5.723	29	6.315			9557.714	I
I	5	I	0	I	120	I	104	13.520	20.68	3.247	32	3.247			5072.790	I
I	6	I	40	I	0	I	124	15.031	21.32	4.603	31	4.751			7423.838	I
I	7	I	40	I	30	I	106	15.050	22.28	4.564	33	4.425			6914.834	I
I	8	I	40	I	60	I	111	16.118	22.60	5.506	32	5.506			8803.437	I
I	9	I	40	I	90	I	115	14.050	22.92	3.630	32	3.630			5671.765	I
I	10	I	40	I	120	I	116	14.750	19.88	4.425	32	4.425			6914.425	I
I	11	I	80	I	0	I	109	14.881	21.64	4.447	30	4.744			7412.461	I
I	12	I	80	I	30	I	117	15.281	21.00	4.851	31	5.008			7824.437	I
I	13	I	80	I	60	I	120	16.257	22.92	5.608	33	5.438			8496.997	I
I	14	I	80	I	90	I	112	15.406	21.80	4.916	29	5.424			8475.324	I
I	15	I	80	I	120	I	113	14.733	22.12	4.286	31	4.424			6913.091	I
I	16	I	120	I	0	I	103	14.670	21.32	4.273	26	5.258			8216.359	I
I	17	I	120	I	30	I	119	14.970	22.92	4.455	31	4.598			7104.688	I
I	18	I	120	I	60	I	101	16.203	20.68	5.721	29	6.313			9864.113	I
I	19	I	120	I	90	I	123	15.232	24.20	4.611	30	4.919			7685.767	I
I	20	I	120	I	120	I	121	14.972	20.68	4.586	33	4.447			6948.186	I
I	21	I	160	I	0	I	118	13.866	20.36	3.580	28	4.092			6393.028	I
I	22	I	160	I	30	I	107	14.385	19.56	4.102	22	5.966			9321.601	I
I	23	I	160	I	60	I	108	14.821	20.68	4.447	30	4.743			7410.886	I
I	24	I	160	I	90	I	122	15.670	20.88	5.216	34	4.910			7671.176	I
I	25	I	160	I	120	I	114	15.437	23.72	4.822	32	4.822			7555.144	I

3.870 - 7^o
y 32

Cuadro 7. Resultados Obtenidos para la Variable Rendimiento, en la Repetición
II. Ensayo EAP. 1988.

Trat	Niv I	Niv P	Parcela	Peso	Humedad	Peso 141	Plantas	Peso 32	Prod/Ha.
I	I	N	Número	Humedo		Humedo	Cosech.	plantas.	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
1	1	0	1	223	13.732	20.68	2.981	25	5961.912
1	2	0	1	224	15.610	22.24	5.072	32	7925.755
1	3	0	1	214	15.339	21.32	4.885	32	7632.131
1	4	0	1	205	15.663	23.88	5.012	32	7831.896
1	5	0	1	213	14.605	24.42	4.047	29	6977.664
1	6	40	1	208	13.992	22.76	3.585	33	5432.383
1	7	40	1	216	15.329	21.48	4.866	30	8109.168
1	8	40	1	212	14.208	21.16	3.858	31	6222.031
1	9	40	1	222	14.863	24.36	4.277	27	7920.700
1	10	40	1	202	14.876	24.20	4.254	33	6444.869
1	11	80	1	209	13.887	22.12	3.520	27	6518.509
1	12	80	1	217	15.584	21.64	5.088	32	7949.895
1	13	80	1	204	14.525	19.72	4.224	32	6600.054
1	14	80	1	219	14.297	22.28	3.883	29	6695.325
1	15	80	1	210	14.530	24.04	4.001	28	7144.908
1	16	120	1	201	13.623	21.80	3.294	25	6588.604
1	17	120	1	221	15.098	21.32	4.664	32	7287.620
1	18	120	1	220	14.104	20.20	3.808	29	6565.741
1	19	120	1	203	14.952	21.64	4.312	31	7277.545
1	20	120	1	215	15.134	22.12	4.649	28	8302.240
1	21	160	1	225	14.903	22.92	4.394	28	7847.243
1	22	160	1	211	15.462	21.16	5.007	31	8076.220
1	23	160	1	218	15.188	22.28	4.689	27	8582.415
1	24	160	1	206	14.917	22.28	4.444	33	6732.720
1	25	160	1	207	14.128	23.40	3.677	31	5930.322

Quadro 8. Resultados Obtenidos Para la Variable Rendimiento, en la Repetición III. Ensayo EAP. 1988.

Trat	Nivel	Nivel	Parcela	Peso	Humedad	Peso 14%	Plantas cosech.	Peso 32	Prod/Ha
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1	1	0	1	306	13.672	21.16	3.366	28	3.847
1	2	0	1	317	13.972	21.16	3.641	28	4.161
1	3	0	1	301	13.827	21.32	3.501	26	4.309
1	4	0	1	311	14.727	22.76	4.246	26	5.225
1	5	0	1	315	12.850	21.96	2.586	26	3.183
1	6	40	1	316	16.784	23.08	6.068	31	6.263
1	7	40	1	307	14.333	21.64	3.946	26	4.859
1	8	40	1	318	14.007	20.04	3.726	29	4.111
1	9	40	1	319	13.848	23.08	3.442	24	4.589
1	10	40	1	320	14.657	23.40	4.148	25	5.309
1	11	80	1	312	13.117	24.04	2.753	30	2.937
1	12	80	1	310	16.557	23.72	5.816	26	7.138
1	13	80	1	302	14.049	22.92	3.629	27	4.301
1	14	80	1	304	14.456	21.32	4.077	32	4.077
1	15	80	1	321	15.139	23.08	4.596	30	4.903
1	16	120	1	314	13.258	21.32	2.961	28	3.407
1	17	120	1	303	15.347	25.32	4.643	28	5.306
1	18	120	1	309	14.828	19.88	4.498	29	4.963
1	19	120	1	305	14.811	24.20	4.240	25	5.428
1	20	120	1	324	12.796	23.72	2.657	26	3.271
1	21	160	1	323	14.228	20.20	3.923	30	4.185
1	22	160	1	322	14.140	21.64	3.772	28	4.311
1	23	160	1	313	14.391	22.12	3.976	28	4.544
1	24	160	1	308	14.686	21.60	4.261	30	4.545
1	25	160	1	325	14.992	22.28	4.511	26	5.552

Cuadro 9. Resultados Obtenidos Para la Variable Rendimiento, en la Repetición
IV. Ensayo EAP, 1988.

Tratamiento	Nivel N	Nivel P205	Parcela #	Peso Húmedo	Humedad	Peso 143	Plantas cosech.	Peso 32	Prod/Há. l	
1 + 1	1 N	1 P205	1 #	1 Húmedo	1	1	1	1	1	
1	1	0	1	418	13.597	21.00	3.304	34	3.110	4859.148
1	2	0	1	421	13.440	19.72	3.211	30	3.425	5352.000
1	3	0	1	420	13.309	21.48	3.021	31	3.119	4872.893
1	4	0	1	411	13.513	20.20	3.260	31	3.365	5257.640
1	5	0	1	417	13.873	22.44	3.493	35	3.194	4989.865
1	6	40	1	414	13.569	22.92	3.199	26	3.937	6151.576
1	7	40	1	416	15.176	29.80	4.225	30	4.507	7041.767
1	8	40	1	425	13.510	20.36	3.250	26	4.001	6250.813
1	9	40	1	406	14.657	22.44	4.200	29	4.634	7241.317
1	10	40	1	413	13.597	23.40	3.204	29	3.535	5323.861
1	11	80	1	407	14.226	21.64	3.851	30	4.107	6417.623
1	12	80	1	423	13.968	23.24	3.542	22	5.152	8049.251
1	13	80	1	402	14.142	23.08	3.705	30	3.952	6174.469
1	14	80	1	405	14.420	17.60	4.235	27	5.019	7842.549
1	15	80	1	408	14.254	20.52	3.931	26	4.839	7560.552
1	16	1120	1	403	13.785	20.04	3.519	25	4.505	7038.337
1	17	1120	1	415	14.580	22.76	4.113	27	4.875	7617.553
1	18	1120	1	404	13.957	19.04	3.725	30	3.973	6208.502
1	19	1120	1	412	13.668	21.16	3.363	23	4.678	7310.038
1	20	1120	1	419	14.864	20.20	4.513	34	4.248	6637.264
1	21	1160	1	401	13.509	23.88	3.106	30	3.313	5176.455
1	22	1160	1	422	14.212	21.32	3.853	27	4.567	7136.093
1	23	1160	1	424	13.637	21.16	3.334	25	4.268	6668.397
1	24	1160	1	410	14.518	21.96	4.100	28	4.686	7321.111
1	25	1160	1	409	14.865	23.40	4.333	27	5.136	8024.526

Cuadro 10. Análisis de Varianza Para Rendimiento. Ensayo EAP. 1988.

FUENTE	g.l.	S.C.	C.M	F	Significancia
REPETICIONES	3	15117767.54	5039255.847	4.88	††
NITROGENO	4	8788216.90	2197054.225	2.13	†
FOSFORO	4	13834558.60	3458639.650	3.35	††
INTERACCION (NP)	16	35852840.96	2240802.560	2.17	†
ERROR	72	24349209.35	1632627.908		

C.V. = 14.46%

† = Significante al 5 %.

†† = Significante al 1 %.

C.- Análisis de Regresión: Ajuste de la función

Con los datos de rendimiento obtenidos (Cuadros 6 a 9) se estimó la función de superficie de mejor ajuste.

Se seleccionó una función Cuadrática de Superficie de Respuesta, usándose como variables independientes N, P, sus efectos cuadráticos y la interacción NP. La variable dependiente fue Rendimiento por Hectárea.

La función encontrada fue:

$$Y = 5887.273 + 30.731N - 0.18746N^2 + 19.019P - 0.2341P^2 + 0.11627NP$$

$$(5.3968) (0.02988) (7.2351) (0.0534) (0.033252)$$

$$r^2 = 0.84, n = 45$$

Donde

Y = Rendimiento del maíz en Kgs./há..

N = Kgs./há. aplicados de N.

P = Kgs./há. aplicados de P_2O_5 .

El coeficiente de determinación (r^2) resultó igual a 84.0%. Los parámetros que se obtuvieron para el efecto lineal y cuadrático del N y P, así como el de la interacción resultaron estadísticamente significativos, todos al 1 % de significancia.

D.- Respuesta a Nitrógeno

La respuesta a N fue positiva y significativa en el presente ensayo, concordando con la ley de los rendimientos decrecientes. A medida que se incrementan las unidades utilizadas de N, el incremento en producción es cada vez menor hasta llegar al punto de máxima producción física, en que la adición de N no aumenta la producción, sino por el contrario, la reduce. Esto es fácilmente apreciable en las figuras 1 a 5, donde se muestran las curvas de producción para diferentes niveles de P. La flecha hacia abajo (▼) muestra el óptimo de producción física y la flecha hacia arriba (▲) muestra el óptimo de producción económica.

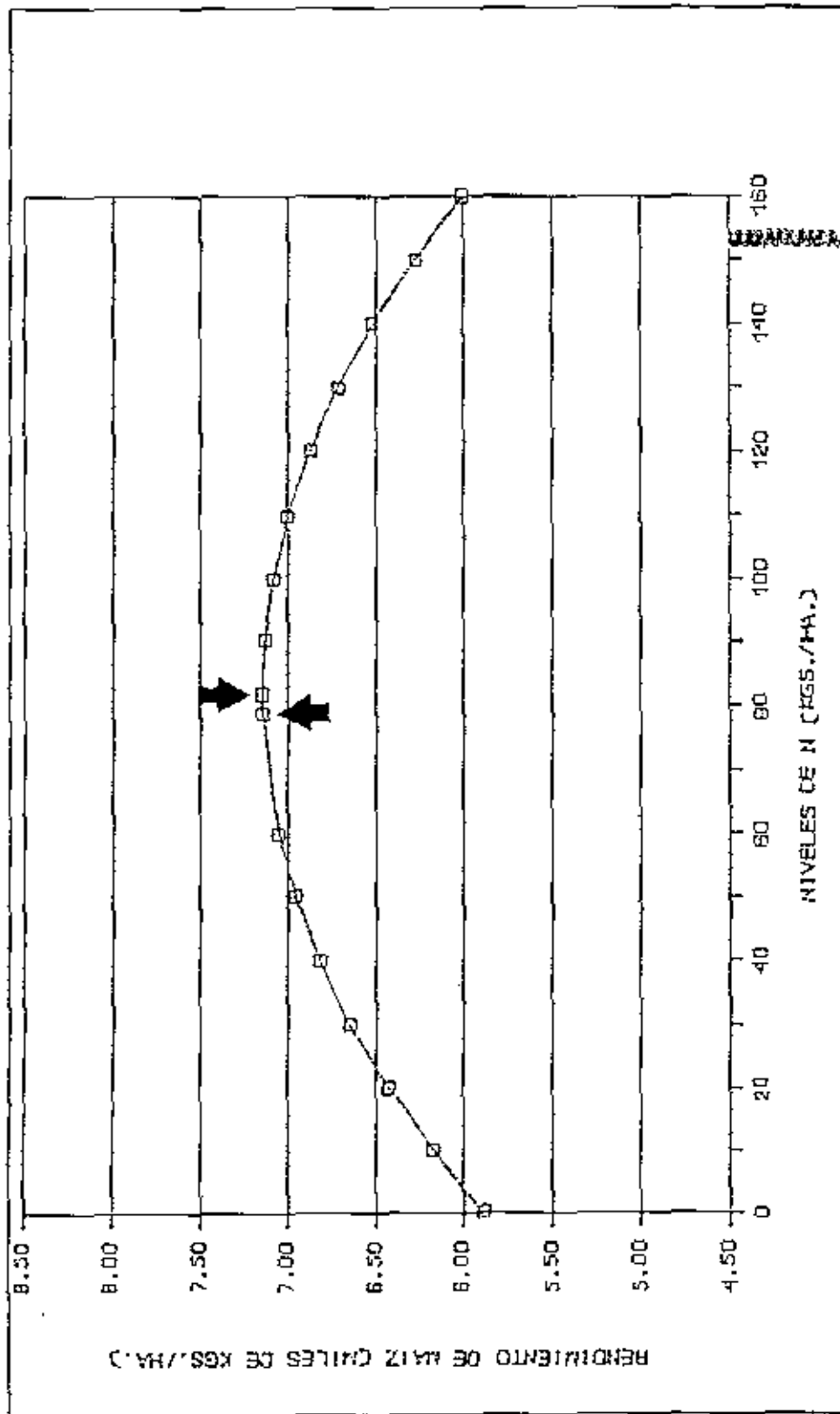


Figura 1. Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de N a un nivel de aplicación de 0 Kgs. de P.

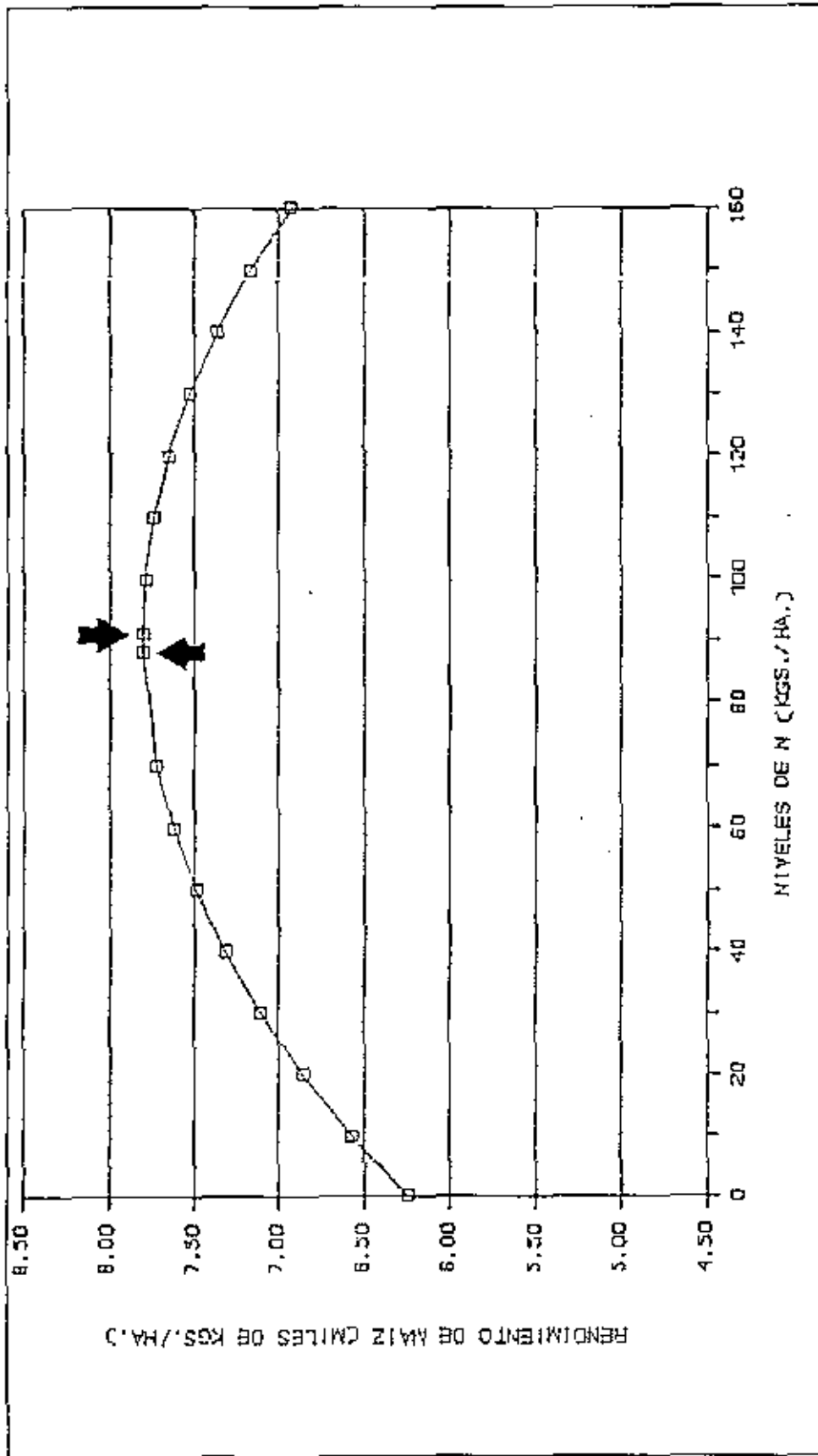


Figura 2. Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de N a un nivel de aplicación de 30 Kgs. de P.

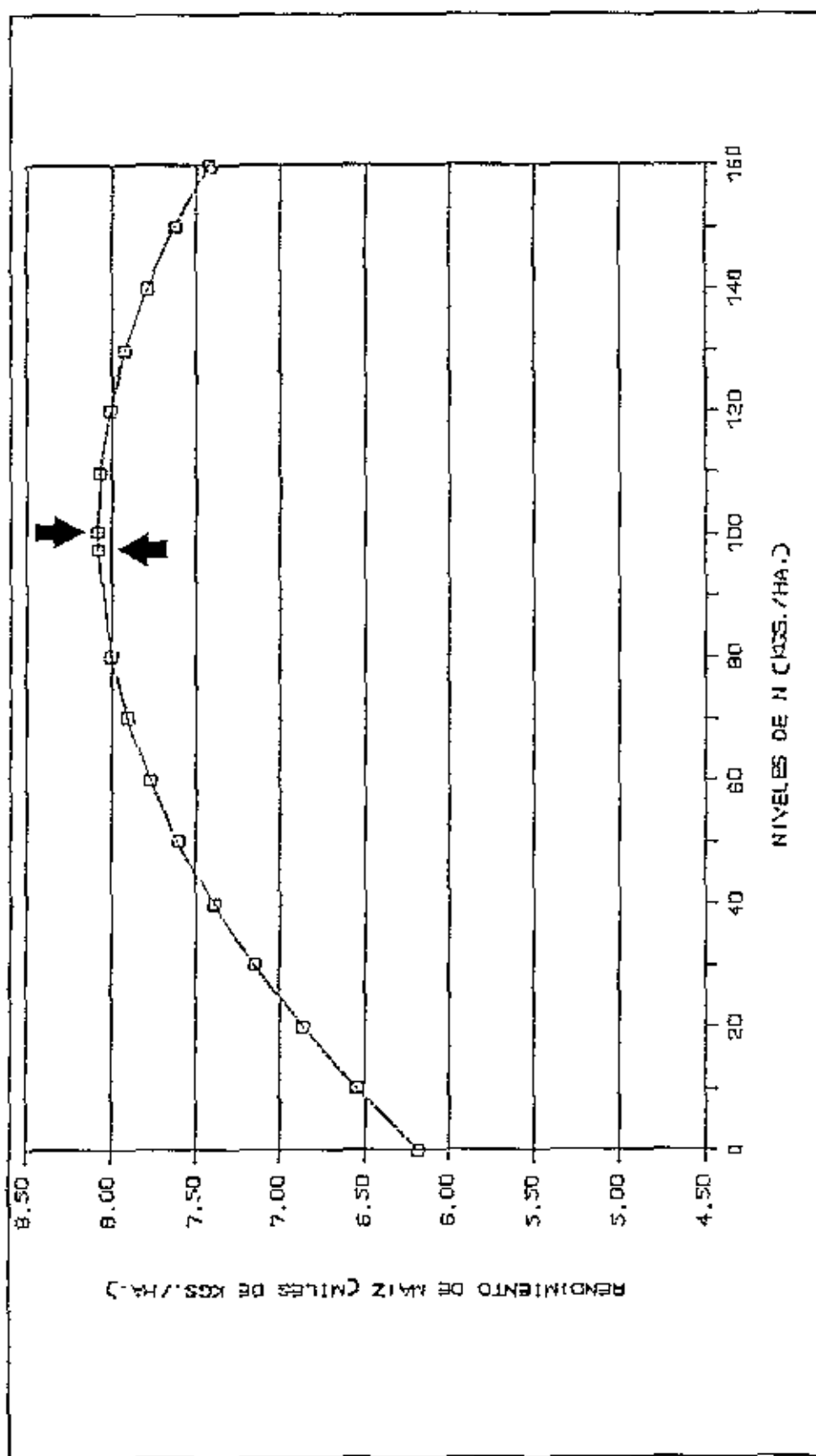


Figura 3. Respuesta del cultivo del maíz híbrido II-27 a diferentes niveles de aplicación de N a un nivel de aplicación de 60 Kgs. de P.

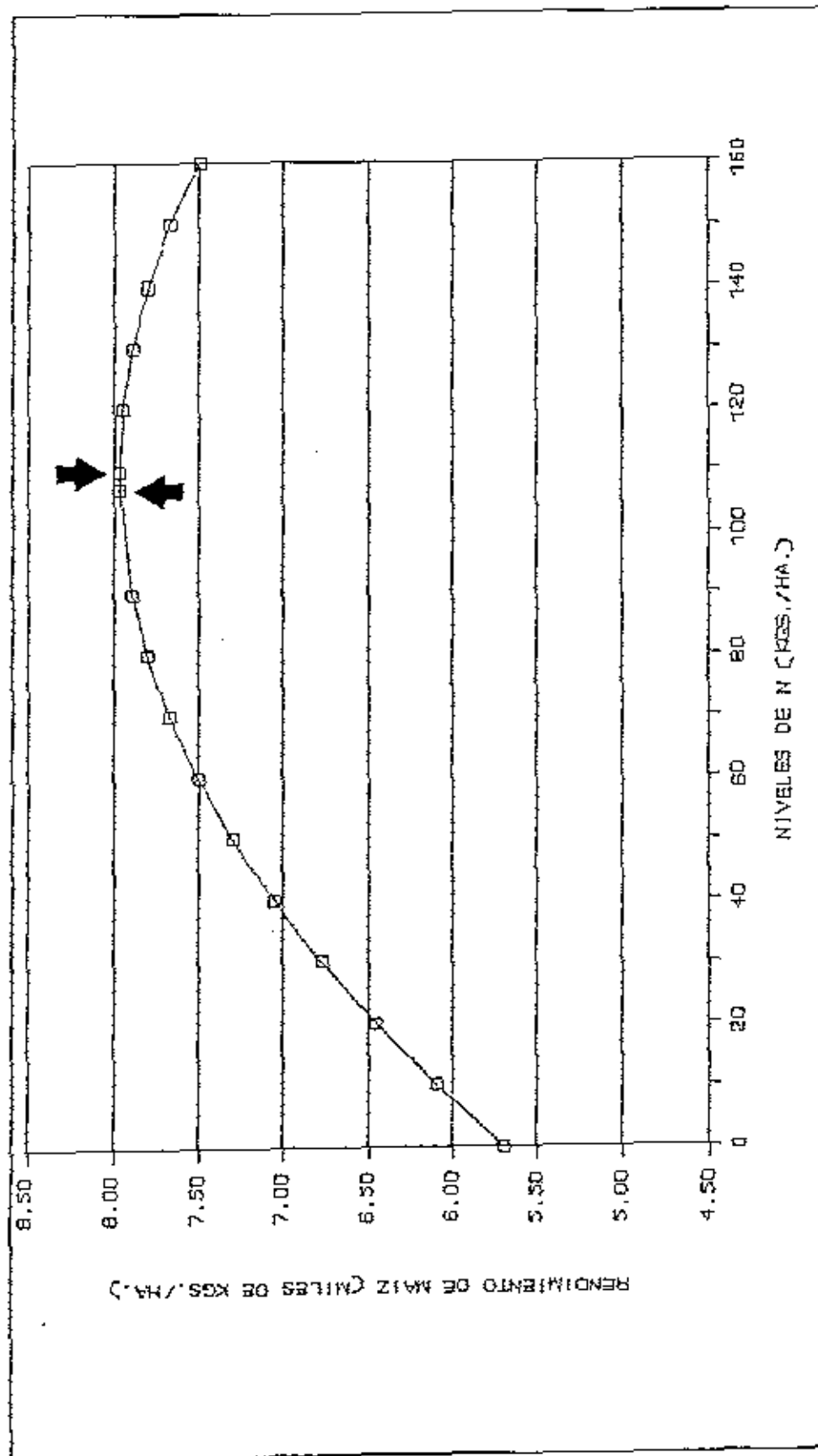


Figura 4. Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de N a un nivel de aplicación de 90 Kgs. de P.

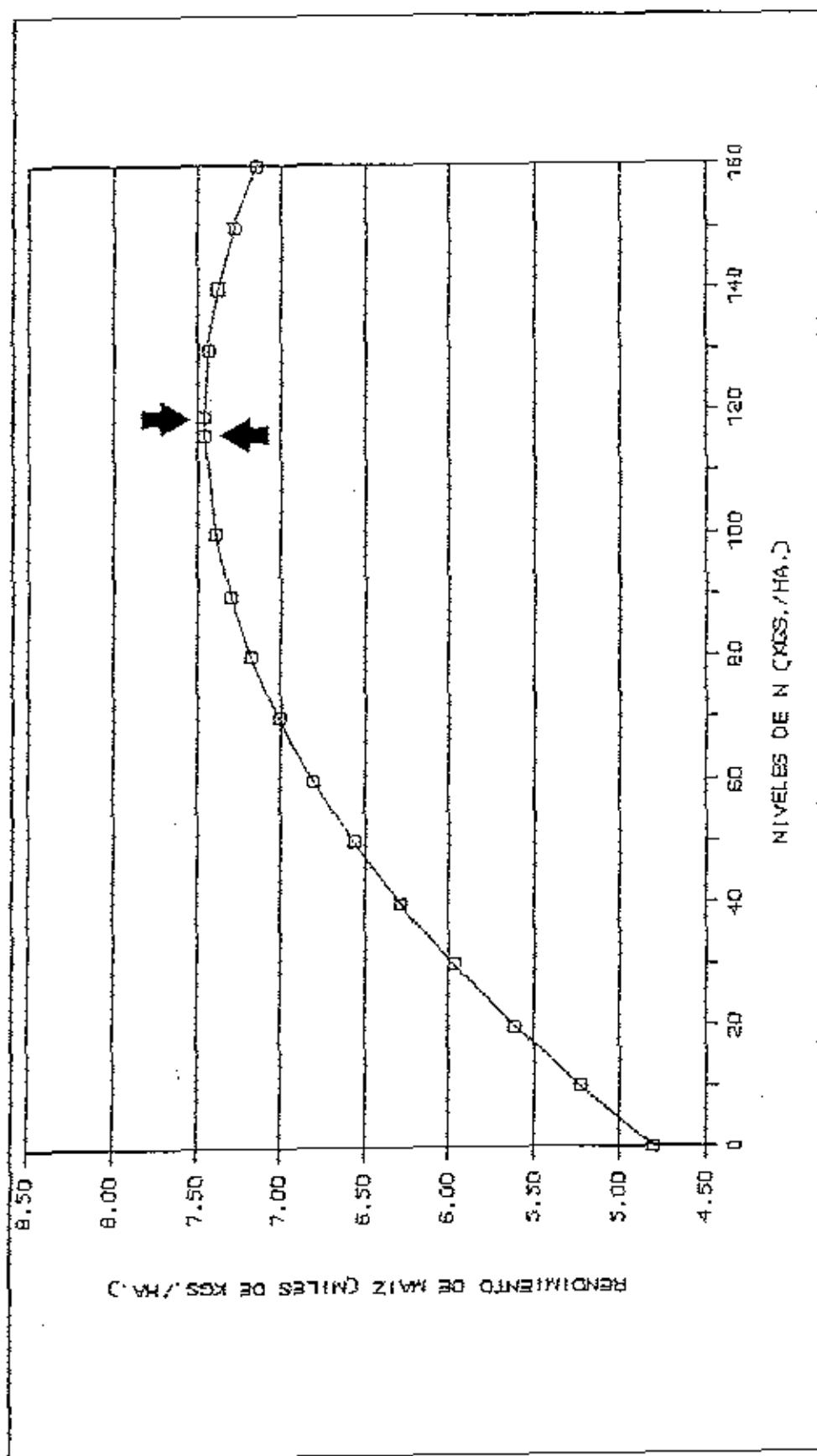


Figura 5. Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de N a un nivel de aplicación de 120 Kgs. de P.

E.- Respuesta a Fósforo

La respuesta a P también resulto positiva y significativa (1 % de significancia). También se presenta acorde a la ley de rendimientos decrecientes (figuras 6 a 10), aunque la reducción en rendimientos después de sobrepasar el óptimo de producción física es menos pronunciada que la producida por el N, y se produce a menores cantidades de P que de N.

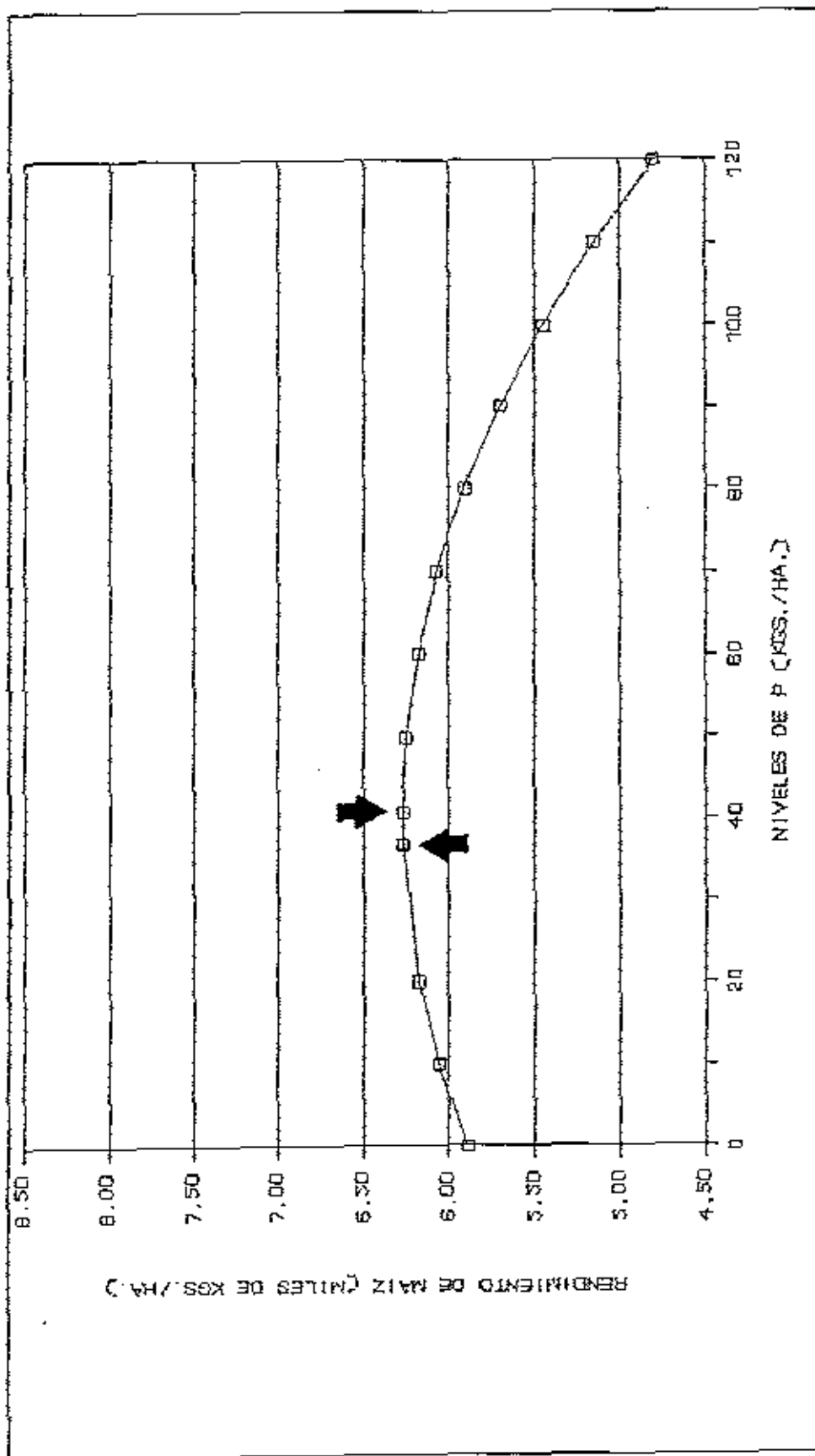


Figura 6. Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de P a un nivel de aplicación de 0 Kgs. de N.

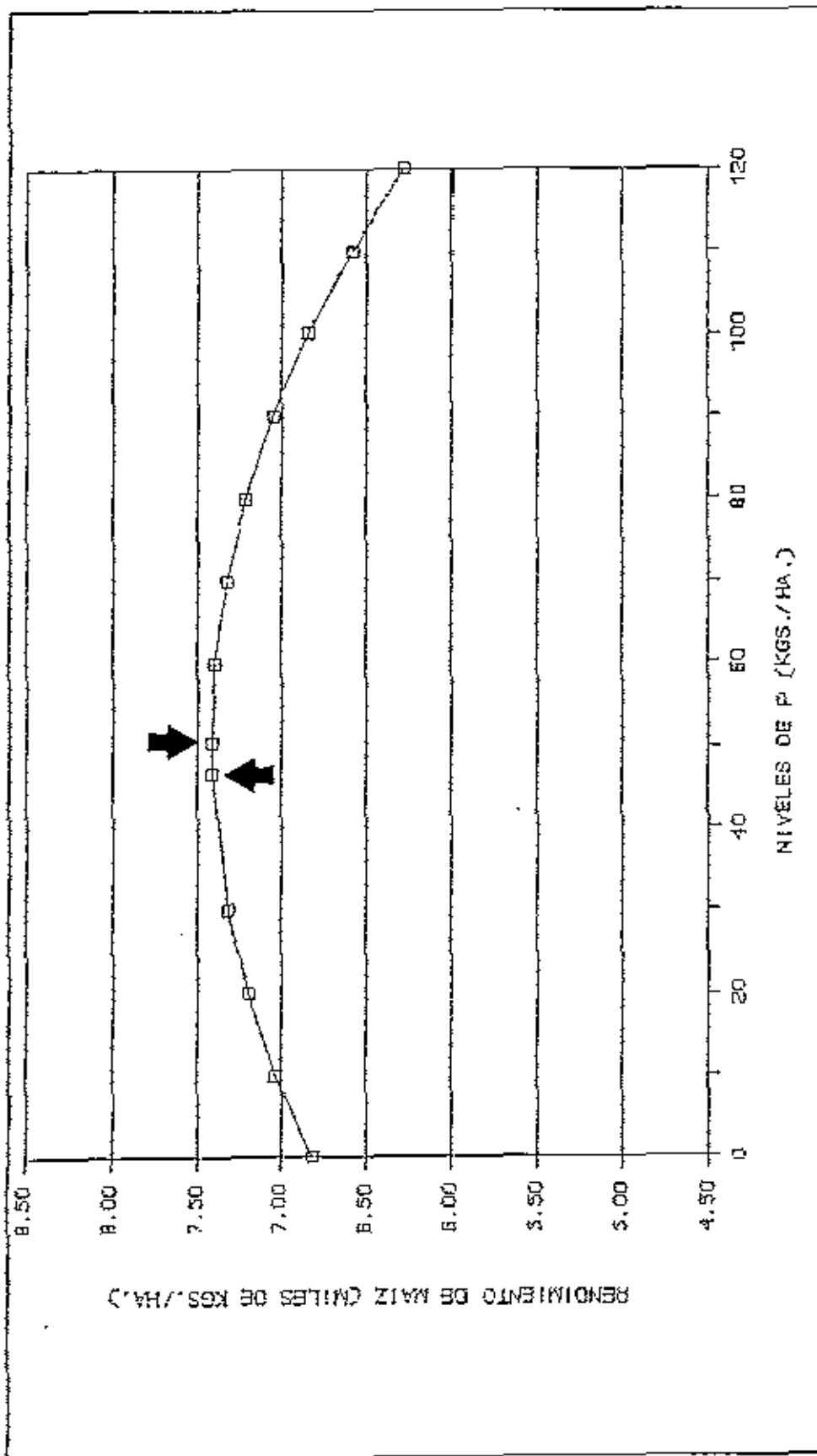


Figura 7. Respuesta del cultivo de maiz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de P a un nivel de aplicación de 40 Kgs. de N.

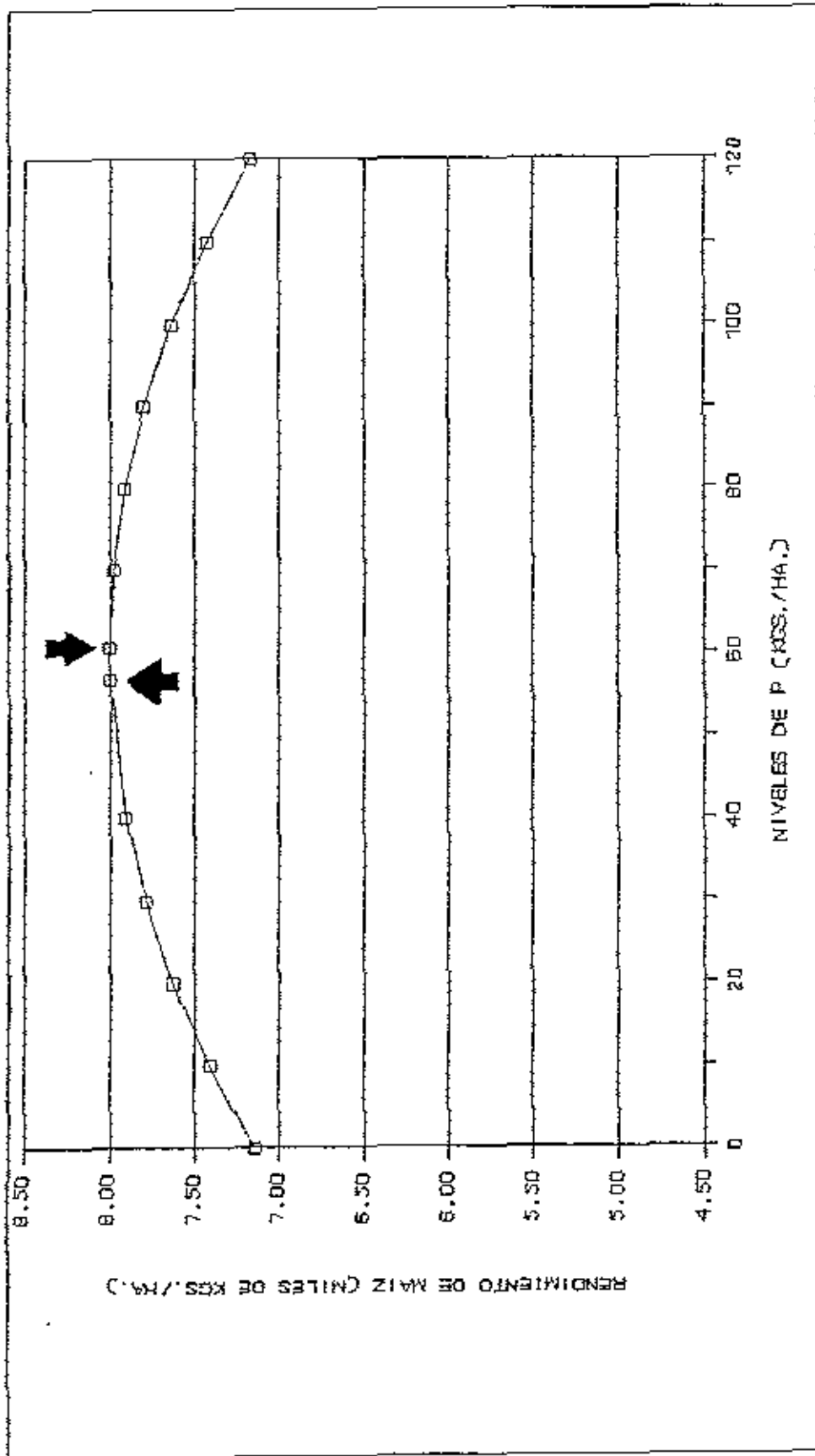


Figura 8. Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de P a un nivel de aplicación de 80 Kgs. N.

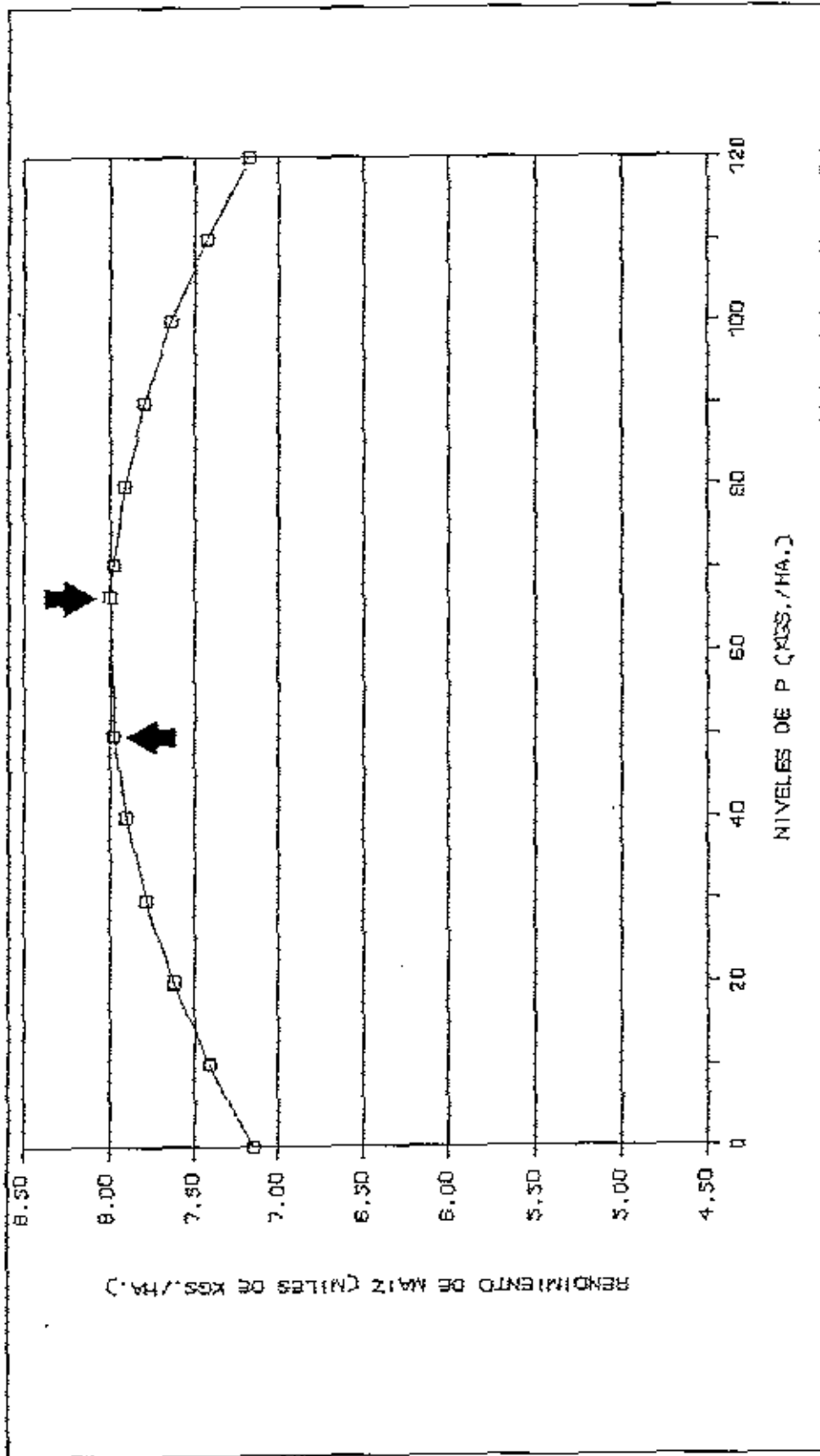


Figura 9, Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de P a un nivel de aplicación de 120 Kgs. de N.

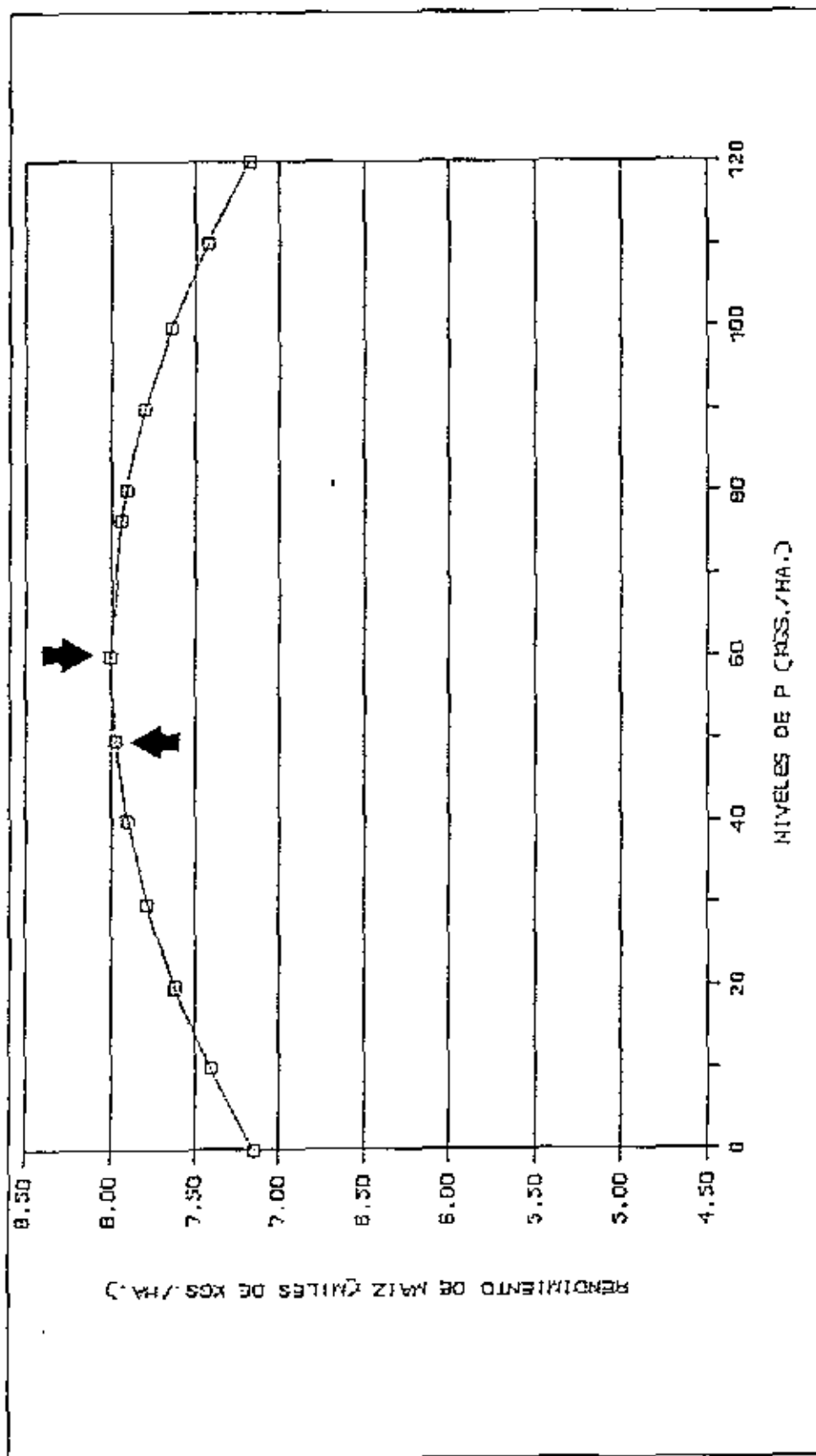


Figura 10. Respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a diferentes niveles de aplicación de P a un nivel de aplicación de 160 Kgs. de N.

F.- Interacción de Nitrógeno y Fósforo

La interacción de N y P resultó positiva y significativa al 5 %. Esta interacción da como resultado la superficie de respuesta que se presenta en la figura 11. En ella puede observarse que a medida se aumentan tanto las dosis de N como las de P, se producen aumentos en el rendimiento hasta llegar a un máximo de ambos factores después del cual la producción empieza a decaer.

Rendimiento en Miles de Kgs./ha.

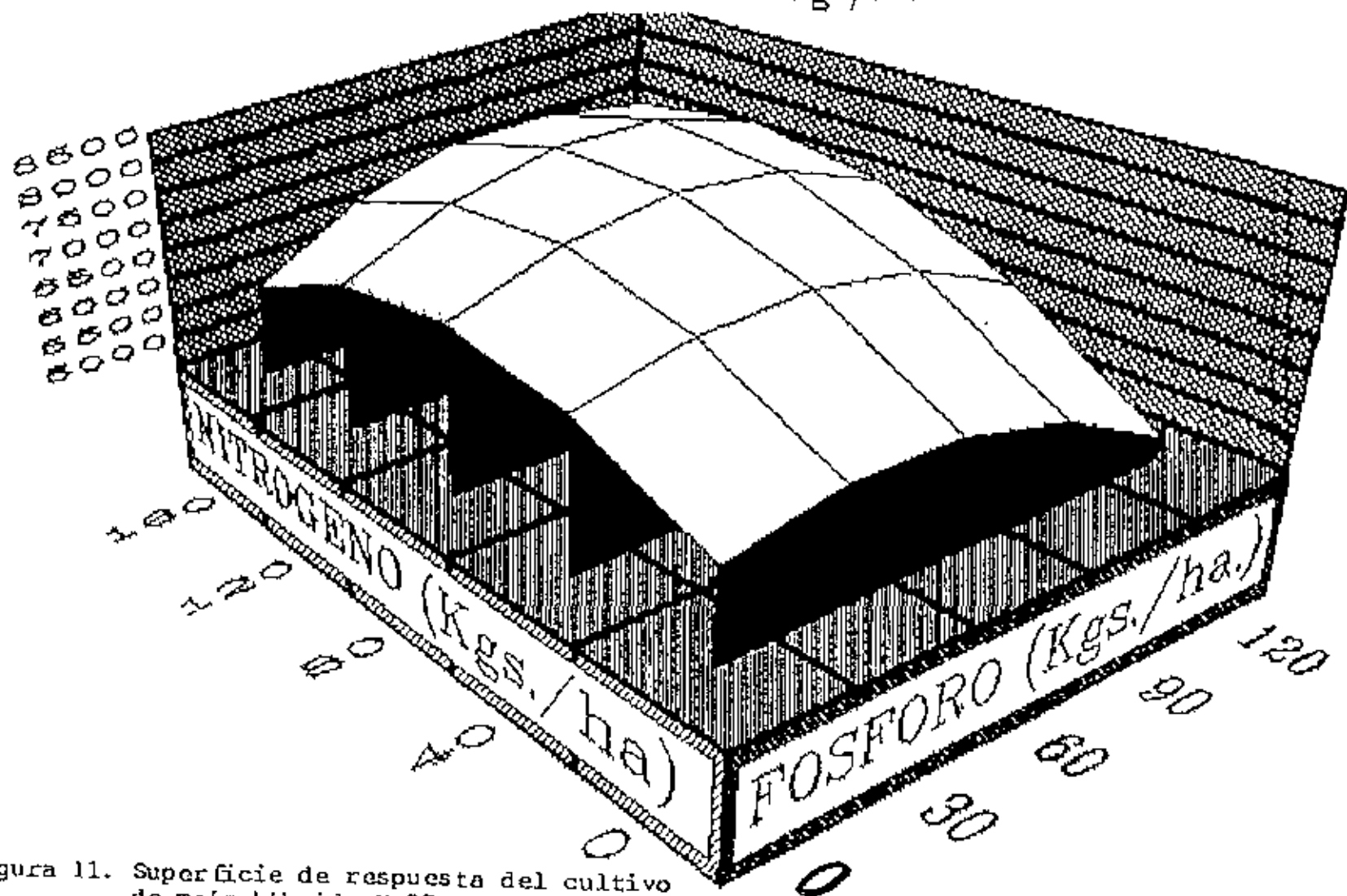


Figura 11. Superficie de respuesta del cultivo de maíz híbrido H-27 a la interacción de N y P.

G.- Precios de Insumos y Productos.

El cuadro 11 muestra el esquema de costos fijos determinados, el cuadro 12 muestra el esquema de los costos variables y en el cuadro 13 se muestra el resumen de los costos fijos y variables a un nivel de cero aplicación de fertilizantes. El cuadro 14 muestra el precio de venta del producto (maíz grano).

Cuadro 11. Costos Fijos de Producción en Lps./Hé. Para el Cultivo de Maíz Híbrido H-27 a un Nivel Tecnificado.

INSUMOS	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/UN.	TOTAL	%
COSTOS FIJOS					
-Maquinaria	Hrs./Maq.			208.83	27.29
Aroa		0.98	43.18	42.32	
Rastreada		0.80	43.18	34.54	
Siembra		0.80	20.83	16.66	
Aspersión		0.90	20.83	18.75	
Cultivado		0.94	20.83	19.58	
Fertilizado		0.93	20.83	19.37	
Cosecha		1.47	39.19	57.61	
-Semilla	Kgs.	25.00	1.65	41.25	5.39
-Herbicidas				54.04	7.06
Lasso	Lts.	3.62	11.89	43.04	
Desaprin	Kgs.	1.50	7.33	10.99	
-Insecticidas				301.97	39.46
Furadan	Kgs.	25.00	9.79	244.75	
Volaton	Kgs.	12.00	3.37	40.44	
Lannate	Kgs.	0.24	69.92	16.78	
-Adherente	Lts	0.10	6.00	0.60	0.08
-Mano de obra	Días/H.	13.00	6.64	86.32	11.26
-Asist. Téc.	Hrs./H.	16.00	4.51	72.16	9.43
COSTO FIJO TOTAL				765.17	100.00

Cuadro 12. Costos Variables de Producción en Lps./há Para el Cultivo de Maíz Híbrido H-27 a un Nivel Tecnificado y a un Nivel de Cero Aplicación de N y P.

COSTOS VARIABLES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/UN.	TOTAL	%
-Transporte	Kgs/Maíz	0.0055	5887.27	32.38	33.33
-Procesamiento	Kgs/Maíz	0.0110	5887.27	64.76	66.67
-Fertilizantes Kgs.					
Urea		0.4840	0.00	0.00	0.00
Super fosfato					
Triple		0.7700	0.00	0.00	0.00
COSTO VARIABLE TOTAL				97.14	100.00

Cuadro 13. Resumen de Costos Totales de Producción en Lps./há Para el Cultivo de Maíz Híbrido H-27, a un Nivel Tecnificado y a un Nivel de Aplicación de Cero N y P.

CONCEPTO	CANTIDAD EN LENPIRAS	%
COSTO FIJO TOTAL	765.17	98.73
COSTO VARIABLE TOTAL	97.14	11.27
COSTO TOTAL	862.31	100.00

Cuadro 14. Precio del Maíz Grano en Lps./Kg. para la Temporada 88-89, Mes de Octubre de 1988, Para la Zona de la EAP.

PRODUCTO	PRECIO
Maíz grano	0.44

V. DETERMINACION DE LAS DOSIS

OPTIMAS

A.- Optima Producción Física

Sin Restricción

Para determinar este punto, matemáticamente se obtiene el punto donde la función encontrada alcanza su máximo, para lo cual es necesario que exista la condición de que:

$$\frac{\partial Y}{\partial N} = 0, \quad \text{y} \quad \frac{\partial Y}{\partial P} = 0,$$

donde $\frac{\partial Y}{\partial N}$ y $\frac{\partial Y}{\partial P}$ son la primera derivada parcial de

la función de producción con respecto a N y P, en ese orden, o sea que tanto la derivada parcial de la función con respecto a N como la derivada parcial de la función de producción con respecto a P, sean igual a cero. Esto es:

$$\frac{\partial Y}{\partial N} = 30.731 - 0.37492N + 0.11627P$$

$$\frac{\partial Y}{\partial P} = 19.019 - 0.46816P + 0.11627N$$

$$\begin{aligned} \sqrt{30.731 - 0.37492N + 0.11627P} &= 0 \\ \sqrt{19.019 - 0.46816P + 0.11627N} &= 0 \end{aligned} \rightarrow \begin{aligned} -0.37492N + 0.11627P &= -30.731 \\ -0.46816P + 0.11627N &= -19.019 \end{aligned}$$

Luego se procede a resolver simultáneamente las dos ecuaciones, con lo que se obtiene los niveles de N y P con los cuales la función alcanza un máximo, siendo este el óptimo de producción física para dicha función.

El cuadro 15 muestra los niveles encontrados, además de la producción alcanzada con ellos, costos incurridos e ingresos obtenidos a ese nivel de producción.

B.- Óptima Producción Económica sin Restricción

Para la obtención de los niveles óptimos de aplicación de N y P para lograr el máximo rendimiento económico, se obtiene matemáticamente el punto donde el Valor del Producto Marginal del N

(VPM_N) y el Valor del Producto Marginal del P

(VPM_P) se igualan a los precios de sus respectivos insumos. Esto quiere decir que:

$$VPM_N = P_N \quad \text{y} \quad VPM_P = P_P$$

$$VPM_N = \frac{\$ Y}{\$ N} \quad \text{y} \quad VPM_P = \frac{\$ Y}{\$ P} \quad \text{donde } P_Y, P_N$$

y PP son el precio, en Lps./Kgs. de la producción, del N y del P, respectivamente.

A partir de lo anterior obtenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned} VPM_N &= (30.73100 - 0.3749200N + 0.1162700P) \cdot 0.44 = 0.484 \\ &= 13.52164 - 0.1649648N + 0.0511588P = 0.484 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VPM_P &= (19.01900 - 0.4681600P + 0.1162700N) \cdot 0.44 = 0.770 \\ &= 8.36836 - 0.2059902P + 0.0511588N = 0.770 \end{aligned}$$

Resolviendo simultáneamente ambas ecuaciones se encuentran los niveles de N y P para alcanzar el punto óptimo de producción económica sin restricción de capital. El cuadro 16 muestra los niveles encontrados, además de la producción, costos e ingresos obtenidos a ese nivel de producción. En el cuadro 17 se presenta una comparación porcentual entre los puntos óptimos de producción física obtenidos en el inciso anterior y los obtenidos en el presente (máximos económicos). En ellos puede observarse que la diferencia entre un nivel y otro es mínima, esto dado que los precios del N y P son muy parecidos al precio del maíz.

Cuadro 15. Producción, Ingresos y Costos por Hectárea del
Cultivo de Maíz Híbrido H-27, a un Nivel de
Aplicación de 102.46 Kgs. de N y un Nivel de 66.07
Kgs. de P (Máximo de Producción Física).

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR/UN.	TOTAL	%
INGRESOS					
-Producción	Kgs.	8089.87	0.44	3559.54	100.00
TOTAL INGRESOS				3559.54	100.00
COSTOS					
TOTAL COSTOS FIJOS				765.17	100.00
COSTOS VARIABLES					
-Transporte	Kgs/Maíz	8089.87	0.0055	44.49	19.02
-Procesamiento	Kgs/Maíz	8089.87	0.0110	88.99	38.04
-Fertilizantes	Kgs.				
Urea		102.46	0.4840	49.59	21.20
Super fosfato					
Triple		66.07	0.7700	50.87	21.75
COSTO VARIABLE TOTAL				233.95	100.00
COSTOS TOTALES				999.12	100.00
MARGEN BRUTO					
-Ingresos totales menos costos totales				2560.43	100.00
TOTAL MARGEN				2560.43	100.00

Cuadro 16. Producción, Ingresos y Costos por Hectárea del Cultivo de Maíz Híbrido H-27, a un Nivel de Aplicación de 98.02 Kgs. de N y un Nivel de 61.23 Kgs. de P (Óptimo de Producción Económica).

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR/UN.	TOTAL	1
INGRESOS					
-Producción	Kgs.	8083.20	0.44	3556.61	100.00
TOTAL INGRESOS				3556.61	100.00
COSTOS					
TOTAL COSTOS FIJOS				765.17	100.00
COSTOS VARIABLES					
-Transporte	Kgs/Maíz	8083.20	0.0055	44.46	19.50
-Procesamiento	Kgs/Maíz	8083.20	0.0110	88.92	39.00
-Fertilizantes	Kgs.				
Urea		98.02	0.4640	47.44	20.81
Super fosfato					
Triple		61.23	0.7700	47.15	20.68
COSTO VARIABLE TOTAL				227.96	100.00
COSTOS TOTALES				993.13	100.00
MARGEN BRUTO					
-Ingresos totales menos costos totales				2563.47	100.00
TOTAL MARGEN				2563.47	100.00

Cuadro 17. Resumen Comparativo Porcentual en Lps./há. del Cambio en la Producción, Ingresos y Costos a los Niveles de Máxima Producción Física y Óptimo de Producción Económica Encontrados.

CONCEPTO	MAXIMO FISICO	MAXIMO ECONOMICO	CAMBIO PORCENTUAL
INGRESOS			
-Producción	3559.54	3556.61	-0.08
TOTAL INGRESOS	3559.54	3556.61	-0.08
COSTOS			
TOTAL COSTOS FIJOS	765.17	765.17	0.00
COSTOS VARIABLES			
-Transporte	44.49	44.46	-0.08
-Procesamiento	88.99	88.92	-0.08
-Fertilizantes			
Urea	47.59	47.44	-4.33
Super fosfato			
Triple	50.87	47.15	-7.32
COSTO VAR. TOTAL	233.95	227.96	-2.56
COSTOS TOTALES	999.12	993.13	-0.60
MARGEN BRUTO			
-Ingresos totales			
menos cost. tot.	2560.43	2563.47	0.12
TOTAL MARGEN	2560.43	2563.47	0.12

C.- Niveles Óptimos de Nitrógeno para Máxima
Producción Física Dados Diferentes
Niveles Fijos de Fósforo

Para determinar los niveles de N para obtener los máximos de producción física, dados diferentes niveles fijos de P, se obtiene matemáticamente el punto máximo de la función de producción para lo cual es necesario que exista la condición de que:

$$\frac{\partial Y}{\partial N} = 0$$

O sea que la derivada parcial de la función con respecto a N sea igual a cero:

$$30.731 - 0.37492N + 0.11627P = 0, \text{ por lo que}$$

$$N = 81.96682 + 0.3101194P$$

Con esta ecuación podemos determinar los niveles necesarios de N, para alcanzar la óptima producción física para diferentes niveles de P. En el cuadro 18 se presentan la producción, costos e ingresos respectivos para 5 niveles de P (0, 30, 60, 90, y 120 Kgs./há. de P).

Cuadro 18. Producción, Ingresos y Costos (lps./ha.) a Determinados Niveles de N Encontrados a Niveles Fijos de P Para Alcanzar Máxima Producción Física. Ensayo EAP. 1988.

NIVELES P	N	PRODUCCION HECTAREA	INGRESOS HECTAREA	COSTOS FIJOS	TRANSP. PROCES.	COSTOS FERT.	COSTOS TOTALES	MARGEN
0	81.97	7146.73	3144.56	765.17	117.92	39.67	922.76	2221.80
30	91.27	7808.77	3435.86	765.17	128.84	67.27	961.29	2474.57
60	100.57	8081.91	3556.04	765.17	133.35	94.88	993.40	2562.64
90	109.88	7966.15	3505.11	765.17	131.44	122.48	1019.09	2486.02
120	119.18	7461.51	3283.06	765.17	123.11	150.08	1038.37	2244.70

D.- Niveles Optimos de Fósforo para Máxima

Producción Física Dados Diferentes

Niveles Fijos de Nitrógeno

De manera análoga al cálculo del inciso anterior, para determinar los niveles de P para alcanzar los máximos de producción física dados niveles fijos de N, es necesario que exista la condición:

$$\frac{\delta Y}{\delta P} = 0$$

Esto significa que la derivada parcial de la función con respecto a P sea igual a cero:

$$19.019 - 0.46816P + 0.11627N = 0, \text{ por lo que:}$$

$$P = 40.625 + 0.24835563N$$

Dada la anterior ecuación se determinaron los niveles de aplicación de P considerando fijos diferentes niveles de N (0, 40, 80, 120, y 160 Kgs./há. de N), los cuales se presentan en el cuadro 19 junto a su producción, ingresos y costos.

Cuadro 19. Producción, Ingresos y Costos en Lps./há. a Determinados Niveles de P Encontrados a Niveles Fijos de N Para Alcanzar Máxima Producción Física. Ensayo EAP. 1988.

NIVELES		PRODUCCION	INGRESOS	COSTOS	TRANSP.	COSTOS	COSTOS	MARGEN
N	P	HECTAREA	HECTAREA	FIJOS	PROCES.	FERT.	TOTALES	
0	40.625	6273.60	2760.36	765.17	103.51	31.28	899.97	1860.42
40	50.557	7414.94	3262.57	765.17	122.35	58.29	945.81	2316.77
80	60.489	8002.61	3521.15	765.17	132.04	85.30	982.51	2538.64
120	70.421	8036.62	3536.11	765.17	132.60	112.30	1010.08	2526.03
160	80.353	7516.95	3307.46	765.17	124.03	139.31	1028.51	2278.95

E.- Niveles Óptimos de Nitrógeno para Máxima

Producción Económica Dados Diferentes

Niveles Fijos de Fósforo

Para determinar estos niveles es condición que el VPM_N sea igualado al precio del N. O sea que:

$$VPM_N = P_N$$

Lo anterior corresponde a:

$$13.52164 - 0.1649648N + 0.0511588P = 0.484$$

$$N = 79.03286034 + 0.310119492P$$

Con esta ecuación se obtuvieron los niveles de N presentados en el cuadro 20. Además en el mismo cuadro se presenta la producción, ingresos y costos asociados a esos niveles de producción usando diferentes niveles de P (0, 30, 60, 90, y 120 Kgs./há. de P).

Cuadro 20. Producción, Ingresos y Costos en Lps./há. a determinados Niveles de N Encontrados a Niveles Fijos de P Para Alcanzar el Óptimo de Producción Económica. Ensayo EAP. 1988.

NIVELES P	PRODUCCION N HECTAREA	INGRESOS HECTAREA	COSTOS FIJOS	TRANSP. PROCES.	COSTOS FERT.	COSTOS TOTALES	MARGEN
0	79.03286	7145.12	\$143.85	765.17	117.89	38.25	921.32 2722.54
30	88.33644	7807.15	3435.15	765.17	128.82	65.85	559.84 2475.30
60	97.64002	8080.29	3555.33	765.17	133.32	93.46	991.95 2563.38
90	106.9436	7964.54	3504.40	765.17	131.41	121.06	1017.65 2486.75
120	116.2471	7459.90	3282.35	765.17	123.09	148.66	1036.92 2245.43

F.- Niveles Óptimos de Fósforo para Máxima
Producción Económica Dados Diferentes
Niveles Fijos de Nitrógeno

Estos niveles fueron determinados después de igualar el VPM_p al P_p . Esto es:

$$VPM_p = P_p,$$

lo que nos resulta en:

$$8.36836 - 0.2059902P + 0.0511588N = 0.770$$

$$P = 36.88699754 + 0.248355504N$$

A partir de esa ecuación pueden ser determinados los niveles de P necesarios para alcanzar el óptimo de producción económica dados diferentes niveles de N. El cuadro 21 muestra un resumen de la producción obtenida, ingresos asociados, costos incurridos y beneficios logrados a cada nivel planteado (0, 40, 80, 120, y 160 Kgs./ha de N).

Cuadro 21. Producción, Ingresos y Costos (Lps./há.) a determinados Niveles de P Encontrados a Niveles Fijos de N Para Alcanzar el Óptimo de Producción Económica. Ensayo EAP. 1968.

NIVELES N	PRODUCCION P	INGRESOS HECTAREA	COSTOS HECTAREA	TRANSP. FIJOS	COSTOS PROCES.	COSTOS FERT.	COSTOS TOTALES	MARGEN
0	36.8869%	6270.33	2758.94	765.17	103.46	28.40	897.03	1861.91
40	46.82117	7411.67	3261.13	765.17	122.29	55.41	942.87	2318.26
80	56.75538	7977.34	3519.71	765.17	131.99	82.42	979.58	2540.13
120	66.68959	8033.35	3534.67	765.17	132.55	109.43	1007.15	2527.52
160	76.62380	7513.68	3306.02	765.17	123.96	136.44	1025.59	2280.43

G.- Determinación de los Niveles de Nitrógeno
y Fósforo Para Maximizar Producción

Dado un Presupuesto

1.- Presupuesto

Este debe ser determinado en base a las disponibilidades de efectivo. Para el presente estudio se considera que se cuenta con Lps. 70.00 por hectárea ($M = 70.00$) para la compra de fertilizantes nitrogenados y fosforados.

2.- Ecuación de Isocosto

La ecuación de Isocosto (ISC) se obtiene a partir de igualar la función de costo variable al presupuesto dado.

$$CV = P_N N + P_P P =$$

$$CV = 0.484N + 0.77P$$

$$M = \text{Presupuesto Máximo}$$

$$ISC = CV = M, \text{ entonces:}$$

$$ISC = N = \frac{M}{0.484} - 1.590909091P$$

La figura 13 muestra las líneas de ISC para tres niveles de presupuesto: 70.00, 94.59 y 100.46 Lps./há., que corresponden, en ese orden, a los presupuestos usados en la producción cuando hay un M máximo, en el punto de máxima

* La Figura 12 muestra la superficie de costos variables para los diferentes niveles de N y P evaluados.

producción económica y en el punto de máxima producción física.

Figura 12. Superficie de costos variables para el cultivo de maiz híbrido H-27 a los diferentes niveles de N y P evaluados

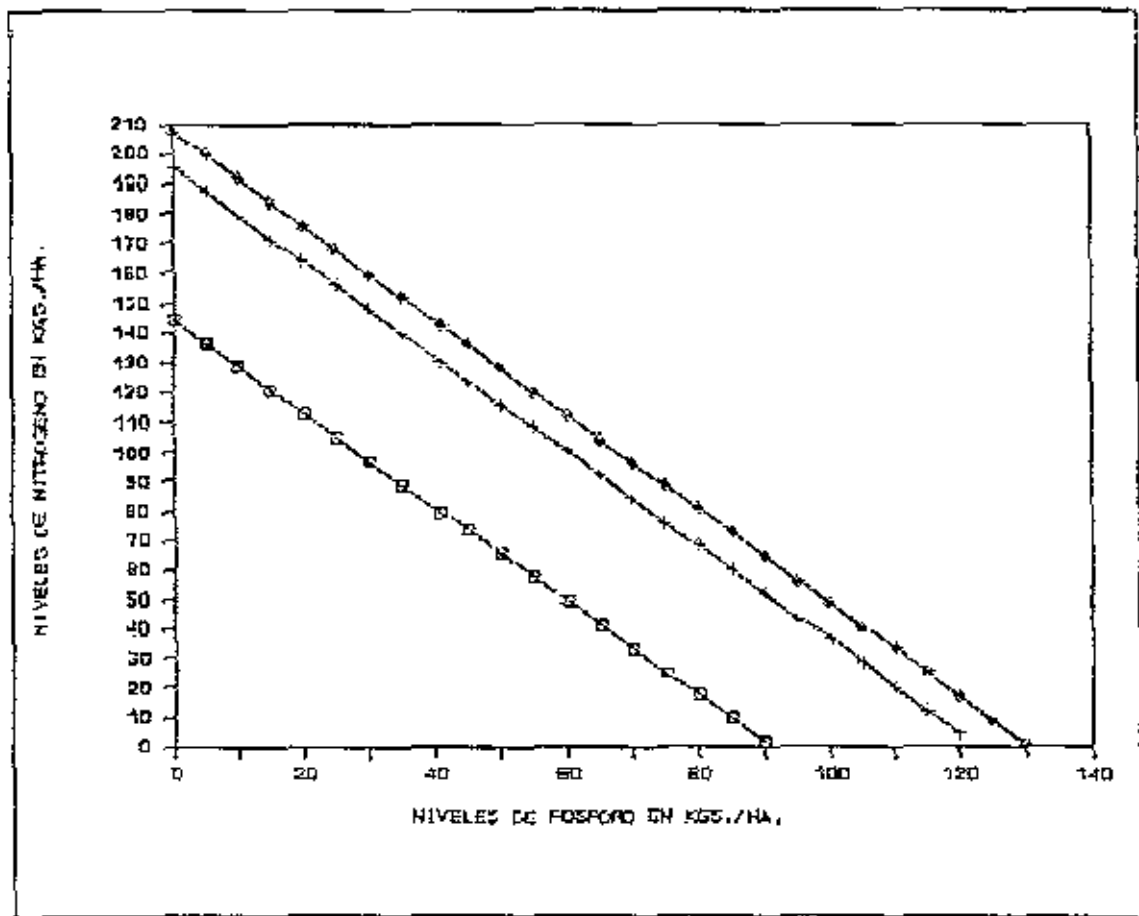


Figura 13. Líneas de Isocosto Para Tres Niveles de Presupuesto.

3.- Senda de Expansión

La Senda de Expansión (SE) es definida por :

$$\frac{\frac{\delta Y}{\delta N}}{\frac{\delta Y}{\delta P}} = \frac{P_N}{P_P}$$

Lo anterior nos resulta en:

$$\begin{array}{rcl} 30.731 - 0.37492N + 0.11627P & & 0.484 \\ \hline 19.019 - 0.46816P + 0.11627N & & 0.77 \end{array}$$

Resolviendo para N obtenemos:

$$SE = N = 41.91078651 + 0.91638024P$$

La figura 14 muestra la SE, además de las Líneas Frontera^a que definen las etapas de producción de la función encontrada.

^a Las ecuaciones para las Líneas Frontera de N y P son respectivamente:

$$N = 81.96681959 + 0.310119492P \quad y$$

$$N = -163.57615890 + 4.026490060P.$$

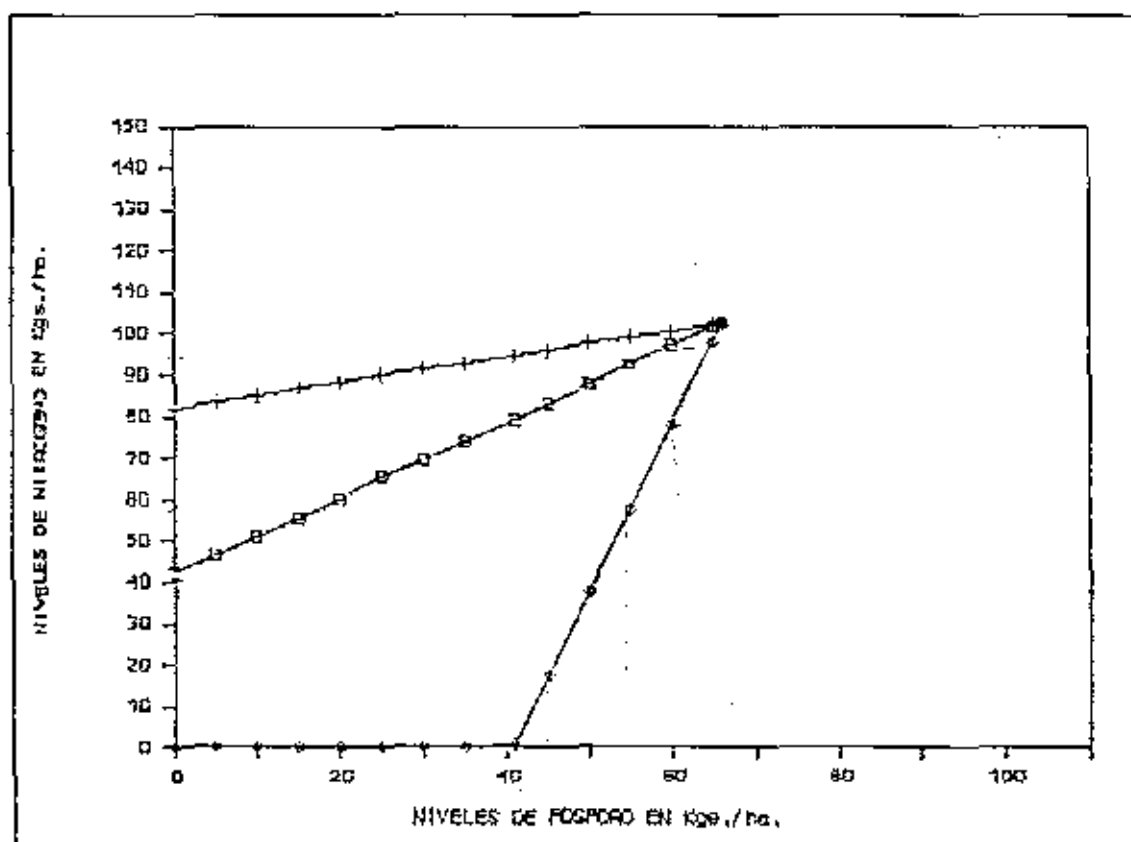


Figura 14. Senda de Expansión (SE) y Líneas Frontera de la Función de Producción.

4.- Resolución simultánea de la ecuación
de Isocosto y de la ecuación de la
Senda de Expansión

Sustituyendo $M = 70$ en ISC obtenemos:

$$N = 144.6280992 + 1.590909091P$$

Previamente obtuvimos la SE:

$$N = 41.91078651 + 0.91638021P$$

Resolviendo simultáneamente ambas ecuaciones obtenemos los niveles de N y P necesarios para maximizar ganancias

dado $M = 70$. La resolución gráfica es presentada en la figura 15. El cuadro 22 muestra un resumen de la producción, ingresos y costos alcanzado al nivel encontrado. Puede notarse que el gasto total por concepto de fertilizantes es de Lps. 70.00 (Lps. 36.48 para N y Lps. 31.54 para P), que es lo que buscábamos. A ese nivel de aplicación de N y P se alcanza una producción de 7910.3 Kgs./há. de maíz.

En el cuadro 23 se presenta un resumen comparativo porcentual del cambio en la producción, ingresos y costos obtenidos a los niveles de óptima producción económica sin restricción y los encontrados en este inciso.

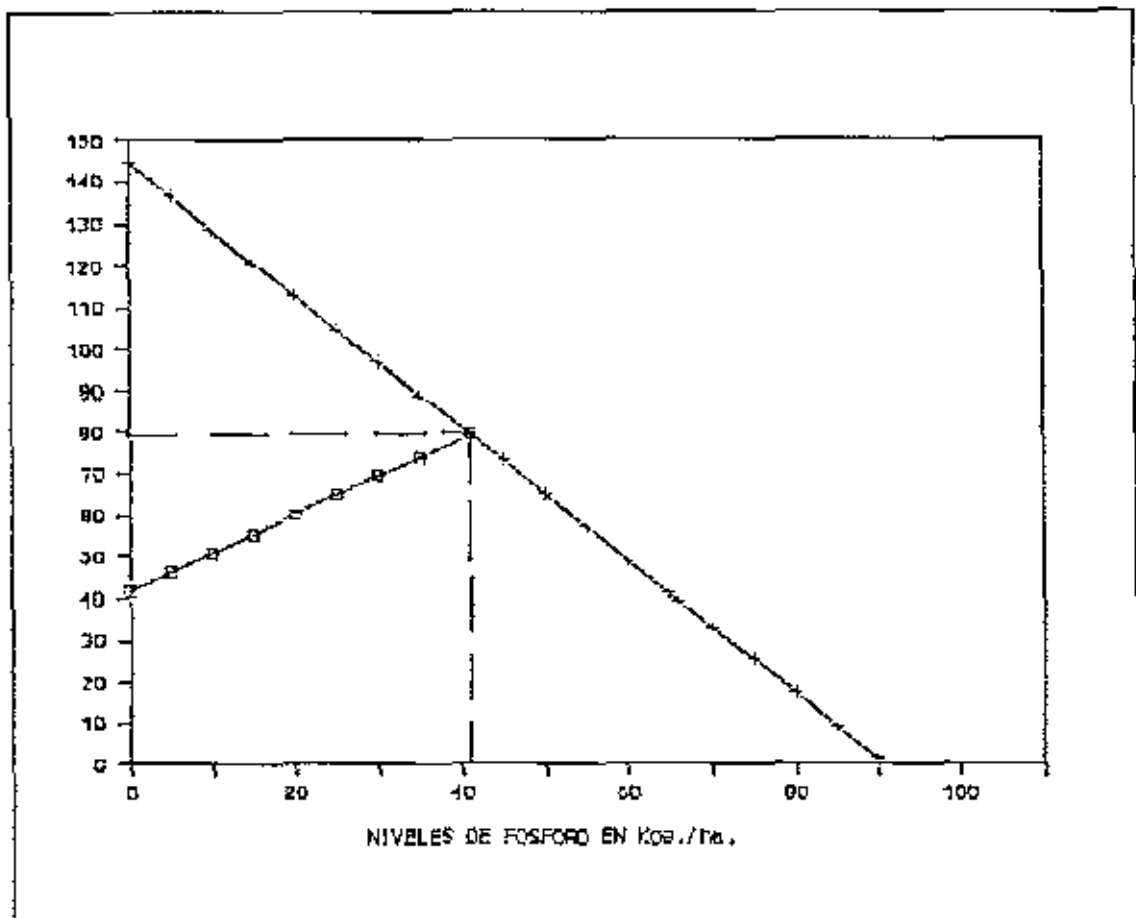


Figura 15. Resolución gráfica para encontrar N y P dado un presupuesto.

Cuadro 22. Resumen de la Producción, Ingresos y Costos
en Lps./há. Obtenidos Dado un $\bar{x} = 70$. Ensayo
EAF. 1988.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR/UN.	TOTAL	I
INGRESOS					
-Producción	Kgs.	7910.30	0.44	3480.53	100.00
TOTAL INGRESOS				3480.53	100.00
COSTOS					
TOTAL COSTOS FIJOS				765.17	100.00
COSTOS VARIABLES					
-Transporte	Kgs/Haiz	7910.30	0.0055	43.51	21.70
-Procesamiento	Kgs/haiz	7910.30	0.0110	87.01	43.39
-Fertilizantes	Kgs.				
Urea		79.45	0.4840	38.46	19.18
Super fosfato					
Triple		40.97	0.7700	31.54	15.73
COSTO VARIABLE TOTAL				200.52	100.00
COSTOS TOTALES				965.69	100.00
MARGEN BRUTO					
-Ingresos totales menos costos totales				2514.84	100.00
TOTAL MARGEN				2514.84	100.00

Cuadro 23. Resumen Comparativo Porcentual del Cambio en la Producción, Ingresos y Costos Obtenida a los Niveles de Optima Producción Económica y los Obtenidos con un Presupuesto Dado (X = 70). (lps./há.).

CONCEPTO	MAXIMO ECONOMICO	DADO UN PRESUP.	CAMBIO PORCENTUAL
INGRESOS			
-Producción	3556.61	3490.53	-2.14
TOTAL INGRESOS	3556.61	3490.53	-2.14
COSTOS			
TOTAL COSTOS FIJOS	765.17	765.17	0.00
COSTOS VARIABLES			
-Transporte	44.46	43.51	-2.14
-Procesamiento	88.92	87.01	-2.14
-Fertilizantes			
Urea	47.44	38.46	-13.94
Super fosfato			
Triple	47.15	31.54	-33.09
COSTO VAR. TOTAL	227.96	200.52	-12.04
COSTOS TOTALES	993.13	965.69	-2.76
MARGEN BRUTO			
-Ingresos totales			
menos cost. tot.	2563.47	2514.84	-1.90
TOTAL MARGEN	2563.47	2514.84	-1.90

H.- Determinación de los Niveles Óptimos
de Nitrógeno y Fósforo Para Minimizar
Costos a una Producción Determinada

En algunas ocasiones es necesario producir una cantidad determinada de maíz para cubrir las necesidades internas, por lo que resulta también necesario determinar a que niveles de N y P se minimizan los costos para producir dicha cantidad.

1.- Producción requerida

Como se mencionó, la producción requerida (YR) debe ser determinada en base a las necesidades internas de la EAP. Con fines puramente explicativos y comparativos en el presente trabajo se asumirá que Y_R será de 7910.3 Kgs./há., que es la cantidad que se obtuvo cuando se estimaron las cantidades de N y P dado un presupuesto.

2.- Ecuación de la Isocuanta

La ecuación de la Isocuanta (ISQ) se obtiene a partir de igualar la función de producción (Y) a Y_R .

Esto es:

$Y = Y_R$, donde

$$Y = 5887.273 + 30.731N - 0.18746N^2 + 19.019P - 0.2341P^2 + 0.11627NP$$

Y_R = Producción Requerida en Kgs./há.

Así obtenemos:

$$Y_R = 5887.273 + 30.731N - 0.18746N^2 + 19.019P - 0.2341P^2 + 0.11627NP$$

Reescribiendo la ecuación y resolviendo para N obtenemos la ecuación de ISQ:

$$ISQ = N = 81.96681959 + 0.310119492P \pm \left(5358.907147 + 21.4073937P - 0.162003835P^2 - 0.74984Y_R \right)^{1/2} \\ - 0.37492$$

La figura 16 presenta las Isocuantas para dos niveles de producción: 7910.3 Kgs./há. (ejemplo) y 8083.2 Kgs./há. (óptimo de producción económica).

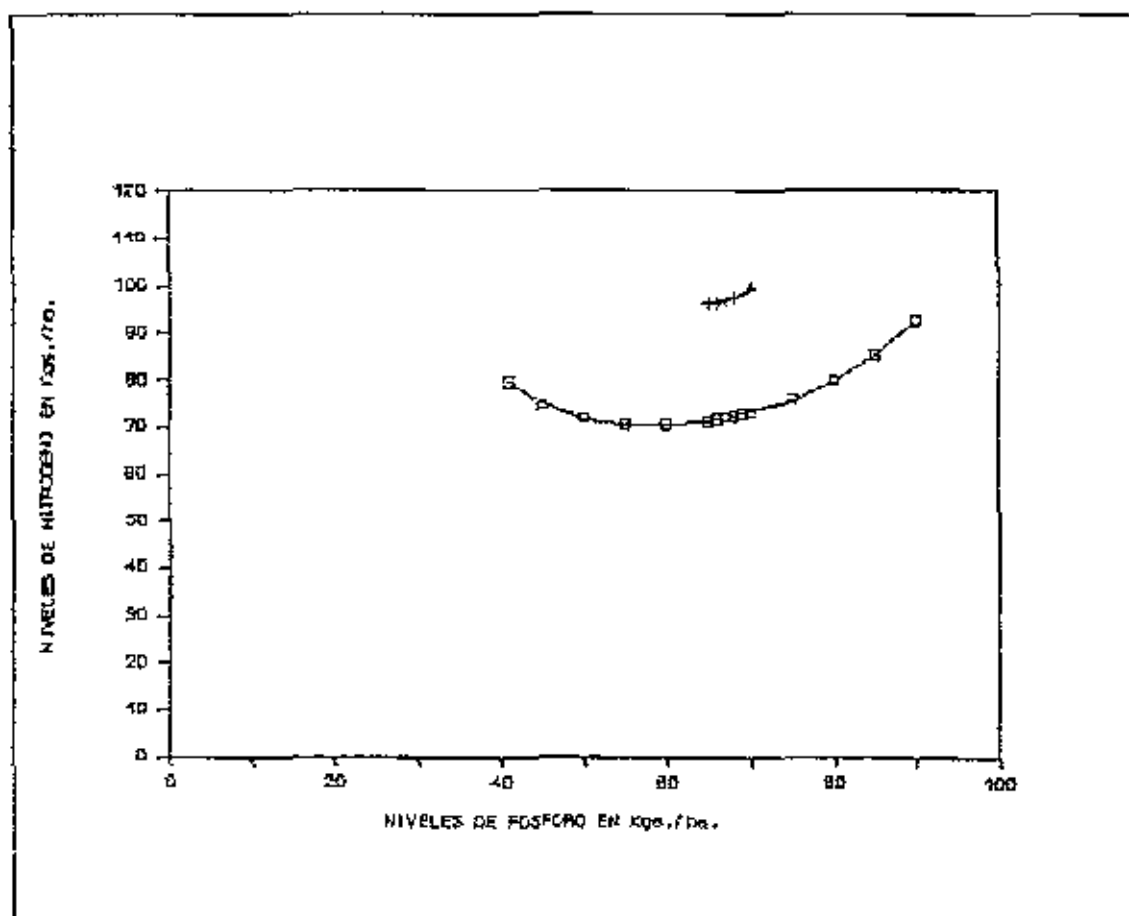


Figura 16. Líneas de Isocuanta (ISQ) para dos niveles de Producción.

3.- Resolución simultánea de la ecuación de Isocuanta y de la ecuación de la Senda de Expansión.

Sustituyendo $Y_R = 7910.3$ en ISQ obtenemos:

$$N = 81.96681959 + 0.310119492P + (-572.552205 + 21.4073937P + 0.162003835P^2)^{1/2}$$

$$-0.37492$$

Anteriormente definimos la ecuación de la SE:

$$N = 41.91078651 + 0.91638024P$$

Resolviendo simultáneamente ambas ecuaciones obtenemos los niveles de N y P que minimizan los costos para obtener una producción de 7910.3 Kgs./há.. Estos niveles son:

$$N = 79.45 \text{ Kgs./há.}$$

$$P = 40.97 \text{ Kgs./há.}$$

Puede notarse que debido a que escogimos una cantidad de 7910.3 Kgs./há. como Y^* , estos niveles son los mismos que los encontrados para un $M = 70.00 \text{ Lps./há.}^*$. La figura 17 muestra la resolución gráfica.

* Debido a esto no se presentan cuadros de ingresos y costos, ni comparativos, ya que resultarían iguales a los cuadros 22 y 23, respectivamente.

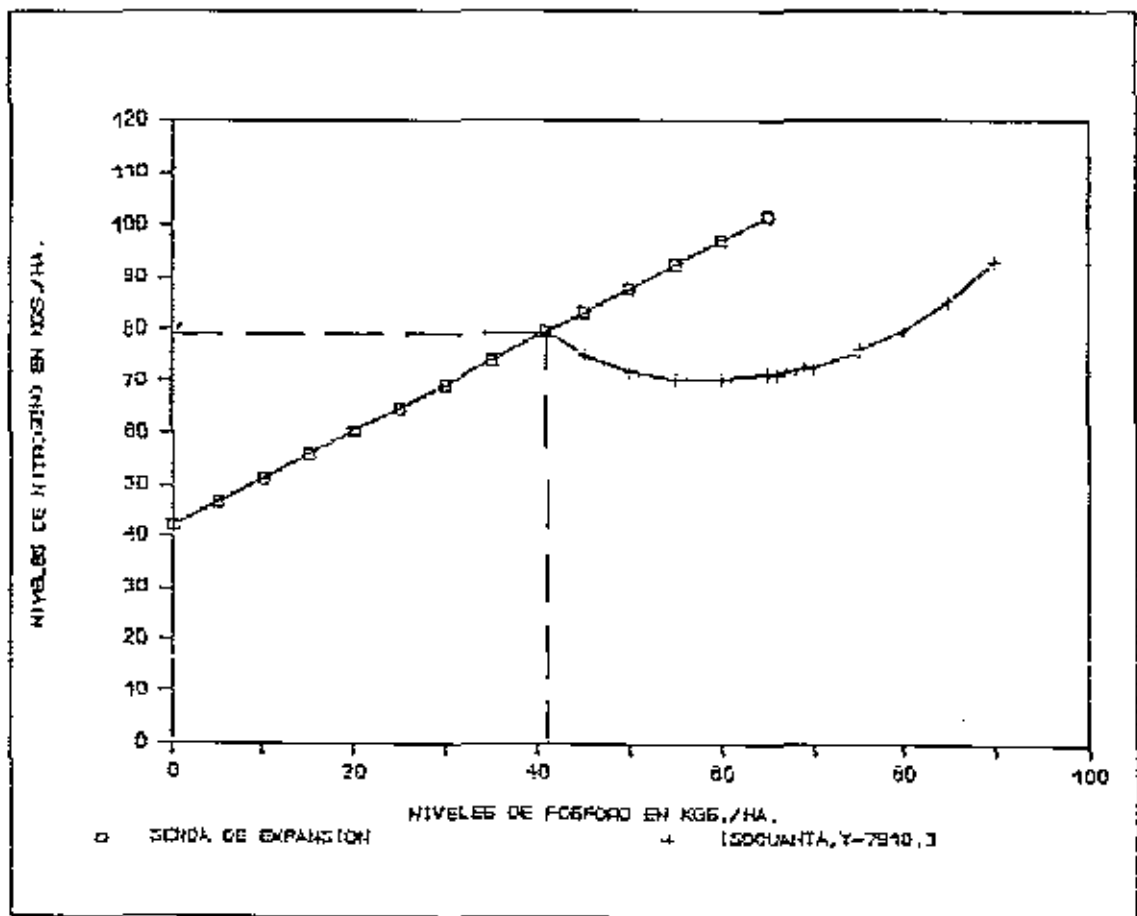


Figura 17. Resolución gráfica para encontrar N y P para una Producción determinada.

VI. ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Se analizó la variación en los resultados que se obtendrían al modificarse tanto los precios de los insumos (N y P) como del producto (maíz).

Se supusieron cambios en el precio del producto hasta por un $\pm 15.0\%$ del precio real. Estos precios corresponden a los mínimos y máximos pagados por el mismo.

En cuanto a los insumos (N y P), se considero improbable su baja de precio en relación al actual, por lo que se evaluaron 3 posibles aumentos de 20.0, 40.0 y 60.0 % considerando, también que los cambios ocurrían al mismo momento para ambos factores.

El cuadro 24 muestra los resultados obtenidos. Se puede observar que a medida disminuye el precio del producto y aumenta el de los factores, las cantidades disminuyen en mayor proporción que si solo uno de los cambios estuviese presente. Al aumentar el precio del maíz, el nivel óptimo sube. Cambios que son proporcionales a los insumos y producto, no afectan las dosis encontradas.

El cuadro 25 muestra los cambios porcentuales que se observan en los niveles de N y P, considerando los nuevos precios.

Cuadro 24. Análisis de Sensibilidad Para Cambios en los Precios de los Insumos y del Producto. Ensayo EAP. 1988.

PRECIOS DEL MAIZ									
AUMENTOS		ILps. 17.00		ILps. 20.00		ILps. 23.00			
TEN PRECIO									
DE FERT.		IN	IP	IN	IP	IN	IP		
20 %		88.85	51.22	90.89	53.45	92.40	55.09		
40 %		88.19	54.08	88.92	51.32	90.68	53.25		
60 %		76.06	46.27	87.03	49.24	89.05	51.44		

Cuadro 25. Comparación Porcentual de los Cambios en los Niveles Determinados Para Optima Producción Suponiendo Cambios en los Precios del N, el P y el Producto. Ensayo EAP. 1988.

I	I	PRECIOS DEL MAIZ						I		
I	I	I-----I-----I-----I-----I-----I-----I								I
AUMENTOS		ILps. 17.00		ILps. 20.00		ILps. 23.00			I	
TEN PRECIO		I-----I-----I-----I-----I-----I-----I								I
DE FERT.		IN	IP	IN	IP	IN	IP		I	
		I-----I-----I-----I-----I-----I-----I								I
I 20 %	I	-9.36	I -16.35	I -7.27	I -12.71	I -5.73	I -10.03		I	
I 40 %	I	-10.03	I -11.68	I -9.28	I -15.18	I -7.49	I -13.03		I	
I 60 %	I	-22.40	I -24.43	I -11.21	I -19.58	I -9.15	I -15.99		I	

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A.- Conclusiones

Se encontró que la función que mejor se ajustaba a los datos observados, era una Función Cuadrática de Superficie de Respuesta con interacción para los factores estudiados.

El nivel óptimo de aplicación de N y P para obtener el máximo rendimiento físico para el maíz híbrido H-27 se obtuvo a un nivel de 102.46 Kgs./há. de N y 66.07 Kgs./há. de P, por lo que al sobrepasar esta combinación no se aumentaría la producción, sino por el contrario, esta se vería reducida.

Dados los precios vigentes durante el desarrollo del experimento, el nivel de N y P para obtener el máximo rendimiento económico se alcanzó a 98.02 Kgs./há. de N y 61.23 Kgs./há. de P. Aplicar más de estos niveles, aumenta la producción hasta cierto nivel, pero reduce el margen obtenido.

A niveles bajos de P, se necesita aplicar menores niveles de N para alcanzar un máximo, sea este técnico o económico. Lo mismo sucede si tenemos lo contrario: a niveles bajos de disponibilidad de N es necesario aplicar menos P para alcanzar un punto óptimo. Lo anterior resulta debido a que los factores estudiados, individualmente alcanzan un

máximo a diferentes dosis de cada uno de ellos, y además están afectados por una interacción positiva. Por lo tanto, al contar con una poca disponibilidad de un factor y querer suplirla con la aplicación de una cantidad alta del otro factor, hará que el segundo sobrepase el nivel de su punto máximo con respecto al nivel del primero, con la consecuencia de que no solo no se aumentará la producción, sino más bien, la reducirá.

Desde cualquier punto de vista, no se deben realizar aplicaciones que sobrepasen las dosis necesarias de N y P para máxima producción física, pues se estaría produciendo en forma irracional (Etapa III de la función de producción).

Los niveles de N y P encontrados para máxima producción física y los encontrados para maximizar la producción en forma económica, además de los rendimientos observados a esos niveles, fueron muy similares. Esto se debió que la relación de precios en el caso del N fue muy cercana a la unidad (1.1) y es este insumo el que puede ser usado a niveles más altos en comparación con el P, cuya relación fue más alta (1.75).

Al producirse cambios proporcionales en los precios de los insumos y el producto, la relación no varía, por lo que se obtienen las misma dosis. Aumentos en el precio del maíz aumentan estas dosis, y por el contrario, aumentos en los precios del N y el P las disminuyen. Las dosis encontradas

son relativamente estables a cambios en los precios tanto de los insumos como del producto.

La diferencia observada entre repeticiones posiblemente se debió a las condiciones de clima irregulares observadas durante el desarrollo del experimento.

B.- Recomendaciones

Dependiendo de la disponibilidad tanto de fertilizantes como de capital, se deben emplear los niveles de N y P que maximicen la utilidad obtenida por hectárea de cultivo en la siembra de maíz híbrido H-27.

Si por alguna razón no se pueden aplicar los niveles de N y P que maximicen la función, en ningún momento se debe de tratar de compensar la falta de un factor con el exceso del otro, pues esto no solo no mejorará el resultado, sino que lo mermará.

Al contar con una restricción en la disponibilidad de uno de los elementos se deberá aplicar una cantidad tal del segundo que maximice la función, dados los niveles restringidos del primero.

Bajo ningún criterio se debe sobrepasar la cantidad de 102.46 Kgs./há. y 66.07 Kgs./há. de aplicación de N y P en el cultivo de maíz híbrido H-27 en la EAP.

Debido a que el maíz es uno de los cultivos más importantes en Honduras, y en muchos países latinoamericanos y

debido además a la gran variación existente en la información existente en cuanto a su fertilización y factores asociados, se debe de continuar con investigaciones sobre este tema.

La información obtenida en este experimento y la recolectada anteriormente en la EAP, puede servir de base para montar en años futuros ensayos en áreas mayores que representen en mejor forma el cultivo del maíz híbrido H-27 en forma comercial.

VIII. RESUMEN

Se condujo un ensayo en la Escuela Agrícola Panamericana, con el fin de estimar una función de Superficie de Respuesta a la fertilización nitrogenada y fosforada del cultivo de maíz híbrido H-27, y evaluar producción siguiendo la metodología del análisis económico para derivar recomendaciones, tanto técnicas como económicas sobre los niveles óptimos de aplicación de N y P.

Se usó un Diseño Experimental de Bloques Completos Al Azar, con un arreglo factorial de $5 \times 5 \times 4$ (25 tratamientos y 4 repeticiones).

El análisis estadístico se realizó por medio de un análisis de varianza; el ajuste de la función se hizo por medio de un análisis de regresión.

Basándose en el r^2 y en diversas comparaciones gráficas, se ajustó una función del tipo cuadrático con interacción para los factores la cual se muestra a continuación:
$$Y = 5887.273 + 30.731N - 0.18746N^2 + 19.019P - 0.2341P^2 + 0.11627NP$$

Se obtuvo un C.V. de 14.46 %.

Los niveles encontrados fueron:

Para óptima producción física:

N = 102.46 Kgs./há.

P = 66.07 Kgs./há.

Para óptima producción económica:

N = 98.02 Kgs./há.

P = 61.23 Kgs./há.

Además se muestra el análisis dadas diferentes restricciones (de insumos, de capital y de producción), así como también un análisis de sensibilidad a cambios de precios.

IX. BIBLIOGRAFIA

- 1.- ABRAHAM, T. y RAD, V. 1960. Economic analysis of fertilizer trial data on paddy rice and wheat. Indian Inst. of Agric. Sci. 30(1).

Citado por: ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. 1966. Estadísticas de la respuesta de los cultivos al abonado. Roma, FAO. 110 p.

- 2.- AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. 1966. Field experiment with N-15 on efficiency of fertilization for maize. Annual meeting Stillwater. Okla. Vienna Division of atomic energy in Food and Agriculture. 16 p.

- 3.- BONDAVALLI, B., COLYER, D. y KROTH, E. 1970. Effects of weather, nitrogen and population on corn yield response. Agronomy Journal. v(62):669-672.

- 4.- BROOM, L. y SELZNICK, P. s.f. Población y ecología. In ----- . Nociones esenciales de sociología. s.n.t. pp. 315-363.

- 5.- CAJAR, S., UREÑA, L. y ARAIZ, R. 1972. Estudio sobre densidades de siembra de maíz de 3 localidades. In PCCMCA: XXIII Reunion anual. Nicaragua. 45 p.

- 6.- CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. México, D.F., CIMMYT. 79 p.

- 7.- COLYER, D. y KROTH, M. 1968. Corn yield response and economic optima for nitrogen treatments and plant population over a seven year period. Agronomy Journal. v(60):524-529.

- 8.- COOKE, G. W. 1987. Fertilizantes y sus usos. Trad. del Inglés por Alonso Blackaller Valdes. México, D.F., CONTINENTAL. 180 p.

- 9.- ----- . 1982. Fertilizing for maximum yield. 3ed. New York, Macmillan. 403 p.
- 10.- D'AMICO, B. 1972. Estudio empírico de la contribución de algunos modelos y matrices experimentales sobre el sesgo al aproximar superficies de respuesta con dos factores. Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, México. CP ENA: 102 p.
- 11.- DOLL P, J. y GRAZEM, F. 1984. Productions economics. Theory with applications. 2 ed. New York, WILEY. 470 p.
- 12.- EL HERALDO. 1989. Honduras se verá en la necesidad de importar granos básicos declara presidente de BANADESA. Nº 26049, Febrero de 1989. Tegucigalpa, Honduras. P 18.
- 13.- ----- . 1988. Escasez de fertilizantes a punto de impedir futuras cosechas. Nº 15067. Junio de 1988. Tegucigalpa, Honduras. P 12.
- 14.- ESPINOZA, E. 1973. Densidad de población de plantas en 4 variedades de maíz de diferentes características. In PCCMCA: XIX Reunion anual. San José, Costa Rica. 84 p.
- 15.- FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. 1981. Production year book. Vol. 34. FAO, Roma. 823 p.
- 16.- ----- . 1980. Los fertilizantes y su empleo. Roma, FAO. 54 p.
- 17.- ----- . 1966. Estadísticas de la respuesta de los cultivos al abonado. Roma, FAO. 110 p.
- 18.- GANDARILLAS, M. 1970. Prueba crítica del ajustado de diferentes modelos a la respuesta de trigo de invierno bajo cuatro factores ambientales controlados. Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, México. CP ENA. 172 p.
- 19.- GONZALEZ, D. A. 1977. Evaluación de la respuesta del maíz a la aplicación de cuatro niveles de nitrógeno en combinación con seis densidades de población en el parcelamiento La Máquina. Tesis Ing. Agr., Guatemala, Universidad, Facultad de Agronomía, 48 p.

- 20.- GREEN, C. L. 1974. Determinación de la época de aplicación de nitrógeno complementario en el maíz (*Zea mays* L.). Tesis Ing. Agr., Managua, Nicaragua, Escuela Nacional de Agricultura y Ganadería. 32 p.
- 21.- GUDIEL, V. 1987. Manual Agrícola SUPERB. 6 ed. Guatemala, MODERNAS. 393 p.
- 22.- HEADY, E. 1961. Status and methods of research economic and agronomic aspects of fertilizer response and use. National Academy of Sciences. National Research Council. Washington D.C. s.p.
- 23.- HEADY, E. y DILLON, J. 1961. Agricultural production functions. Iowa, USA, ISUPRESS. 395 p.
- 24.- HEADY, E., PESJEK, J., y BROWN, W. 1955. Crop response surfaces and economic optimum in fertilizer use. Iowa Agr. exp. res. Bulletin 424, Ames, Iowa, ISU. s.p.
- 25.- HONDURAS. BANCO CENTRAL DE HONDURAS. 1986. Honduras en cifras. Tegucigalpa, Honduras, BCH. 48 p.
- 26.- _____. 1985. Memoria anual 1985. Tegucigalpa, Honduras, Tipografía Nacional. 79 p.
- 27.- INSTITUTO DE LA POTASA. s.f. Vademecum de la potasa. Hannover, Alemania Occidental. s. n. t. 88 p.
- 28.- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA. 1985. Compendio de agronomía tropical. Editado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y el Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia. San José, Costa Rica, IICA-MREF. 827 p. (IICA/Investigación y Desarrollo No. 12)
- 29.- _____. 1969. Programación de la investigación y extensión en maíz y sorgo de grano para América Central. Editado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y el Ministerio de Agricultura de Guatemala. Antigua, Guatemala, IICA-NAG. pp. 1-157.
- 30.- JOHNSON R. y FINLEY R. s.f. Yield precipitation relationships and some suggested strategies for the transition area of Nebraska. s.n.t. pp. 1232-1237

31.- KRANTZ, B. et al. 1974. Cropping pattern for increasing and stabilizing agricultural production in the semi-arid tropics. In International workshops on farming systems, Hyderabad, India. pp. 217-248.

32.- LITTLE, T. y HILLS, J. 1976. Métodos estadísticos para la investigación en agricultura. Trad. del Inglés por María Isabel Silveria de Jasa y Roberto A. Flores Alcántara. México D.F., TRILLAS. 209 p.

33.- LLANDS, M. 1984. El maíz. Su cultivo y aprovechamiento. Madrid, España, MUNDIPRENSA. 318 p.

34.- LOBO, O. A. 1987. Análisis económico de diferentes niveles de aplicación de nitrógeno y fósforo en la fertilización del cultivo de maíz híbrido H-27 en la Escuela Agrícola Panamericana. Tesis Ing. Agr., El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 50 p.

35.- LUCHSINGER, A. 1975. Relación entre el rendimiento y sus factores en líneas e híbridos de maíz a dos densidades de siembra. Chile, Universidad de Chile. Investigación agrícola v(1):72

36.- LUGO, C. 1967. Eficiencia del isótopo N-15 en la determinación del N en maíz. Perú, MDA. 32 p.

37.- MEBERSKY, N. 1965. Dos sistemas para obtener mayores rendimientos de maíz. Agricultura de las Américas. p. 5.

38.- MOYLE, S., WILLIAMS, J. y COUSTON, W. 1962. Los niveles de producción agrícola y el empleo de fertilizantes. Roma, FAO. Programa de fertilización. 54 p.

39.- MUNSON, R. y DOLL, P. 1959. The economics of fertilizer use in crop production. In Advances in agronomy. New York, ACADEMIC PRESS. v(11):133-169.

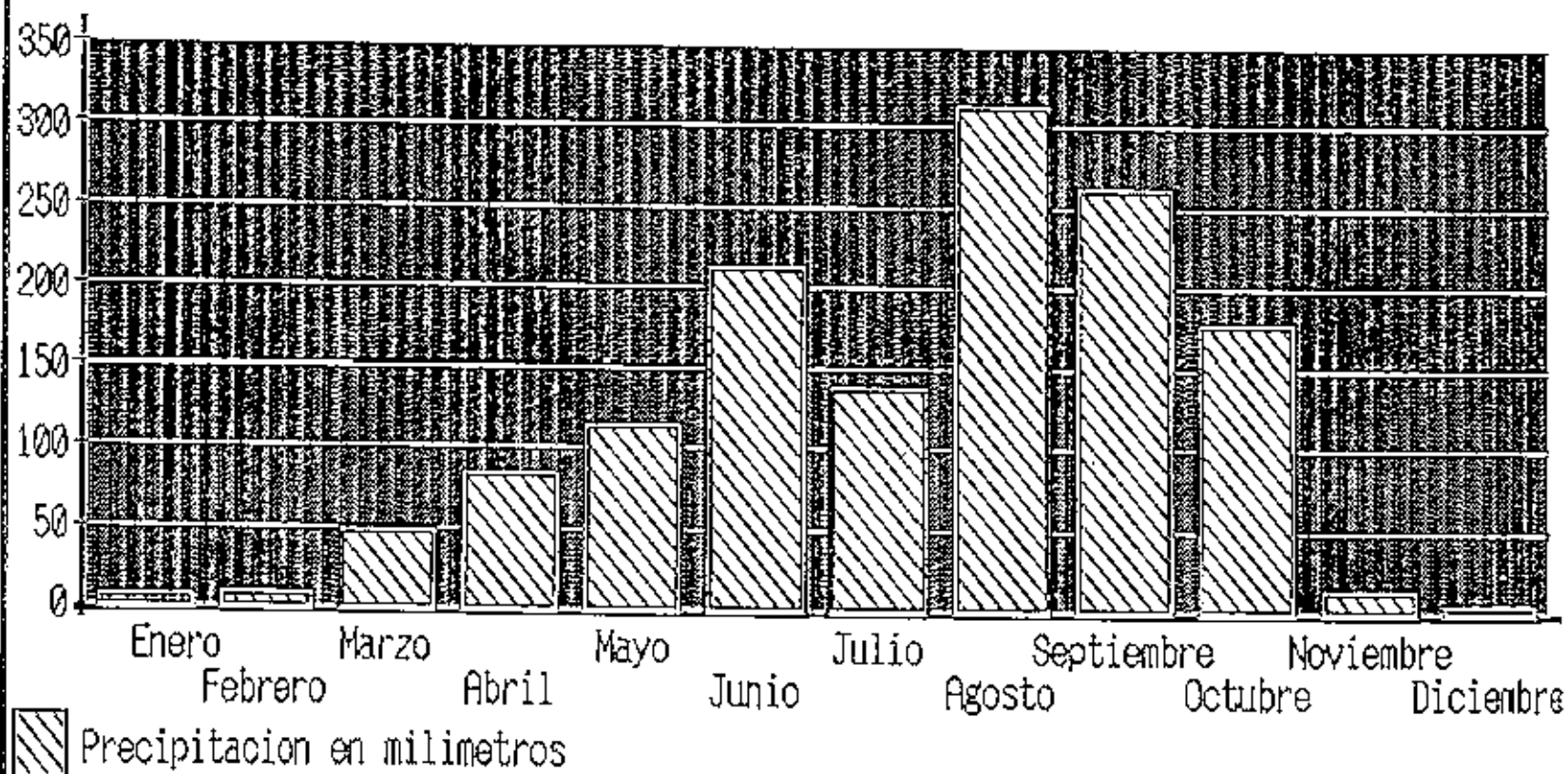
40.- NATIONAL PLANT FOOD INSTITUTE. 1974. Manual de fertilizantes. Trad. del Inglés por National Plant Food Institute. México, D.F., LIMUSA. 292 p.

41.- ORANDO, J. M. 1980. Respuesta de la asociación maíz (*Zea mays* L.) - frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la aplicación de nitrógeno y fósforo en ultisoles. Tesis Ing. Agr., Managua, Nicaragua, Universidad, Facultad de Agronomía. 76 p.

- 42.- OLSON, R. 1964. Using fertilizer Nitrogen on grain crops. Agricultural Exp. Sta. Bull. 479. Universidad of Nebraska. 42 p.
- 43.- REAYNAERT, E. 1967. Funciones de producción para formular recomendaciones para el uso de fertilizantes. In MONTERO B., E. Y PEREZ V., S. 1967. Eds. Investigación económica y experimentación agrícola. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (Zona Sur) y Universidad Católica de Chile, Montevideo, 393 p.
- 44.- RODRIGUEZ, H. y LAIRD, J. 1977. Comparación de cuatro modelos matemáticos y de un modelo gráfico en la estimación de niveles óptimos económicos de fertilización en el cultivo de sorgo temporal en la zona oeste de El Bajío. In Agrociencia. Chapingo México, CP ENA. pp. 155-176.
- 45.- SEN, B. 1966. Preamble. In ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. 1966. Estadísticas de la respuesta de los cultivos al abonado. Roma, FAO. 110 p.
- 46.- SMITH, W. y PARKS, W. e.f. A method for incorporating probability into fertilizer recommendations. s.n.t. pp. 1511-1515.
- 47.- VITOSH, M., LUCAS, R. y BLACK, R. 1974. Effect of nitrogen fertilizer on corn yield. Michigan, USA, MSU. Extension Bulletin E-802. Farm Sciences Series No 12. 6 p.

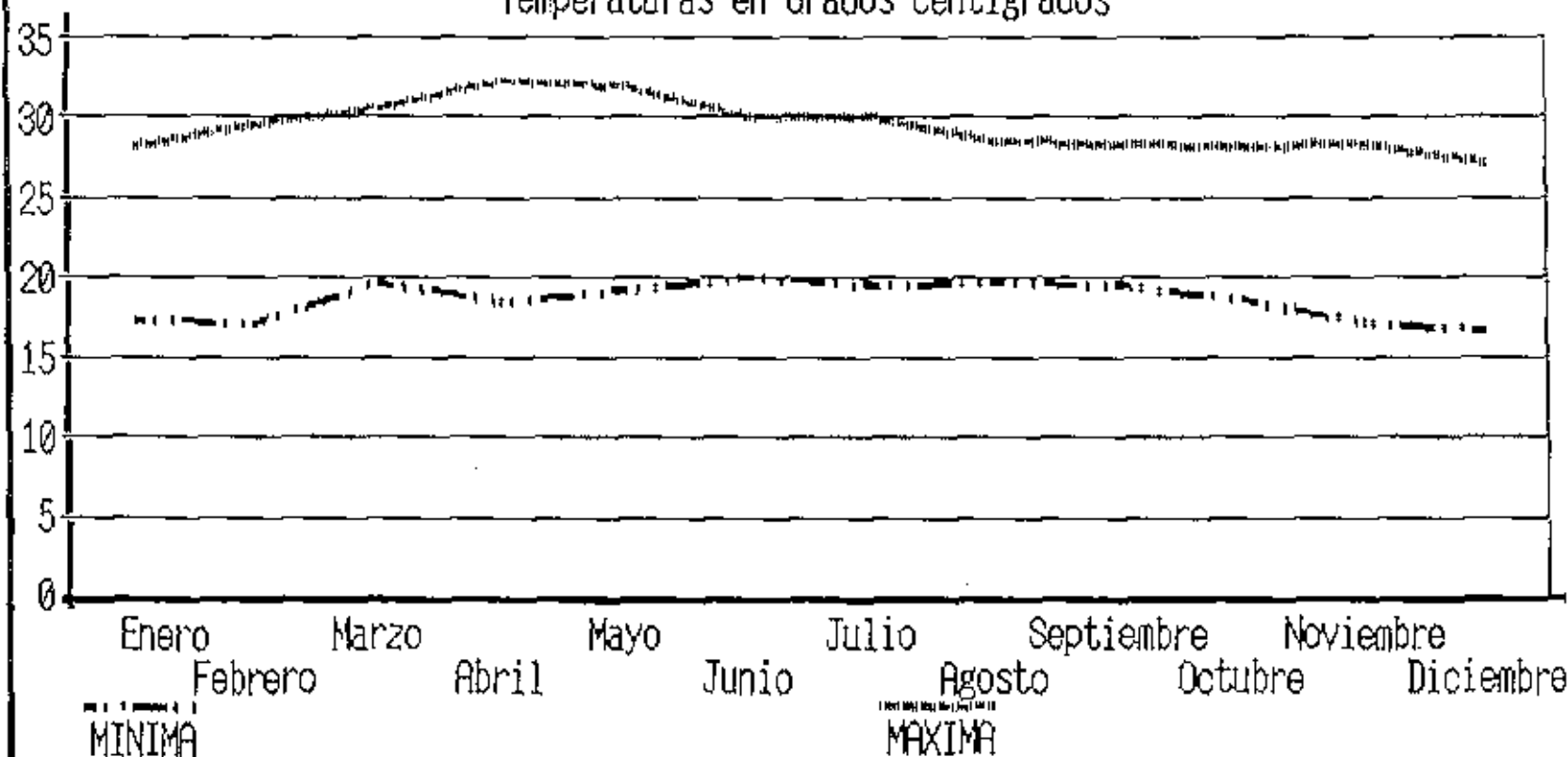
X. ANEXOS

Anexo 1a. Distribución mensual de la precipitación para el año 1988. Estación de recolección de datos meteorológicos al Zamorano.



Anexo 1b. Temperaturas mínimas y máximas mensuales registradas durante el año de 1988. Estación de recolección de datos meteorológicos El Zamorano.

Temperaturas en Grados Centígrados



Anexo 2. Distribución en el campo de los tratamientos
usados en el ensayo. EAP. 1988.

I	40- 60	I	160- 60	I	80- 30	I	160- 30	I	0- 30	I	R
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	E
I	40- 30	I	0-120	I	0- 0	I	120-120	I	0- 60	I	P
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	E
I	120- 30	I	40- 0	I	40-120	I	120- 90	I	0- 90	I	T
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	IV
I	40- 90	I	80- 0	I	80-120	I	160-120	I	160- 90	I	I
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	C
I	80- 90	I	120- 60	I	120- 0	I	80- 60	I	160- 0	I	O
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	N

I	80-120	I	160- 30	I	160- 0	I	120-120	I	160-120	I	R
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	E
I	40-120	I	40- 90	I	40- 60	I	0- 30	I	40- 0	I	P
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	E
I	0- 90	I	80- 0	I	160- 60	I	120- 0	I	0-120	I	T
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	III
I	80- 30	I	120- 60	I	160- 90	I	40- 30	I	0- 0	I	I
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	C
I	0- 60	I	80- 60	I	120- 30	I	80- 90	I	120- 90	I	O

I	160-60	I	0- 30	I	0- 0	I	40- 90	I	120- 30	I	R
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	E
I	40- 30	I	80- 30	I	160- 60	I	80- 90	I	120- 60	I	P
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	E
I	120-120	I	0- 60	I	0-120	I	40- 60	I	160- 30	I	T
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	II
I	160- 90	I	160-120	I	40- 0	I	80- 0	I	80-120	I	I
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	C
I	0- 90	I	80- 60	I	120- 90	I	40-120	I	120- 0	I	O

I	120-120	I	160- 90	I	120- 90	I	40- 0	I	0- 60	I	R
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	E
I	80- 60	I	120- 30	I	160- 0	I	80- 30	I	40-120	I	P
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	E
I	40- 60	I	80- 90	I	80-120	I	160-120	I	40- 90	I	T
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	I
I	0- 30	I	80- 0	I	160- 60	I	160- 30	I	40- 30	I	C
I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	O
I	120- 60	I	0- 90	I	120- 0	I	0-120	I	0- 0	I	N

* La primera cifra corresponde a los Kgs./há. aplicados de N y la segunda a los Kgs./há. aplicados de P.

Anexo 3. Contenido final de P de las parcelas utilizadas en el ensayo. EAP. 1988.

REPETICION I					REPETICION II				
#	TRATAMIENTO	P FINAL			#	TRATAMIENTO	P FINAL		
PARCELA	N	P	ppm		PARCELA	N	P	ppm	
101	120	60	16	II	201	120	0	13	I
102	0	90	16	II	202	40	120	14	I
103	120	0	9	II	203	120	90	12	I
104	0	120	14	II	204	80	60	12	I
105	0	0	21	II	205	0	90	12	I
106	40	30	12	II	206	160	90	9	I
107	160	30	7	II	207	160	120	10	I
108	160	60	16	II	208	40	0	10	I
109	80	0	11	II	209	80	0	11	I
110	0	30	12	II	210	80	120	13	I
111	40	60	14	II	211	160	30	14	I
112	80	90	16	II	212	40	60	10	I
113	80	120	13	II	213	0	120	10	I
114	160	120	16	II	214	0	60	17	I
115	40	90	15	II	215	120	120	16	I
116	40	120	14	II	216	40	30	17	I
117	80	30	16	II	217	80	30	13	I
118	160	0	13	II	218	160	60	16	I
119	120	30	21	II	219	80	90	14	I
120	80	60	13	II	220	120	60	8	I
121	120	120	13	II	221	120	30	10	I
122	160	90	12	II	222	40	90	12	I
123	120	90	13	II	223	0	0	10	I
124	40	0	18	II	224	0	30	13	I
125	0	60	26	II	225	160	0	11	I

Anexo 3. Continuación.

REPETICION III					REPETICION IV				
#	TRATAMIENTO	P	FINAL		#	TRATAMIENTO	P	FINAL	
PARCELA	N	P	ppm		PARCELA	N	P	ppm	
301	0	60	7	II	401	160	0	9	I
302	80	60	19	II	402	80	60	10	I
303	120	30	8	II	403	120	0	5	I
304	80	90	8	II	404	120	60	17	I
305	120	90	11	II	405	80	90	12	I
306	0	0	8	II	406	40	90	8	I
307	40	30	9	II	407	80	0	8	I
308	160	90	20	II	408	80	120	10	I
309	120	60	18	II	409	160	120	6	I
310	80	30	16	II	410	160	90	6	I
311	0	90	9	II	411	0	90	10	I
312	80	0	12	II	412	120	90	8	I
313	160	60	9	II	413	40	120	3	I
314	120	0	9	II	414	40	0	11	I
315	0	120	11	II	415	120	30	11	I
316	40	0	8	II	416	40	30	8	I
317	0	30	8	II	417	0	120	8	I
318	40	60	7	II	418	0	0	4	I
319	40	90	10	II	419	120	120	3	I
320	40	120	10	II	420	0	60	29	I
321	80	120	10	II	421	0	30	11	I
322	160	30	13	II	422	160	30	30	I
323	160	0	7	II	423	80	30	10	I
324	120	120	9	II	424	160	60	27	I
325	160	120	6	II	425	40	60	36	I

