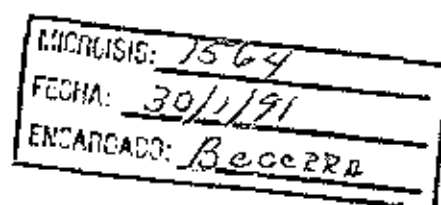


Determinación del Nivel Optimo Económico
de Fertilización Nitrogenada y Fosforada
del Híbrido de Sorgo Catracho y la variedad
Isiap Dorado en el Valle de El Zamorano

P O R

Luis Antonio Gamero Ramírez

T E S I S



PRESENTADA A LA
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCION
DEL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

El Zamorano, Honduras
Abril, 1989

BIBLIOTECA WILEY PUPENDE
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TEGUCIGALPA HONDURAS

DETERMINACION DEL NIVEL OPTIMO ECONOMICO DE FERTILIZACION
NITROGENADA Y FOSFORADA DEL HIBRIDO DE SORGO CATRACHO
Y LA VARIEDAD ISIAF DORADO EN EL VALLE DE EL ZAMORANO

Por
Luis A. Gamero Ramirez

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 de autor.



Luis A. Gamero Ramirez

20 de abril de 1969

DEDICATORIA

A mis padres Manuel y Amanda por su apoyo en estos años de estudio.

AGRADECIMIENTOS

A la Agencia Internacional para el Desarrollo (AID) del Gobierno de los Estados Unidos de América, por la beca que me otorgó para realizar mis estudios en la Escuela Agrícola Panamericana.

A los miembros del comité asesor de esta tesis, por su colaboración y asesoramiento, y en forma especial para el Doctor Jorge Moya, Jefe del Departamento de Economía Agrícola y Agronegocios de la E.A.P.

Al Doctor Leonardo Corral, Jefe del Departamento de Agronomía de la E.A.P. por las facilidades prestadas para el montaje del ensayo.

Al Doctor Juan José Alén, Jefe de la Sección de Fitomejoramiento de la E.A.P. por sus orientaciones y ayuda durante el montaje del ensayo, y posteriormente en la corrección de la tesis.

Al Doctor Dan Meckenstock, Jefe del Proyecto INTSORMYL, por facilitar información sobre investigación de sorgo en Honduras.

Al Ingeniero Alejandro Palma, por sus orientaciones en el manejo del ensayo.

Al Ingeniero Rigoberto Nolasco, ex-Jefe del Programa Nacional de Sorgo y Frijol de RRNN, por facilitar información sobre investigación de sorgo en Honduras.

Al Ingeniero Orlando Muñoz, por su colaboración en la realización y manejo del ensayo.

Al Agrónomo Sidney López, por sus orientaciones y consejos.

Al Agrónomo Johnny Alvarado, por su ayuda en el manejo de la computadora.

A mis compañeros de cuarto año, en especial a los de Economía Agrícola, por su camaradería y entusiasmo en los momentos difíciles.

INDICE GENERAL

	PAGINA
I. INTRODUCCION.....	1
A. Objetivos	2
B. Alcances del Estudio.....	3
II REVISION DE LITERATURA	4
A. Conceptos Relacionados con Superficies de Respuesta.....	4
B. Aspectos Relacionados con Fertilidad del Suelo y Nutrición Vegetal.....	10
C. Información Relacionada con Investigación en Sorgo.....	13
III MATERIALES Y METODOS	18
A. Descripción del Campo Experimental	18
1. Localización	18
2. Descripción y Antecedentes	18
B. Descripción del Trabajo Experimental	18
1. Disposición del Experimento	18
2. Fertilizantes y Tratamientos	19
C. Manejo del Experimento	22
1. Análisis de Suelo	22
2. Preparación de Suelo	22
3. Siembra	22
4. Fertilización	22
5. Combate de Malezas	23
6. Combate de Plagas	23
7. Recolección de Datos.....	24
a. Agronómicos.....	24
1. Número de panojas	24
2. Rendimiento	24
b. Económicos	24
1. Costos fijos	24
2. Costos variables	25
3. Precio de insumos y productos	25
4. Análisis Estadístico	25
5. Ajuste de la Superficie de Respuesta ...	25
6. Obtención de la Superficie de Respuesta...	25
7. Análisis Económico	26
IV. DISCUSION DE RESULTADOS	27
A.Respuesta a Nitrógeno	30
B.Respuesta a Fósforo	31

C. Determinación de las Dosis Optimas.....	36
1. Máxima Producción Técnica.....	36
2. Dosis Optima Económica	36
3. Obtención de la Dosis Optima para Máxima Producción con Restricción de Presupuesto	40
4. Dosis Optima para una Producción Dada.....	42
D. Análisis de Sensibilidad.....	44
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
A. Conclusiones.....	46
B. Recomendaciones.....	47
VI. RESUMEN.....	48
VII. BIBLIOGRAFIA.....	50

INDICE DE CUADROS

	PAGINA
Cuadro 1. Niveles de Nitrógeno y Fósforo Evaluados.....	20
Cuadro 2. Tratamientos Empleados en el Ensayo.....	21
Cuadro 3. Resultado del Análisis de Suelo del Campo Experimental.....	27
Cuadro 4. Análisis de Varianza de la Regresión para la Variedad Isiap Dorado.....	30
cuadro 5. Precio de los Insumos, Productos y Costos Fijos por Hectárea para la Variedad Isiap Dorado en Lempiras.....	37
Cuadro 6. Costos de Producción de una Hectárea de Isiap Dorado Mecanizada al Nivel Optimo Económico de Fertilización en Lempiras.....	39
Cuadro 7. Dosis Optimas Económicas de Nitrógeno y Fósforo para la Variedad Isiap Dorado a Diferentes Precios de estos Insumos y a un Precio de Lps 0.315/kg de Sorgo.....	45
Cuadro 8. Dosis Optimas Económicas de Nitrógeno de la Variedad Isiap Dorado a Diferentes Precios de Sorgo y con un Precio de Lps 1.34/kg de N y Lps 1.65/kg de P.....	45

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 1. Superficie de respuesta de la variedad Isiap Dorado a nitrógeno y fósforo.....	29
Figura 2. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a nitrógeno a 0 kg/ha de fósforo.....	32
Figura 3. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a nitrógeno a 20 kg/ha de fósforo.....	32
Figura 4. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a nitrógeno a 40 kg/ha de fósforo.....	33
Figura 5. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a nitrógeno a 60 kg/ha de fósforo.....	33
Figura 6. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a fósforo a 0 kg/ha de nitrógeno.....	34
Figura 7. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a fósforo a 60 kg/ha de nitrógeno.....	34
Figura 8. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a fósforo a 120 kg/ha de nitrógeno.....	35
Figura 9. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a fósforo a 180 kg/ha de nitrógeno.....	35
Figura 10. Combinación óptima de nitrógeno y fosforo para máxima producción con restricción de presupuesto para la variedad Isiap Dorado	43
Figura 11. Combinación óptima de nitrógeno y fósforo para una producción dada para la variedad Isiap Dorado.....	43

INDICE DE ANEXOS

	PAGINA
Anexo 1. Datos de las variables analizadas en el ensayo.....	53

I. INTRODUCCION

El sorgo (*Sorghum bicolor* L), constituye uno de los granos básicos más importantes que actualmente se cultivan en Honduras. Sus diversos usos, como: grano para consumo humano directo, ingrediente en formulaciones de concentrado o en elaboración de ensilaje para consumo animal, lo convierten en una importante fuente de nutrimentos en la dieta de la familia hondureña, así como en una buena fuente de ingresos para el sector agrícola del país.

Según la FAO, la producción de sorgo el año de 1982 alcanzó 45000 t de grano, cultivándose 56000 hectáreas con un rendimiento de 0.804 t/ha.

Actualmente, el umbral de producción de sorgo en Honduras es de 1 t/ha, el cual decrece anualmente. Este bajo rendimiento se debe al uso de genotipos con bajo potencial, falta de tecnificación en las siembras y poco uso de fertilizantes. (Hernández, Nolasco y Meckenstock 1985). Asimismo, la mala utilización de los insumos trae consigo un decrecimiento en los rendimientos del cultivo, que a su vez incide negativamente en los ingresos del productor. Guillén y Portillo (1980), después de realizar un estudio en la región de Tamaulipas (México), comprobaron que los insumos no estaban siendo utilizados en forma óptima económica, por lo cual el agricultor no estaba maximizando sus ganancias.

Debido a lo anteriormente expuesto, se ha recurrido a la producción y uso de los híbridos y variedades mejoradas, que responden eficientemente a la aplicación de fertilizantes y niveles tecnificados de producción. Tanto el híbrido Catracho como la variedad Isiap Dorado, constituyen dos tipos de sorgo de bastante difusión en nuestro país.

El sorgo Catracho es un híbrido precoz (105 días), que ha alcanzado rendimientos de hasta 7 t/ha en ambientes ricos en nutrientes (HÍBRIDO GRANIFERO rendidor Catracho, snt).

La variedad Isiap Dorado tiene un ciclo de 100 a 110 días, y ha alcanzado rendimientos de hasta 4 t/ha (Ramírez, Nolasco y Neckenstock, 1985).

Ambos, Catracho e Isiap Dorado, han demostrado tener una excelente respuesta a altas aplicaciones de fertilizantes, razón por lo cual este estudio pretende determinar cual es el nivel óptimo económico de fertilización al que se obtienen los máximos beneficios económicos en ambos tipos de sorgo.

A.Objetivos

General: Determinar el nivel óptimo económico de fertilización nitrogenada y fosforada en el híbrido de sorgo Catracho y la variedad Isiap Dorado en el valle de El Zamorano

Específicos: 1) Determinar los costos de producción y beneficios económicos en ambos tipos de

sorgo.

- 2) Determinar las dosis óptimas económicas de nitrógeno y fósforo con restricciones de producción y presupuesto para compra de insumos en ambos tipos de sorgos.
- 3) Determinar cualidades en cuanto a la respuesta al medio ambiente de el valle de El Zamorano en ambos tipos de sorgo.

B. Alcances del Estudio

El presente estudio trata de formular una recomendación para la fertilización de nitrógeno y fósforo en el cultivo de sorgo en el valle de El Zamorano, utilizándose para ello la variedad Isiap Dorado y el híbrido Catracho por tener una amplia difusión en la zona.

II REVISION DE LITERATURA

A. Conceptos Relacionados con Superficies de Respuesta

Según Heady (1961), la función de producción se refiere básicamente a la relación existente entre la cantidad de insumo aplicada y el producto obtenido.

El mismo autor señala que un producto nunca es obtenido en función de un solo factor, sino que en lo que se refiere a producción de cultivos éstos requieren para su obtención de muchos factores específicos entre ellos: semilla, fertilizante, horas-hombre, maquinaria, tierra y otros recursos. Por tanto la función de producción se expresa en los términos de $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$, donde Y se refiere a un producto tal como un cultivo cualquiera (variable dependiente) y $X_1, X_2, \dots, X_n$ se refieren a factores específicos de producción como semilla, fertilizante y horas-hombre.

Heady (1961) prosigue afirmando, que una función de producción escrita en la forma $Y = f(X, Z)$ sencillamente representa todos los factores que contribuyen al valor del producto Y. Para expresar relaciones cuantitativas entre variables, la función de producción debe ser representada en la forma algebraica tal como $Y = a + bX$ ó $Y = aX^bZ^c$ o cualquier

otro modelo que ajuste apropiadamente.

Heady (1961) afirma que el análisis de la función de producción se ha realizado en términos de producto total, siendo el término "curva de producto total" sinónimo de "función de producción". Los conceptos de importancia para cualquier problema en economía de la producción son:

1) curva de producto promedio y 2) curva de producto marginal, las cuales son obtenidas a partir de la función de producción o curva de producto total.

El mismo autor señala que producto promedio o productividad promedio puede ser expresada por la razón Y/X , donde Y se refiere al producto total y X al insumo total aplicado. El producto total puede ser obtenido mediante la división de la función de producción a los diferentes niveles de insumo entre las unidades empleadas de ese insumo.

El producto marginal se refiere a la cantidad con que cada unidad individual de insumo contribuye al incremento o decrecimiento del producto total. Cantidades marginales se refieren a razones de cambio, así el producto marginal es la razón de cambio en el producto total relacionada con un cambio en la cantidad de insumo aplicado. Si se utiliza la simbología c para expresar "cambio en", cY indica "cambio en producto" y cX "cambio en insumo", entonces el producto marginal es definido por la razón cY/cX .

Continúa afirmando, que los óptimos y máximos de

aplicación de un insumo sólo pueden ser definidos en términos de marginalidad.

En publicación de la FAO (1966), se afirma que por medio de la curva de respuesta, se pueden estimar las dosis óptimas de cada nutrimento. Desde luego, se considera satisfactorio este método si no existen interacciones entre los nutrimentos. Cuando dos o más fertilizantes ejercen efectos combinados en la respuesta del cultivo, la cantidad óptima de cualquier fertilizante depende de las dosis que se apliquen de otros, por tanto los modelos más utilizados para explicar la respuesta de los cultivos al fertilizante son los siguientes:

1) Superficie cuadrática de respuesta

$$Y = a + bX + cX^2 + dZ + eZ^2 + fZX$$

En esta ecuación, Y es el rendimiento probable afectado por dosis X y Z de los dos nutrimentos, mientras que a, b, ..., f son constantes que han de determinarse.

Si la ley de los rendimientos decrecientes se aplica al caso, serán positivos b y d y negativos c y e. El signo de f puede ser + ó - según sea positiva ó negativa la interacción entre los factores. El valor cero de f (susceptible a errores experimentales), significa que no existe interacción entre los factores.

2) Fórmula de la raíz cuadrada

$$Y = a + b\sqrt{X} + cX + d\sqrt{Z} + eZ + f\sqrt{ZX}$$

En esta ecuación Y el rendimiento esperado, X y Z las

dosis de los dos factores y a, b, ..., f las constantes.

Esta función será preferible a la superficie de respuesta cuando las relaciones de las respuestas sean relativamente bajas.

3) Fórmula Cobb-Douglas

$$Y = a(X)^c(Z)^e$$

Esta función no toma en cuenta la disminución de los rendimientos al aumentarse las dosis de los fertilizantes. Los coeficientes c y e indican el incremento de los rendimientos del cultivo debido a los fertilizantes y se llaman coeficientes de elasticidad.

4) Función de Mitscherlich-Baule

$$Y = a(1 - e^{-bX})(1 - e^{-dZ})$$

Las constantes b y d representan las cantidades equivalentes de nutrientes disponibles para el cultivo. Estas constantes son siempre positivas. La constante a expresa el rendimiento máximo.

Según Dillon (1977), el criterio para la comparación de diferentes modelos para la obtención de la superficie de respuesta, es una combinación de: a) conveniencia, b) significancia de los parámetros, c) consideraciones "a priori" relacionadas con la biología y aspectos económicos del proceso de respuesta, d) juicio subjetivo y e) facilidad de cálculo.

En publicación de la FAO (1966), se señala que Abraham y Rao en ensayos de abonado realizados en la India en 1960, encontraron que la función cuadrática de respuesta es satisfactoria para explicar la superficie de respuesta en la mayoría de los casos.

Heady y Col, citados por Laird y Rodríguez (1977), encontraron que el mejor modelo para explicar la superficie de respuesta en el cultivo de maíz y trébol rojo es el de raíz cuadrada, utilizaron para ello varias relaciones estadísticas y computaciones gráficas.

Munson y Doll, citados por Laird y Rodríguez (1977), al realizar 27 ensayos en el cultivo de caña de azúcar, utilizan el modelo cuadrático para la obtención de la superficie de respuesta.

Laird y Rodríguez (1977), al hacer 18 comparaciones de los niveles óptimos económicos de fertilización en sorgo calculados matemáticamente con respecto a un modelo gráfico, encontraron que en nueve de los casos se aproximaron más al modelo gráfico cuando se utilizó el modelo cuadrático de predicción; en cinco de los casos cuando los cálculos se efectuaron con el modelo potencial 1.5 y en cuatro cuando se utilizó el modelo raíz cuadrada.

Dillon (1977), afirma que el mayor énfasis en investigación del modelo más apropiado para explicar la superficie de respuesta, se ha hecho con los modelos cuadráticos, raíz cuadrada, función de Mitscherlich, y las

funciones hiperbólicas. Ejemplos típicos son según Dillon, los trabajos de Abraham y Rao, Anderson, Anderson y Nelson, Cady y Laird, Colwell, Heady y Dillon y Johnson y Johnson.

En publicación de la FAD (1966) citada anteriormente, se explica que las dosis de nitrógeno y fósforo que aumenten al máximo los beneficios netos, serán las que figuren en la combinación con que el valor del incremento de producción obtenido mediante pequeños incrementos de cada fertilizante, compense exactamente el costo de los nutrientes añadidos. En otras palabras, los beneficios marginales tienen que ser iguales al costo marginal. Así pues, en el caso de las dosis óptimas tendremos:

$$P_1 cY = Q_1 cX$$

$$P_1 cY = Q_2 cZ$$

en que P_1 es el precio por unidad del producto, Q_1, Q_2 son los precios del nitrógeno (X) y el fósforo (Z); cY representa el pequeño incremento que experimenta el rendimiento con pequeños incrementos de X y Z. tenemos, pues, que:

$$P_1 \frac{\delta Y}{\delta X} = Q_1$$

$$P_1 \frac{\delta Y}{\delta Z} = Q_2$$

en que $\frac{\partial Y}{\partial X}$ denotan las derivadas parciales de la función de producción con respecto al insumo que se estima.

B. Aspectos Relacionados con Fertilidad del Suelo y Nutrición Vegetal

Según Sánchez (1981), la evaluación de la fertilidad del suelo es el proceso mediante el cual se hace una evaluación de los problemas de nutrición del suelo y se dan recomendaciones de fertilización. Para determinar la fertilidad del suelo se requiere según Fitts, citado por Sánchez (1981), seis facetas: 1) muestreo de suelo, 2) análisis de laboratorio, 3) correlación entre análisis y respuestas de rendimiento, 4) interpretación y recomendaciones, 5) poner información en uso y 6) investigación.

Según Fortuna (1985), la importancia del análisis de fertilidad radica en que cualquier aplicación que de fertilizante se haga, por encima o debajo de los requerimientos del cultivo es incorrecta.

Continúa afirmando Fortuna que la respuesta del cultivo en lo que a máximo rendimiento se refiere, será en relación al nutriente deficitario en el suelo.

Según Sánchez (1981), el nitrógeno es el elemento nutritivo que con mayor frecuencia limita los rendimientos en los trópicos así como en la región templada. Asimismo,

afirma que las Adiciones de nitrógeno se originan de la lluvia, polvo, fijación simbiótica y desechos animales y humanos. Las pérdidas de nitrógeno del suelo se deben a volatilización, lixiviación, denitrificación, erosión y absorción por las plantas.

Tisdale y Nelson (1958) afirman que las formas de nitrógeno más comunmente asimiladas por las plantas son nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). En suelos bien aireados y de temperatura cálida predomina la absorción del nitrato. Partiendo de la forma de nitrógeno absorbido las plantas reducen éste a NH_2 ; el nitrógeno reducido se combina con ácidos carboxílicos para formar aminoácidos, los que constituyen parte integral de las proteínas.

Los mismos autores continúan afirmando que una adecuada suplementación de nitrógeno está asociada con un vigoroso crecimiento vegetativo, así como deficiencias de nitrógeno lo son con clorosis de las plantas, manifestándose ésta en las partes tiernas.

Perry y Olson (1973), en experimentos en los que aplicaron cuatro niveles de nitrógeno al sorgo y el maíz, para comparar rendimiento y porcentaje de nitrógeno en la semilla y residuos de ambos cultivos, determinaron que el rendimiento del sorgo se incrementó significativamente sólo al nivel de 90 kg/ha. El contenido de nitrógeno del grano se incrementó a medida que se aumentaron las dosis de nitrógeno, siendo que el contenido de nitrógeno del grano de

sorgo fue igual o mayor que el del grano de maíz.

Según Sánchez (1981), las fuentes más comunes de nitrógeno que se usan como fertilizantes en el trópico son urea y sulfato de amonio. La urea es la fuente de nitrógeno orgánico más comúnmente usada en los trópicos. Su popularidad se debe a su alto contenido de nitrógeno (46%), facilidad de manejo y aplicación, bajo costo por unidad de nitrógeno y disponibilidad en el mercado.

Cuando se aplica al suelo húmedo la urea se hidroliza a carbonato de amonio de la siguiente manera:



Según Sánchez (1981), después del agua y del nitrógeno los dos factores más limitantes en los trópicos son probablemente el fósforo y el azufre. Por otra parte existen diferencias significativas entre y dentro de especies en su habilidad para tolerar niveles bajos de fósforo disponibles en el suelo.

Tisdale y Nelson (1958) afirman que las formas en que la planta asimila el fósforo son ortofosfato primario (H_2PO_4^-) y en menores cantidades ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}).

Los mismos autores afirman que el fósforo forma parte del ácido nucleico, la fitina y los fosfolípidos, asimismo está asociado con la maduración temprana de los cereales, manifestándose deficiencias de este nutrimento en una

marcada reducción en el crecimiento de la planta.

Según Sánchez (1981), investigaciones en la región templada demuestran que se debe tener por lo menos 40 a 50% de fósforo soluble en agua para asegurar un suministro adecuado en las etapas iniciales de crecimiento.

C. Información Relacionada con Investigación en Sorgo y Recomendaciones de Fertilización.

Hernández, Nolasco y Meckenstock (1985), afirman que actualmente el umbral de producción de sorgo en Honduras, es de 1 t/ha, el cual decrece anualmente. Este bajo rendimiento se debe principalmente al uso de genotipos de bajo potencial, falta de tecnificación en las siembras y no uso de fertilizantes.

X Nolasco, Guevara y Paul (1984), al realizar un ensayo con tres variedades de sorgo criollo y analizar sus resultados, afirman que existen dudas en cuanto a la utilización que el sorgo criollo hace del nitrógeno, debido a que las variedades que obtuvieron mayores rendimientos, (Pelotudo y Coludo), apenas aumentaron en un 10% su rendimiento cuando se les aplicó nitrógeno al momento del aporque y diferenciación floral, con respecto al momento de la siembra.

En folleto publicado por la Secretaría de Recursos Naturales, se recomienda para la fertilización nitrogenada y fosforada en el cultivo de sorgo, utilizar un quintal de

fertilizante 12-24-12 por hectárea al momento de la siembra, y un quintal de urea por hectárea al mes de efectuada la siembra. (Honduras, 1976).

Según Mela (1963), el sorgo requiere de grandes aportaciones de fertilizantes, siendo las fórmulas de abonado muy semejantes a las del maíz.

Ross y Webster (1967), afirman que los fertilizantes aplicados al sorgo, tienen que ir acompañados de irrigación, recomendándose de 45 a 90 kg de nitrógeno por hectárea.

En publicación de la Comisión Nacional Permanente para la Coordinación de Asistencia Técnica de Nicaragua, se afirma que los requerimientos de nutrimentos del sorgo son similares o ligeramente inferiores a los del maíz, exigiéndose que la provisión de nitrógeno sea suficientemente distribuida desde la siembra hasta la formación de grano del cultivo, en el caso de híbridos y variedades mejoradas. (Nicaragua, 1974).

Pitner, Lazo de la Vega y Sánchez (1955), recomiendan la aplicación de 40 kg de P_2O_5 y 40 kg de nitrógeno por hectárea, señalando que los requerimientos del sorgo son similares a los del maíz.

Freitag, Acosta y Peña (1969), apuntan que los híbridos en general ofrecen una capacidad superior para dar altos rendimientos, debido a sus tallos gruesos y fuertes en comparación con las variedades de tallos débiles.

En publicación de la Secretaría de Recursos Naturales y

del Programa Internacional de Sorgo y Mijo, se recomienda el híbrido Catracho para zonas áridas en siembras de postrera con tierras planas, mecanizadas y con otro nivel de tecnología. Asimismo se afirma que el híbrido Catracho es el más indicado para la producción de grano y concentrado animal. (HÍBRIDO GRANÍFERO rendidor Catracho, snt).

La misma publicación continúa mencionando que Catracho es un híbrido con pedigrí AT X 623 Tortillero. La hembra, AT X 623, fue derivada del grupo zerazera. Es un triple enano con genotipo para altura de planta dw , Dw_2 , dw_3 , dw_4 .

Se introdujo al país de la Estación Experimental de Agricultura de Texas, Estados Unidos. Como las líneas parentales tienen genes complementarios para altura de planta, el híbrido Catracho es un doble enano o sea que la planta es más alta que sus padres.

En la misma publicación se indica que Catracho es un sorgo precoz (105 días desde la siembra hasta la cosecha). Tiene una altura de planta intermedia (entre 1.5 a 2.1 m), es resistente a la sequía y a la enfermedad cenicilla causada por patotipo 1, y pudrición por carbón. Se identifica Catracho por la altura de planta, el color rojo de la planta y las glumas durante el periodo de maduración, su panoja larga y semiabierta, y finalmente por el color blanco del grano.

Según la misma publicación, el requisito de fertilización para Catracho es de 30-10-10 kg por hectárea

de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente, por cada tonelada de grano que se espere cosechar. Se recomienda el uso de fórmulas comerciales de fertilizantes, como es el caso de 15-15-15 ó 18-46-0, más urea o sulfato de amonio.

En publicación de Agro-Consultores, se afirma que la variedad Isiap Dorado, cuyo genotipo es (GPR 148 X E 35-1)-4-1 X(CS 3541DER 1)-1-1, es recomendada para terrenos bien drenados, así como suelo suelto. (GUIA PARA cultivadores de Isiap Dorado, snt).

Ramírez, et al. (1984), al realizar un ensayo de estabilidad de diez variedades de sorgos graníferos en el sur de Honduras, encontraron que el híbrido Catracho se ubicaba entre los sorgos más rendidores. La variedad Isiap Dorado tuvo rendimientos comparables pero menores que los sorgos más sobresalientes. Lo anterior se explica debido a la menor altura de planta de Isiap Dorado (0.6 a 1.6 m), siendo esta una característica inherente a la planta ya que Isiap Dorado es una variedad triple enana, (tres de los cuatro genes de altura son recesivos). En cambio el híbrido Catracho es un doble enano (dos genes recesivos para altura), variando su altura de 1.4 a 2.6 m. Generalmente genotipos doble enanos rinden más que genotipos triple enanos.

Los mismos investigadores determinaron que mediante la prueba t para los coeficientes de regresión, el híbrido Catracho responde mejor en ambientes ricos en nutrimentos

(b>1), y la variedad Isiap Dorado responde mejor en ambientes desfavorables (b<1).

En este mismo ensayo, los rendimientos de Catracho fluctuaron desde 1.91 a 6.98 t/ha y los rendimientos de Isiap Dorado desde 1.45 a 3.59 t/ha.

Nolasco y Bustamante (1980), evaluaron seis niveles de nitrógeno 0-30-60-90-120-150 kg/ha, dos niveles de fósforo 20 y 40 kg/ha y mantuvieron un nivel constante de K_2O (30 kg/ha), en un diseño factorial para la exploración de la superficie de respuesta del cultivo de sorgo. Encontraron que en las diversas localidades existen respuestas ligeras al nutrimento nitrógeno a niveles de 15 a 30 kg/ha, obteniéndose un rendimiento estable de 2600 kg/ha. Asimismo se obtuvo respuesta al P_2O_5 hasta el nivel de 20 kg/ha, a partir del cual el rendimiento del cultivo empezó a disminuir, recomendándose para Choluteca y Valle que la fertilización no debe exceder de 30-20-20 kg/ha.

Nolasco y Bustamante (1980), al realizar un ensayo combinando densidad de población y niveles de nitrógeno en el cultivo de sorgo, comprobaron que a medida que la densidad se eleva también se incrementan las necesidades de nitrógeno. Ellos recomiendan utilizar poblaciones altas con dosis elevadas de nitrógeno, siempre que exista un adecuado combate de malezas en las primeras etapas del cultivo.

III MATERIALES Y METODOS

A. Descripción del Campo Experimental

1. Localización

Para el presente trabajo de tesis, se montó un ensayo en la Escuela Agrícola Panamericana, ubicada en el Valle de Yeguare a 35 km al Este de Tegucigalpa, Departamento de Francisco Morazán, Honduras; a 14° Latitud Norte y 87° Longitud Oeste.

2. Descripción y Antecedentes

El ensayo fue realizado en la terraza No.15 del Departamento de Agronomía, la que se encuentra a 805.66 msnm. La temperatura máxima promedio anual es de 38°C y la temperatura promedio anual mínima es de 11°C. La precipitación promedio anual es de 1,085.8 mm.

El terreno posee una textura franco-arenosa, cuyo pH varía de 4.5 a 6.8.

La terraza fue utilizada durante el año de 1986 en ensayos de soya y girasol, y durante el año de 1987 en ensayos de soya.

B. Descripción del Trabajo Experimental

1. Disposición del Experimento

Para el montaje del ensayo fue necesaria la utilización

de 1,920 m² de extensión, incluyendo ésta las parcelas experimentales, calles y áreas no sembradas.

Las dimensiones del campo fueron las siguientes:
19.2 m en sentido transversal a los surcos de siembra.
100 m en sentido paralelo a los surcos de siembra.

La dimensión de las parcelas fue de 3.2 m de ancho por 4 m de largo y constaron de cuatro surcos distanciados a 0.8 m entre sí. Los dos surcos de los extremos se dejaron para efecto de bordes, así como 0.5 m frontales y traseros de la parcela, quedando una parcela útil de 4.8 m².

El ensayo fue sembrado con la variedad de sorgo Isiap Dorado y el híbrido Catracho, ambos a una distancia entre plantas de 0.05 m y 0.8 m entre surcos, obteniéndose una densidad de siembra de 250,000 plantas/ha.

Las parcelas experimentales se separaron entre sí por un canal de drenaje transversal a los surcos de siembra, que a la vez fue utilizado como calle.

2. Fertilizantes y Tratamientos

Los siguientes fertilizantes fueron utilizados:
Urea como fuente de nitrógeno.
Triple superfosfato como fuente de fósforo.

Se evaluaron cuatro niveles de nitrógeno y cuatro niveles de fósforo, los que se describen en el Cuadro No.1.

Cuadro 1. Niveles de Nitrógeno y Fósforo evaluados.

Elemento	Kg/ha			
Nitrógeno	0	60	120	180
Fósforo (P_2O_5)	0	20	40	60

De la combinación resultante de cuatro niveles de nitrógeno, cuatro niveles de fósforo y dos tipos de sorgo, se obtiene un total de treinta y dos tratamientos, los que se describen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Tratamientos Empleados en el Ensayo

No. de Tratamiento	Variedad	Nitrógeno*	Fósforo**
1	***1	0	0
2	1	0	20
3	1	0	40
4	1	0	60
5	1	60	0
6	1	60	20
7	1	60	40
8	1	60	60
9	1	120	0
10	1	120	20
11	1	120	40
12	1	120	60
13	1	180	0
14	1	180	20
15	1	180	40
16	1	180	60
17	***2	0	0
18	2	0	20
19	2	0	40
20	2	0	60
21	2	60	0
22	2	60	20
23	2	60	40
24	2	60	60
25	2	120	0
26	2	120	20
27	2	120	40
28	2	120	60
29	2	180	0
30	2	180	20
31	2	180	40
32	2	180	60

*Kg/ha

**P₂O₅ (kg/ha)

*** Variedad 1= Isiap Dorado

*** Variedad 2= Catracho

C. Manejo del Experimento

1. Análisis de Suelo

El análisis de suelo del campo experimental, se realizó previamente al montaje del ensayo durante el mes de mayo de 1988.

2. Preparación de Suelo

La preparación de suelo se realizó mecánicamente, arándose el terreno a una profundidad de 30 cm. Posteriormente se realizó el rastreado y surcado del terreno.

3. Siembra

La primera, segunda y tercera repeticiones del ensayo, se sembraron el 19 de junio, el 22 de junio y el 1 de julio de 1988 respectivamente.

Con el objetivo de alcanzar una densidad de siembra de 250,000 plantas/ha, se procedió a ralear el ensayo a los 16 días después de efectuada la siembra.

4. Fertilización

La aplicación de fertilizantes se llevó a cabo de la siguiente manera:

Nitrógeno: se usó urea como fuente de nitrógeno. Un tercio de la dosis de este nutrimento se aplicó al momento de la siembra y el resto de la dosis se aplicó a los 35 días después de la siembra.

La segunda aplicación nitrogenada, fue brindada en forma superficial a 10 cm del pie de la planta, al mismo tiempo que se realizaba el aporque del cultivo.

Fósforo: se usó como fuente de fósforo el triple superfosfato. La totalidad de la dosis de este nutrimento fue aplicada al momento de la siembra.

Los fertilizantes fueron aplicados en el fondo del surco de siembra, siendo cubiertos después con una pequeña capa de suelo que sirvió de aislante entre éstos y la semilla.

5. Combate de Malezas

Al momento de la siembra se aplicó el herbicida Atrazina a razón de 2.25 kg/ha de producto comercial, para el control de malezas de hoja ancha, las que presentaban una mayor incidencia en el campo experimental.

El combate de gramíneas se realizó mediante deshierba manual.

Al momento del aporque y de la segunda fertilización, (35 días después de la siembra), se realizó una deshierba para mejorar el aprovechamiento del fertilizante.

6. Combate de Plagas

Fue necesaria la aplicación de 0.56 kg/ha de insecticida Lannate 90, para el combate del gusano cogollero, que presentó un ataque a los 20 días posteriores a la siembra del cultivo.

Cabe mencionar, que aparte del ataque del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), no se registró mayor incidencia de plagas durante el cultivo.

7. Recolección de Datos

a. Agrónomicos

Los siguientes datos fueron recolectados de las parcelas útiles:

1. Número de panojas

Al momento de la cosecha de la parcela, se procedió a registrar el número de panojas cosechadas, con el objetivo de realizar correcciones al rendimiento.

2. Rendimiento

la primera repetición del ensayo fue cosechada el 22 de agosto de 1988, y la segunda y tercera repetición el 1 de septiembre de 1988.

En cada parcela, se cosecharon los dos surcos centrales, despreciándose 0.5 m frontales y traseros de cada surco, lo cual resultó en una parcela útil de 4.8 m².

b. Económicos

1. Costos fijos

Se consideraron como costos fijos o comunes, aquellos que no son afectados por cambios en la aplicación de fertilizantes o la producción.

2. Costos variables

Se consideraron como costos variables o diferenciales aquellos que varían entre tratamientos.

3. Precio de insumos y productos

Se obtuvo el precio de los insumos puestos en la Escuela Agrícola Panamericana al momento de ser adquiridos, y el precio del grano de sorgo al momento de la cosecha.

8. Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en un arreglo factorial, con dos tipos de sorgo y cuatro niveles de fertilización de nitrógeno y cuatro de fósforo ($2 \times 4 \times 4$), haciendo un total de treinta y dos tratamientos, dispuestos en tres repeticiones o bloques.

9. Ajuste de la Superficie de Respuesta

Con los datos de rendimiento, se obtuvo la función de respuesta de mejor ajuste a la superficie de respuesta, mediante el uso del programa para computadora MSTAT desarrollado en la Universidad del Estado de Michigan.

10. Obtención de la Superficie de Respuesta

Con los datos de rendimiento se obtuvo la gráfica de la superficie de respuesta mediante el uso del programa para computadora 3D, propio para la elaboración de gráficas en tercera dimensión.

11. Análisis Económico

Con la función ajustada, se procedió mediante la metodología de análisis marginal, a encontrar el nivel óptimo económico de fertilización y el nivel de fertilización para máxima producción técnica del cultivo. Igualando la primera derivada parcial con respecto a cada uno de los nutrimentos (nitrógeno y fósforo) de la función de respuesta a la razón de los precios de los insumos se obtuvo el máximo económico, o igualándola a cero se obtuvo el máximo técnico.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 3 presenta el resultado del análisis de suelo del campo experimental. El suelo presenta una textura franco-arenosa, pH ácido (5.5), contenido de materia orgánica medio (2.2%), contenido medio de nitrógeno (0.21%) y bajo de fósforo (10 ppm). Esto es última condición favorable para la obtención de una respuesta del cultivo a la aplicación de estos dos nutrimentos.

Cuadro 3. Resultado del Análisis de suelo del Campo Experimental

Textura:	Franco-arenosa
pH:	5.5
Contenido de materia orgánica:	2.2%
Contenido de nitrógeno:	0.21%
Contenido de fósforo:	10 ppm

Fuente: Laboratorio de Suelos de la EAP

El anexo 1 presenta los datos obtenidos de las variables tomadas en cuenta en el ensayo.

Dado que en el caso del híbrido Caltracho se presentó acame en la totalidad de las parcelas, por lo cual la cosecha tuvo que recogerse del suelo, no se obtuvieron datos confiables de rendimiento y no fue posible ajustar los

datos de los rendimientos obtenidos a un modelo de regresión que estimase la superficie de respuesta.

En el caso de la variedad Isiap Dorado, el modelo de regresión de mejor ajuste fue la función cuadrática, obteniéndose ésta mediante el análisis de los datos con el paquete estadístico MSTAT.

Para obtener la función de producción, se utilizó el promedio de las tres repeticiones del ensayo, considerándose observaciones perdidas los tratamientos seis (60 kg de N y 20 kg de P) y doce (120 kg de N y 60 kg de P) de la repetición dos, y los tratamientos once (120 kg de N y 40 kg de P), catorce (180 kg de N y 20 kg de P) y dieciseis (180 kg de N y 60 kg de P) de la repetición tres. En dichos tratamientos se presentaron problemas de acame y escasa densidad poblacional.

La gráfica de la superficie de respuesta fue obtenida mediante el uso del paquete estadístico 3D (Figura 1).

La función obtenida que describe la respuesta de la variedad Isiap Dorado a la fertilización nitrogenada y fosforada es la siguiente:

$$Y = 3045.964 + 8.8482N - 0.054722N^2 + 32.136P - 0.53344P^2 + 0.10012NP$$

(5.1006) (0.025357) (15.302) (0.22821) (0.060856)

donde:

Y= Rendimiento expresado en Kg/ha

N= Kg/ha de nitrógeno aplicado

P= Kg/ha de fósforo aplicado

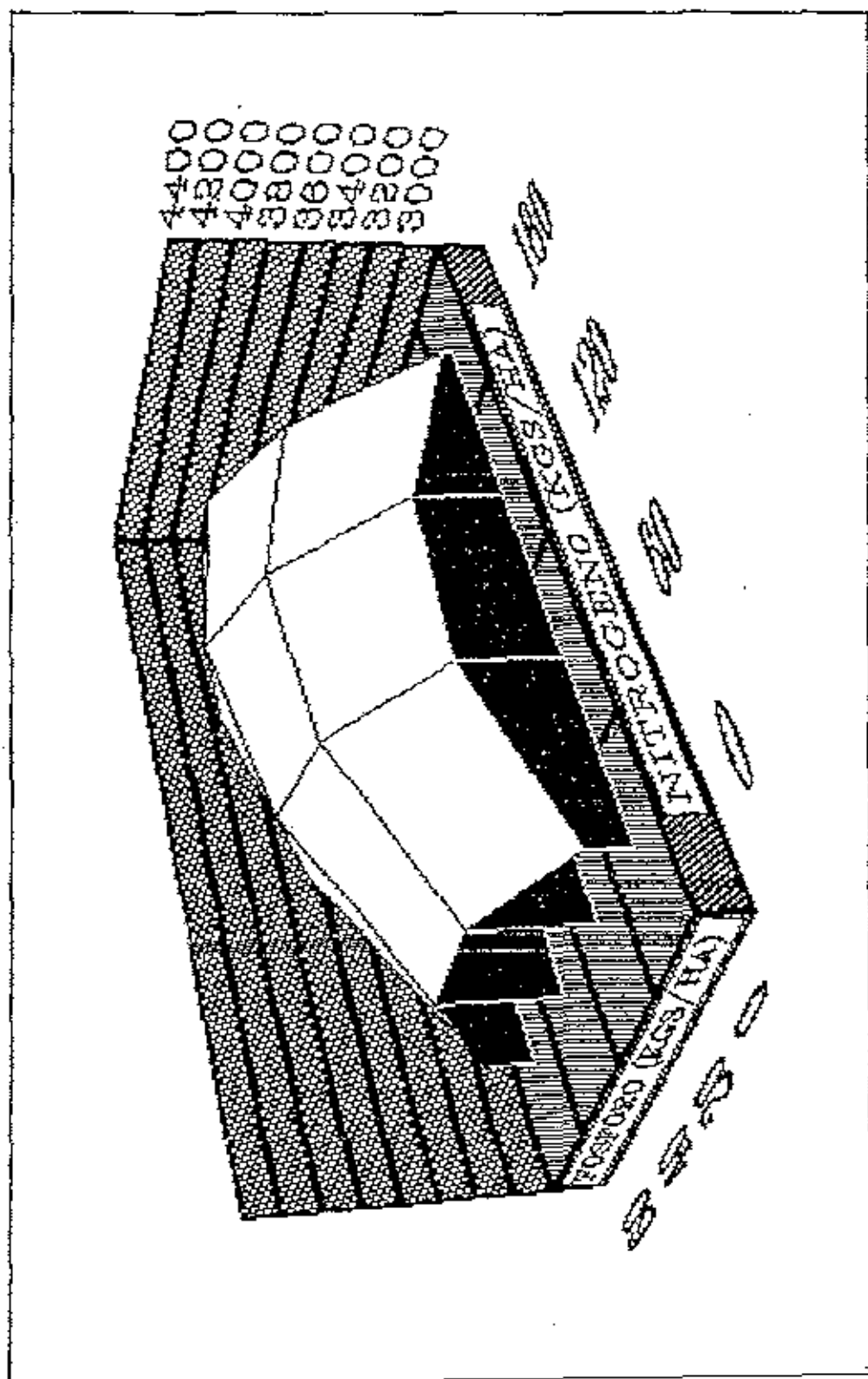


Figura 1. Superficie de respuesta a nitrógeno y fósforo de la variedad Islap Dorado.

Las cifras entre paréntesis corresponden a los errores estándar de los parámetros. La regresión es significativa al 5% (Cuadro 4). El coeficiente de determinación (R^2) obtenido fue de 66.7%, asimismo todos los parámetros son significativos al 1 y 5%, excepto el nitrógeno lineal y la interacción que lo son al 10 y 12% respectivamente. La significancia relativamente baja de estos dos últimos se debe probablemente al efecto de multicolinealidad entre los diversos parámetros dado el modelo de regresión utilizado.

Por consiguiente, es posible estimar confiablemente dosificaciones de nitrógeno y fósforo, utilizando la presente función de respuesta.

Cuadro 4. Análisis de Varianza de la Regresión para la Variedad Isiap Dorado.

F.V	S.C	G.L	C.M	F
Regresión	2667049.5	5	533409.875	4.00 *
Residual	1333236.25	10	133323.625	
Total	4000285.75	15		

A. Respuesta a Nitrógeno

La respuesta a nitrógeno es concordante con la ley de rendimientos decrecientes como puede observarse en las figuras 2 a 5, que representan el comportamiento de la variedad Isiap Dorado a las adiciones de nitrógeno a los

diferentes niveles de fósforo.

A medida que aumentan las cantidades aplicadas de nitrógeno, los rendimientos son cada vez mayores hasta alcanzar el punto máximo (aproximadamente 120 kg/ha), y posteriormente decrecen ante aplicaciones extremadamente altas del nutrimento.

B. Respuesta a Fósforo

La respuesta a fósforo presenta un comportamiento también en concordancia con la ley de los rendimientos decrecientes. Las Figuras 6 a 9 representan el comportamiento de la variedad Isiap Dorado, a la adición de fósforo a los diferentes niveles de nitrógeno.

A medida que aumentan las cantidades aplicadas de fósforo los rendimientos son cada vez mayores hasta alcanzar el punto máximo (aproximadamente a 40 kg de P), a partir del cual los rendimientos empiezan a decrecer.

Se demuestra dada la respuesta a nitrógeno y fósforo, que la variedad Isiap Dorado es altamente exigente en cuanto a sus requerimientos de estos dos nutrimentos especialmente en lo que respecta a nitrógeno.

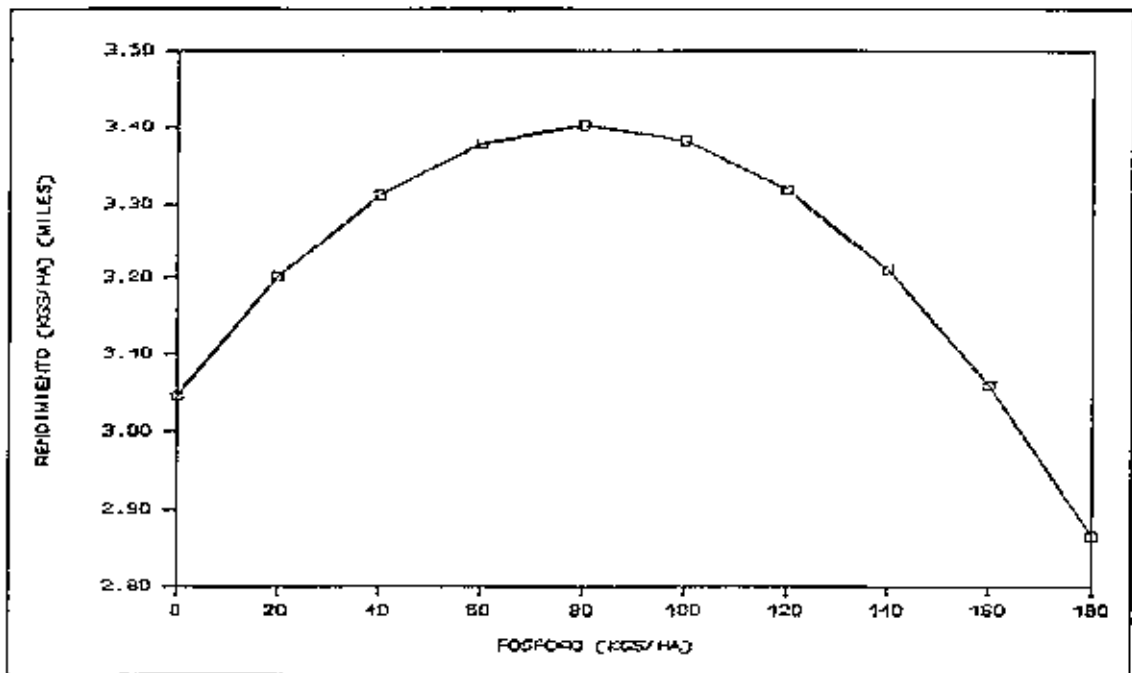


Figura 2. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a nitrógeno a 0 kilogramos por hectárea de fósforo.

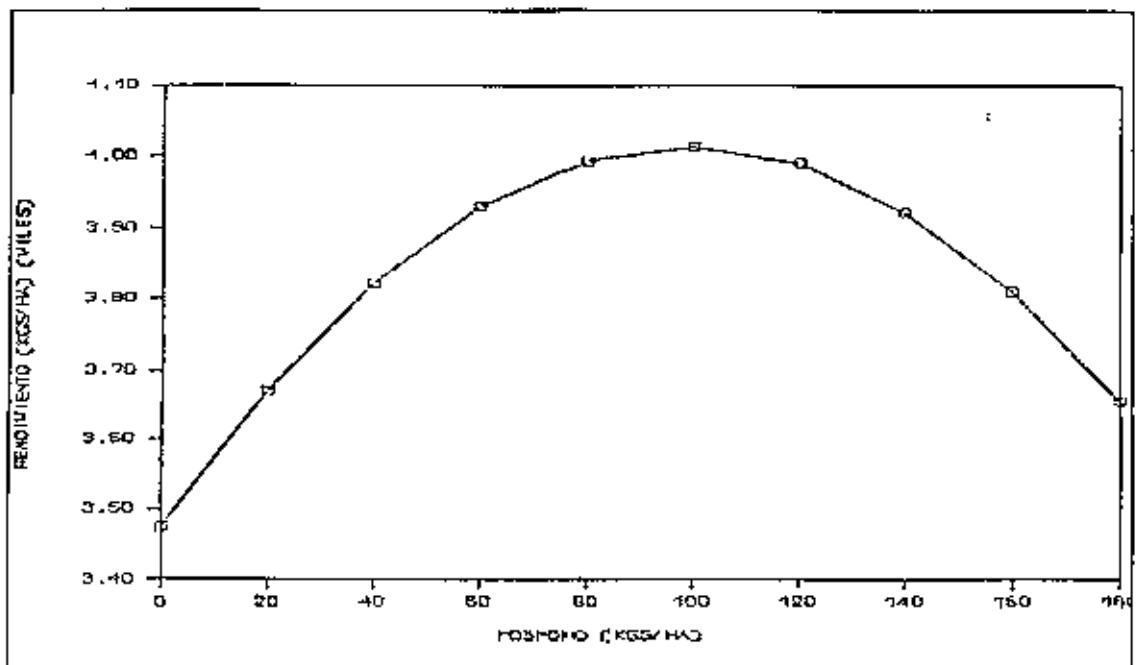


Figura 3. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a nitrógeno a 20 kilogramos por hectárea de fósforo

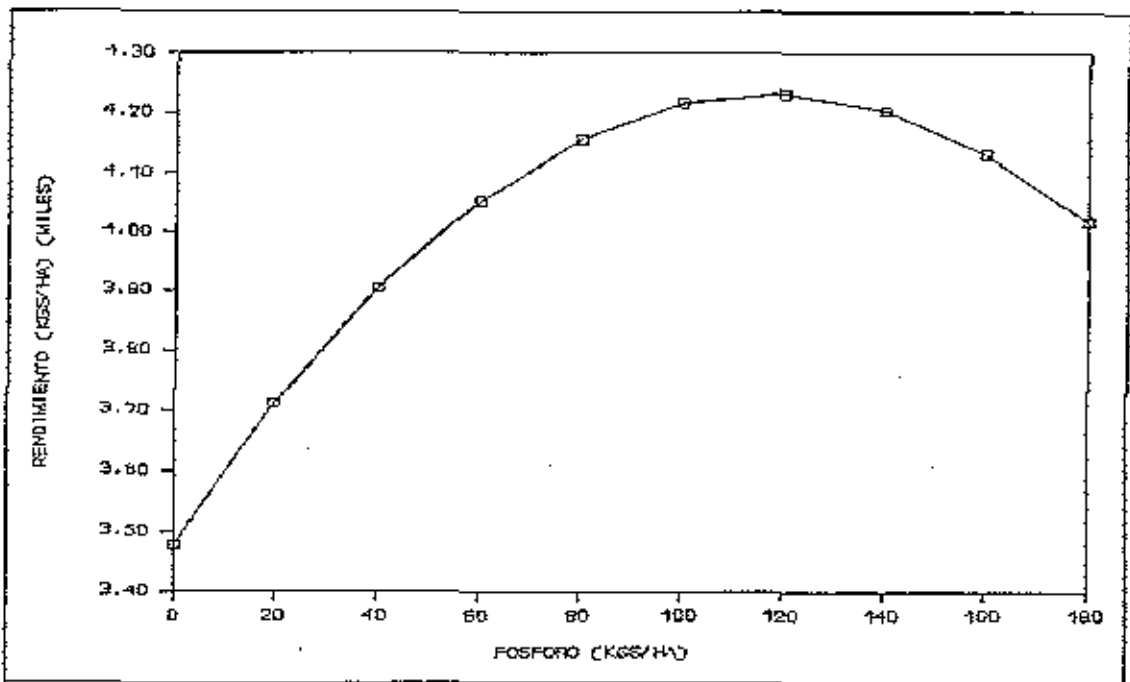


Figura 4. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a nitrógeno a 40 kilogramos por hectárea de fósforo.

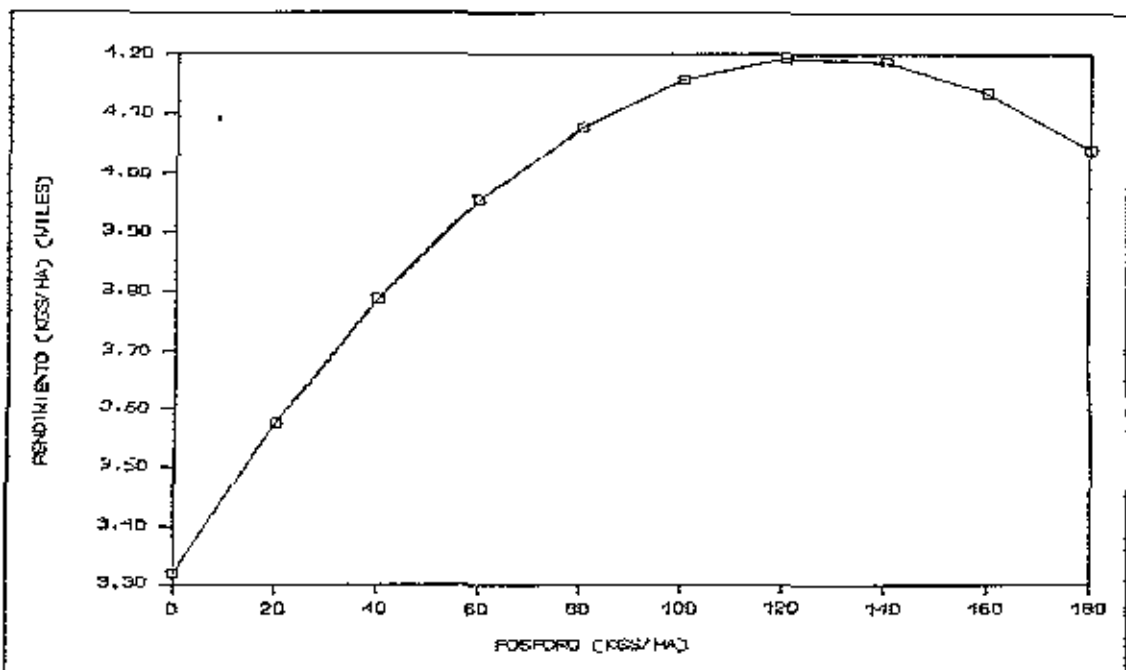


Figura 5. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a nitrógeno a 60 kilogramos por hectárea de fósforo.

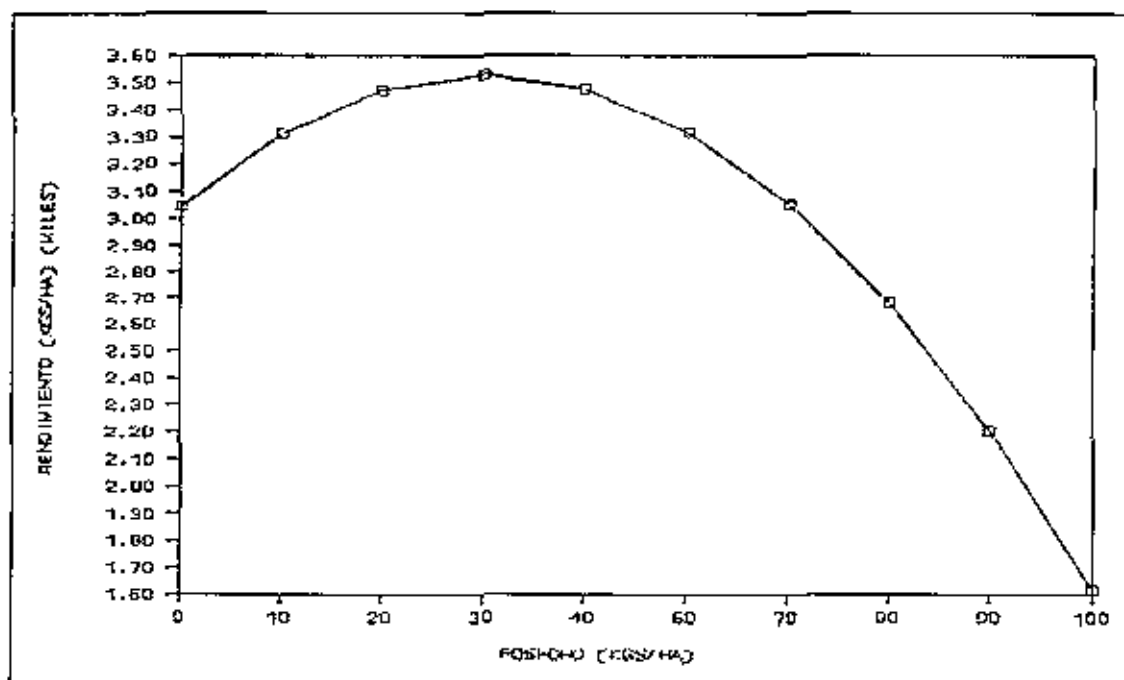


Figura 6. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a fósforo a 0 kilogramos por hectárea de nitrógeno.

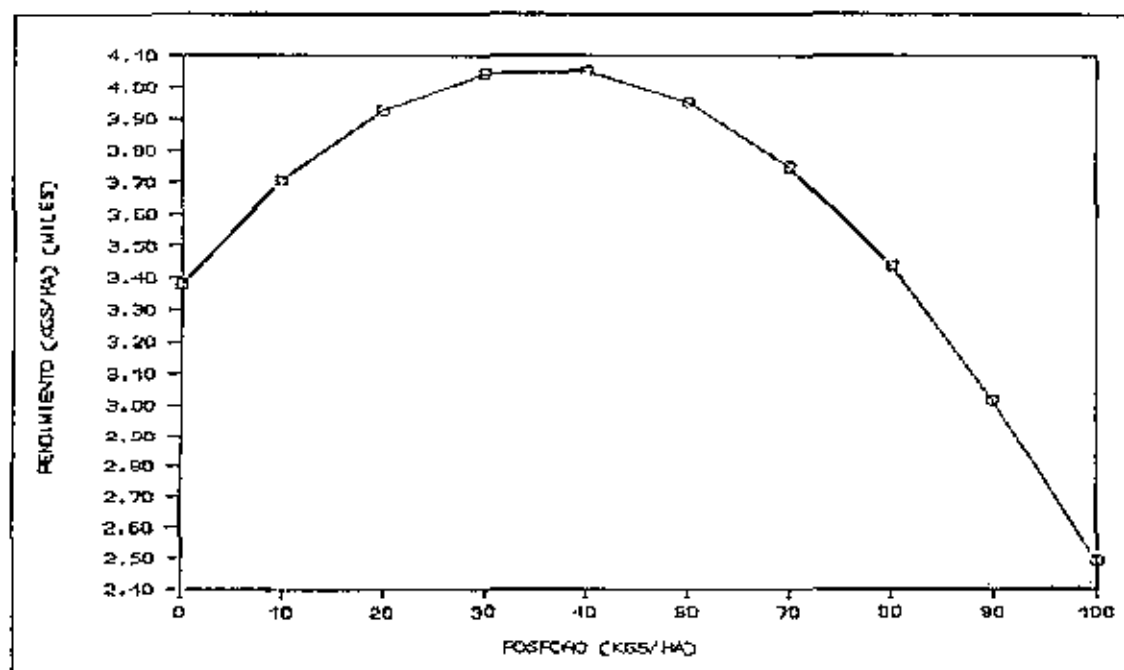


Figura 7. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a fósforo a 60 kilogramos por hectárea de nitrógeno.

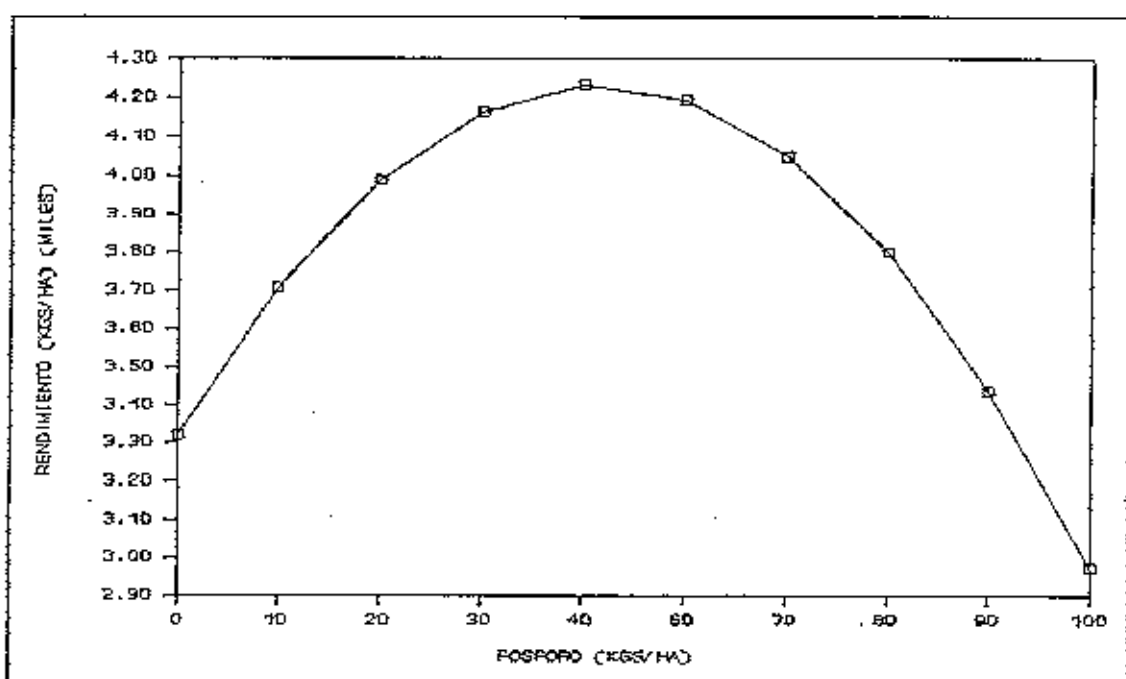


Figura 8. Respuesta de la variedad Isiap Dorado a fósforo a 120 kilogramos por hectárea de nitrógeno.

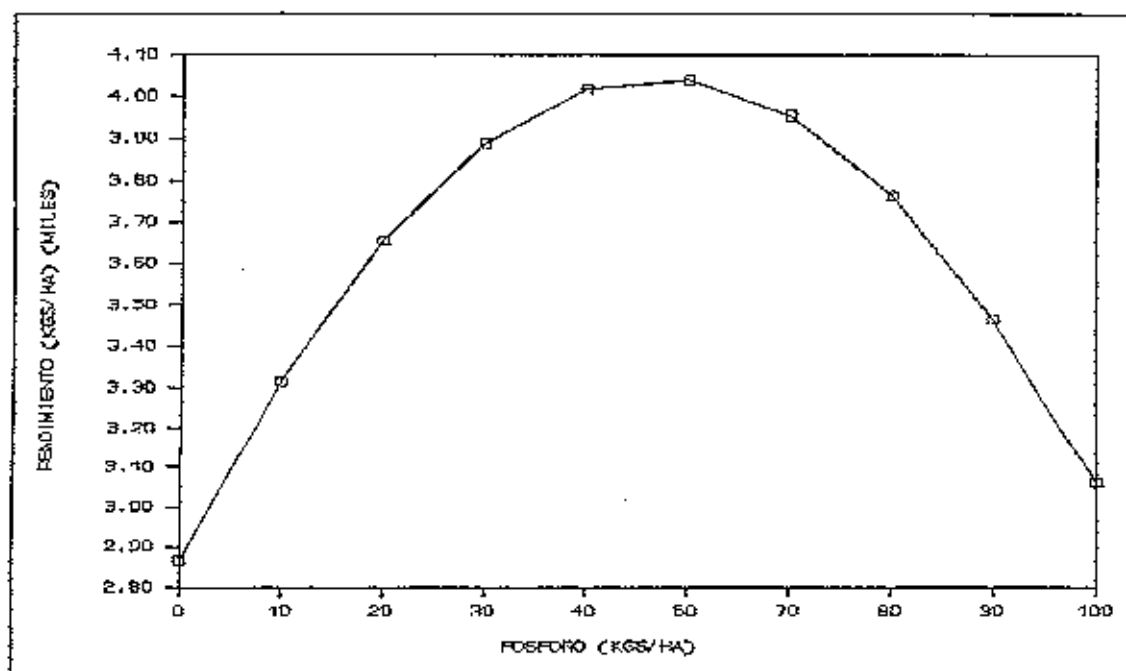


Figura 9. Respuesta de la variedad Isiap dorado a fósforo a 180 kilogramos por hectárea de nitrógeno.

C. Determinación de las Dosis Óptimas

1. Máxima Producción Técnica

Para la determinación de la dosis de nitrógeno y fósforo para máxima producción técnica, es necesario que se cumpla la siguiente condición:

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

Es decir, que la razón de las derivadas parciales de la función de producción, en este caso $Y=3045.964+8.8482N-0.054722N^2+32.136P-0.53344P^2+0.10012NP$, con respecto a nitrógeno y fósforo sea igual a cero. Por tanto:

$$\frac{8.8482-0.109444N+0.10012P}{32.136-1.066888P+0.10012N} = 0$$

Al resolver simultáneamente este sistema de ecuaciones, se obtiene que la dosis para máxima producción técnica en la variedad Isiap Dorado es igual a 118.40 kg de nitrógeno y 41.23 kg de P_2O_5 por hectárea.

2. Dosis Óptima Económica

El Cuadro 5 presenta los precios de los insumos variables, productos y costos fijos de la variedad Isiap Dorado, utilizados para calcular los beneficios y la dosis óptima económica del cultivo.

Cuadro 5. Precio de los Insumos, Productos y Costos Fijos por Hectárea para la Variedad Isiap Dorado en Lempiras.

Insumo o Producto	Unidad	Precio/unidad
Sorgo	Kg	0.3149
Fósforo	Kg	1.65
Nitrógeno	Kg	1.34
Transporte	Kg	0.007
Procesamiento	Kg	0.0209
Total Costos Fijos		534.68

Fuente: Elaboración propia con datos del Departamento de Contabilidad y del Departamento de Agronomía de la EAP.

Para la determinación de la dosis óptima económica, es necesario que se cumpla la siguiente condición:

$$(Ps) \frac{\frac{\delta Y}{\delta N}}{\frac{\delta Y}{\delta P}} = \frac{PN}{PP_2O_5}$$

Es decir que la razón de los productos marginales sea igual a la razón de los precios unitarios de nitrógeno y fósforo (P_2O_5). Por tanto:

$$\frac{(0.315)(8.8482-0.109444N+0.10012P)}{(0.315)(32.136+0.10012N-1.066888P)} = \frac{1.34}{1.65}$$

Mediante la resolución de esta razón de ecuaciones, se obtuvo que la dosis óptima económica de fertilización

nitrogenada y fosforada de la variedad Isiap Dorado, corresponde a 103.46 kg de nitrógeno y 38.28 kg de P_2O_5 por hectárea en condiciones similares a las de este experimento.

El Cuadro 6 muestra los costos de producción de una hectárea de Isiap Dorado al óptimo económico de fertilización nitrogenada y fosforada.

Cuadro 6. Costos de producción de una Hectárea de
Isiap Dorado Mecanizada al Nivel Óptimo
Económico de fertilización en Lempiras.

Insumo	Unidad	Cantidad	Costo/u	Costo Tot.
Costos Fijos				
Maquinaria	H/M			
Arado		0.83	19.27	15.99
Rastreado		0.67	19.27	13.02
Aspersiones		0.48	19.27	9.30
Siembra		2.54	19.27	49.08
Cultivado y fertilizado		0.75	19.27	14.45
Cosecha		1.04	39.19	40.99
Semilla	kg	12.50	1.60	20.00
Herbicidas				
Gesaprim 80 WP	kg	2.25	11.26	25.34
Insecticidas				
Lorsban Líquido	L	2.5	34.81	87.02
Lorsban Granulado	kg	10.00	3.00	30.00
Lannate	kg	0.52	69.90	36.35
Furadán	kg	4.45	5.86	26.07
Mano de Obra				
Aplic. Lorsban				
Granulado	D/H	3.00	6.50	19.50
Pajarero	D/H	12.00	6.50	78.00
Asist. Técnica	H/H	10.00	4.17	41.70
Intereses				
11% en 6 meses sobre costos fijos directos				27.87
Total Costos Fijos				534.68
Costos Variables				
Procesamiento	kg	4220.94	0.04	168.84
Transporte	kg	4220.94	0.007	29.41
Fertilizante	kg			
Nitrógeno	kg	103.64	1.34	138.88
Fósforo	kg	38.30	1.65	63.19
Total Costos Variables				400.32
Total Costos				935.00

Los datos del cuadro anterior fueron obtenidos del Departamento de Agronomía y de la Sección de Maquinaria de la EAP. Para las prácticas culturales se supuso el empleo de un tractor J. Deere 2030. Para la cosecha se supuso el empleo de una cosechadora J. Deere 4400 para granos menores. Se consideraron dos aspersiones, una de Lorsban líquido y otra de Gesaprim 80 WP.

3. Obtención de la Dosis Óptima para Máxima Producción con Restricción de Presupuesto

Para la obtención de la dosis óptima para máxima producción técnica, es necesario la determinación de la senda de expansión, que es aquella función que agrupa todos los puntos de equilibrio. Es decir, tiene en cuenta las diferentes combinaciones de insumos que maximizan la producción ante los cambios en presupuesto destinados a la compra de esos insumos. Toma en cuenta también, la función de presupuesto, que define las diferentes combinaciones de insumos que se pueden adquirir dado un presupuesto y el precio de los insumos (Salvatore 1977). La senda de expansión obtenida a partir de la función de producción de Islap Dorado, es la siguiente:

$$N=5.067179688P-90.43337163$$

donde:

N= Kgs de nitrógeno

P= Kgs de fósforo (P_2O_5)

La función de presupuesto ó isocosto es la siguiente:

$$M = 1.34N + 1.65P$$

donde:

N = kg de nitrógeno

P = kg de fósforo (P_2O_5)

Los coeficientes de la función representan los precios unitarios de los insumos.

Suponiendo que se cuenta con un presupuesto de Lps. 101.03 para compra de insumos, que representa la mitad del valor de los insumos necesarios para aplicar la dosis óptima económica sin restricción de presupuesto, se tiene que sustituyendo este valor de presupuesto en la función descrita anteriormente resulta:

$$N = 75.39552239 - 1.231343284P$$

Al resolver la senda de expansión y la función de presupuesto simultáneamente ya que ambos se encuentran en función de nitrógeno, se obtiene la dosis para máxima producción con restricción de presupuesto que corresponde a 43.16 kg de nitrógeno y 26.36 kg de P_2O_5 .

Al sustituir esta dosificación en la función de producción, se obtiene un rendimiento de 3916.326179 kg de sorgo.

La resolución gráfica del sistema se presenta en la Figura 10.

4. Dosis Optima para una Producción Dada

Para la obtención de la dosis óptima para una producción dada, es necesario determinar la isocuanta es decir aquella función que agrupa todas las combinaciones de insumos que nos dan una misma producción (Salvatore 1977), así como la senda de expansión descrita anteriormente.

La función que define la familia de isocuantas para la función de producción de Isiap Dorado es la siguiente:

$$N=80.84682577+0.9148057454P+(((745.0156112+8.805948336P-0.1067396003P^2-0.218888Ye)^{1/2})/-0.109444)$$

donde:

N= kg de nitrógeno

P= kg de fósforo

Ye= producción dada

Al sustituir una producción de 3916.32 kg de sorgo en la función anterior, se obtiene la isocuanta correspondiente a dicha producción, y al resolverla simultáneamente con la senda de expansión, se obtiene la dosis óptima para una producción dada, que en este caso es la misma que la dosis para máxima producción con restricción de presupuesto, dado que se utiliza la producción obtenida del caso anterior.

La resolución gráfica del sistema se representa en la Figura 11.

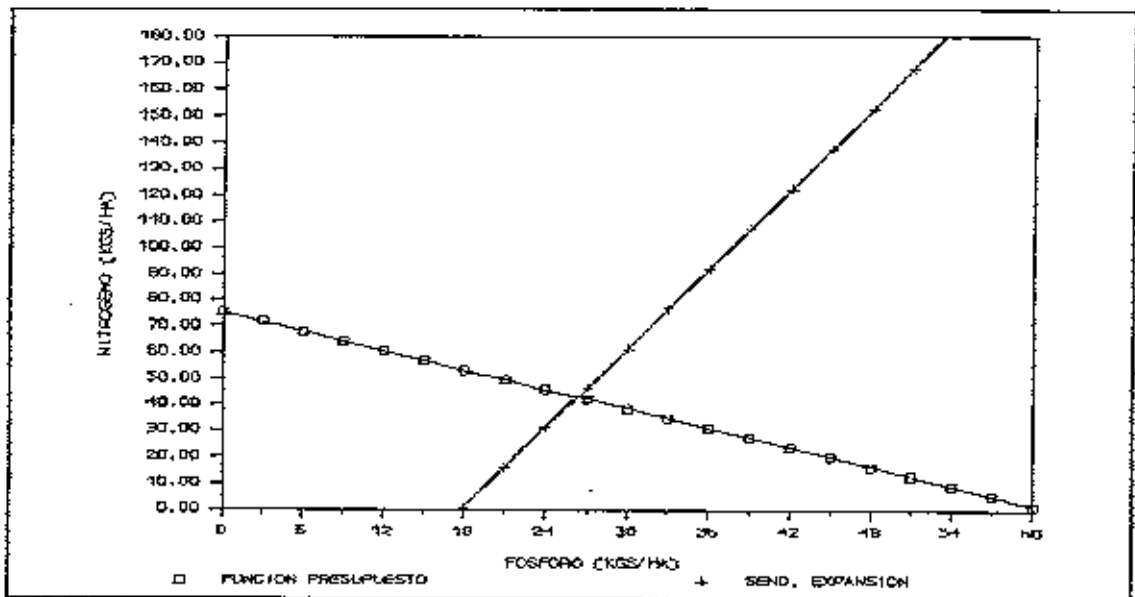


Figura 10. Dosis óptima económica de fertilización nitrogenada y fosforada de la variedad Islap Dorado con restricción de presupuesto.

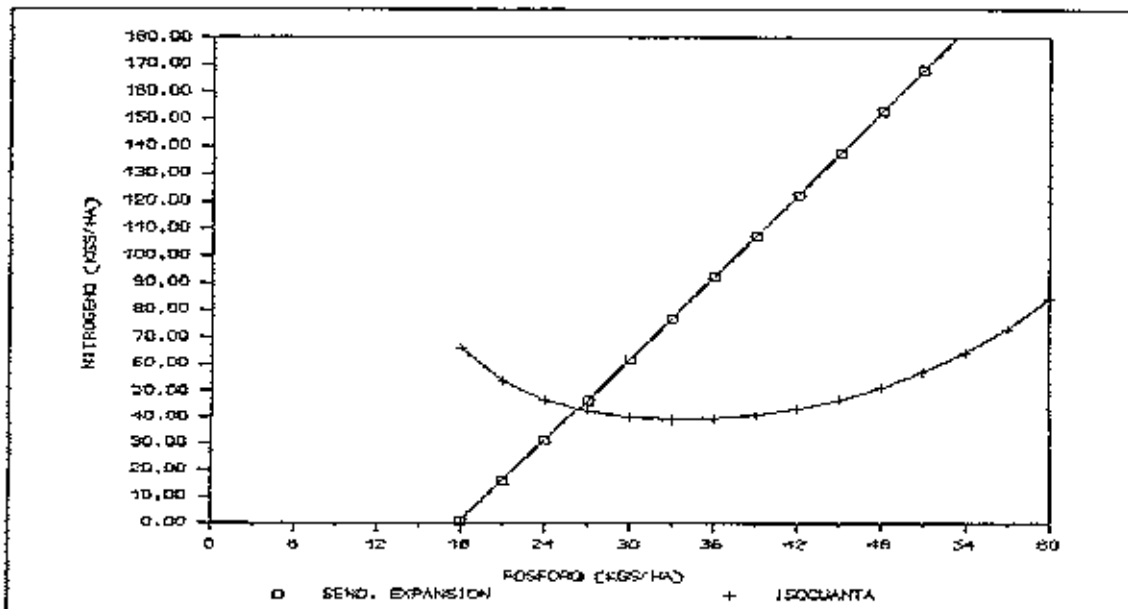


Figura 11. Dosis óptima económica de fertilización nitrogenada y fosforada de la variedad Islap Dorado para una producción dada.

D. Analisis de Sensibilidad

El Cuadro 7 muestra las dosis óptimas económicas de nitrógeno y fósforo para la variedad Isiap Dorado a diferentes precios de los insumos nitrógeno y fósforo. Esto revela que a incrementos proporcionales del precio de los insumos las dosis no varían sensiblemente, sin embargo puede observarse que a medida que aumenta el precio de los insumos las dosis disminuyen. Esto es un resultado lógico ya que se está maximizando el ingreso, puesto que el valor del producto marginal es igual al precio de los insumos.

El Cuadro 8 muestra las dosis óptimas económicas de nitrógeno y fósforo para la variedad Isiap Dorado, a diferentes precios del sorgo. Ante incrementos proporcionales en el precio del sorgo se registran incrementos más que proporcionales en las dosis de los insumos.

Cuadro 7. Dosis Óptimas Económicas de Nitrógeno y Fósforo para la Variedad Isiap Dorado a Diferentes Precios de estos Insumos y a un Precio de Lps 0.315/kg de Sorgo

Precio de N (Lps/kg)	Precio de P (Lps/kg)	Dosis de N (kg/ha)	Dosis de P (kg/ha)	Producción (kg/ha)	Producción (Lps/ha)	Costo (Lps/ha)	Margen (Lps/ha)
1.05	1.33	106.26	33.65	4224.56	1330.66	900.24	430.12
1.21	1.43	104.52	33.59	4223.02	1330.23	917.21	413.04
1.34	1.65	103.46	33.28	4220.67	1329.51	934.63	394.63
1.47	1.81	102.01	33.03	4218.11	1328.71	951.67	377.04
1.62	1.99	100.34	32.67	4214.63	1327.69	970.31	357.33

Cuadro 8. Dosis Óptimas Económicas de Nitrógeno y Fósforo de la Variedad Isiap Dorado a Diferentes Precios de Sorgo y con un Precio de Lps 1.34/kg de N y Lps 1.65/kg de P

Precio de sorgo (Lps/kg)	Dosis de N (kg/ha)	Dosis de P (kg/ha)	Producción (kg/ha)	Producción (Lps/ha)	Margen (Lps/ha)
0.177	34.17	24.59	3205.20	673.01	601.84
0.255	55.27	33.75	4103.97	945.55	841.66
0.315	71.15	31.89	4107.93	1294.01	873.71
0.363	80.76	33.75	4152.82	1632.05	833.50
0.421	83.15	35.24	4181.77	2053.25	907.50
					1143.75

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

El acame de la totalidad de las parcelas del híbrido Catracho, imposibilitó la obtención de la superficie de respuesta a nitrógeno y fósforo de éste, dada la falta de confiabilidad en los rendimientos y el no ajuste de éstos a los modelos de regresión.

En la variedad Isiap Dorado se obtuvieron resultados favorables ya que fue posible ajustar los rendimientos al modelo de regresión cuadrático, pudiéndose de ésta manera calcular el óptimo económico de fertilización nitrogenada y fosforada.

La relativamente baja significancia de el parámetro interacción nitrógeno-fósforo de la regresión para la variedad Isiap Dorado, es un resultado normal dado el modelo de regresión utilizado para la explicación del comportamiento del cultivo ante la aplicación de dichos nutrimentos, ya que existe relación lineal entre los parámetros de la regresión. En el caso de nitrógeno esta condición se deba probablemente a que este nutrimento se encontraba en cantidades altas en el suelo.

En base a lo anterior, fué posible estimar confiablemente la dosis de nitrógeno y fósforo para máxima

producción técnica y la dosis para producción óptima económica de la variedad Isiap Dorado. Estas fueron: 118.40 kg de N y 41.23 kg de P_2O_5 y 103.46 kg de N y 38.28 kg de P_2O_5 , respectivamente.

Al realizar el análisis de sensibilidad, se obtuvo como resultado que las dosis óptimas económicas de nitrógeno y fósforo no varían sensiblemente ante cambios en los precios de los insumos. Sin embargo, al variar proporcionalmente el precio del sorgo manteniendo fijos los precios de los insumos, se obtuvieron cambios más que proporcionales en las dosis óptimas.

B. Recomendaciones

Dado que las variedades mejoradas de sorgo son exigentes en cuanto a los niveles de fertilización nitrogenada y fosforada, se recomienda utilizar en el caso específico de la variedad Isiap Dorado la dosis óptima económica encontrada en el presente ensayo, previo análisis de fertilidad del suelo para determinar el nivel de nutrimentos disponibles en el suelo.

Asimismo, sería recomendable realizar ensayos en años posteriores en diferentes localidades del valle de El Zamorano, para lograr una recomendación más confiable a nivel regional.

VI. RESUMEN

El sorgo constituye uno de los cuatro cultivos más importantes de Honduras dada su utilización en la alimentación humana y animal, y es una importante fuente de ingresos para el sector agrícola del país.

En los últimos años el umbral de producción de sorgo en Honduras ha ido decreciendo casi en forma continua, debido a la mala utilización y la no aplicación de insumos, entre ellos fertilizantes y semilla mejorada.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la respuesta del híbrido de sorgo Catracho y la variedad mejorada Isiap Dorado, (ambos de amplia difusión en el país), a la aplicación de nitrógeno y fósforo. Se evaluaron cuatro niveles de nitrógeno y fósforo por tipo de sorgo: 0-60-120-180 kg/ha de N y 0-20-40-60 kg de P_2O_5 /ha, en un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial.

La superficie de respuesta sólo fue posible obtenerla para la variedad Isiap Dorado, debido al acame de la totalidad de las parcelas experimentales del híbrido Catracho por las fuertes lluvias y vientos consecuencia del huracán Gilbert. Esto determinó la falta de confiabilidad en los rendimientos obtenidos y el no ajuste de los datos a los modelos de regresión.

A partir de la función de respuesta de Isiap Dorado se determinaron la dosis óptima económica de fertilización nitrogenada y fosforada y la dosis para máxima producción técnica para este tipo de sorgo. Estos valores fueron: 103.46 kg de N y 38.28 kg de P_2O_5 y 118.40 kg de N y 41.23 de P_2O_5 , respectivamente.

Se encontró que al restringir el presupuesto para compra de insumos (nitrógeno y fósforo) a la mitad del necesario para la dosis óptima económica, es necesaria la aplicación de 43.16 kg de N y 26.36 kg de P_2O_5 para maximizar la producción. Por tanto al minimizar costos con una producción dada, en este caso la misma producción resultante del análisis anterior, se determinó que es necesaria la aplicación de las mismas cantidades de N y P_2O_5 mencionadas anteriormente.

VII. BIBLIOGRAFIA REVISADA

1. DILLON, J. L. 1977. The analysis of response in crop and livestock production. 2 ed. Oxford, U.K. Pergamon. 213 p.
2. FAO. 1966. Estadística de la respuesta de los cultivos al abonado. Roma, Italia, 110 p.
3. ----- 1983. Anuario FAO de producción 1982. Roma, Italia, FAO. 320 p.
4. FORTUNA, N. 1985. Análisis de suelo: su importancia. Fersan Informa (República Dominicana). 9(32): 33-35.
5. FREYTAG, G.; ACOSTA, M.; PERA, J.E. 1969. Ensayos de sorgos y granos en el zamorano. Resultados preliminares. Tegucigalpa, Honduras. 4 p.
6. GUIA PARA cultivadores de sorgo Isiap Dorado. s.f. San Salvador, El Salvador, Agroconsa. s.n.t. 5 p.
7. GUILLEN, V.M.; PORTILLO, M. 1980. Asignación óptima de insumos en el cultivo de sorgo en Tamaulipas. Agrociencia (México) 41:87-94.
8. HEADY, E. O. 1961. Economics of agricultural production and resource use. 4 ed. Englewood, N.J (EE.UU). Prentice-Hall. 850 p.
9. HERNANDEZ, R.; NOLASCO, R.; MECKENSTOCK, D.H. 1984. Ensayo exploratorio de fertilidad en el sorgo sureño. In XXXI Reunión del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA). 16 al 19 de abril de 1985. San Pedro Sula, Honduras.
10. HONDURAS. 1976. El cultivo del sorgo de grano. Boletín Técnico No. 72. Tegucigalpa, D.C. Honduras. Secretaría de Recursos Naturales. 7 p.
11. HIBRIDO GRANIFERO rendidor catracho. s.f. Hoja Divulgativa. Secretaría de Recursos Naturales y Programa Internacional de Sorgo y Mijo. s.n.t. 6 p.

12. LAIRD, R.; RODRIGUEZ, H. 1977. Comparación de cuatro modelos de predicción y de un método gráfico en la estimación de los niveles óptimos económicos de fertilización en el cultivo de sorgo de temporal en la zona del oeste del bajo. Agrociencia (México). 27:155-175.
13. MELA, M. P. 1963. El Sorgo. Zaragoza, España. Agrociencia. 70 p.
14. NICARAGUA. 1974. La producción del sorgo granífero en Nicaragua. 2 ed. Managua, D.N., Nicaragua. 68 p.
15. NOLASCO, R.; GUEVARA J.; PAUL C.L. 1984. Respuesta de variedades de sorgo criollo a nitrógeno aplicado en diferentes etapas fenológicas en campo de pequeños agricultores en Honduras. In Memoria Técnica Anual del Programa Nacional de Sorgo y del Programa Nacional de Frijol. Honduras, Secretaría de Recursos Naturales. 184 p.
16. ----- ; BUSTAMANTE, B. 1980. Evaluación de seis niveles de nitrógeno y fósforo en tres localidades. In Informe Anual Dirección General Agrícola Sur 1979. Honduras, Secretaría de Recursos Naturales. 150 p.
17. ----- 1980. Ensayo de densidad versus niveles de nitrógeno. In Informe Anual Dirección Agrícola Regional Sur 1979. Honduras, Secretaría de Recursos Naturales. 130 p.
18. PERRY, J. L; OLSON, R.A. 1973. Yield and quality of corn and grain sorghum grain and residues as influenced by N fertilization. Agronomy Journal (EE.UU.). 6(67):816-818
19. PITNER, J.; LAZO DE LA VEGA, J. L.; SANCHEZ, N. 1955. El cultivo del sorgo. México, D.F., México. Secretaría de Agricultura y Ganadería. 24 p.
20. RAMIREZ, E.; NOLASCO, P.; MECKENSTOCK, D. 1985. Comportamiento de diez variedades de sorgos graníferos en el sur de Honduras. In XXXI Reunión del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA). 16 al 19 de abril de 1985. San Pedro Sula, Honduras.

21. ROSS, W.M.; WEBSTER, O.J. 1967. Cultivo y utilización del sorgo para grano. Centro Regional de Ayuda Técnica. AID. México, D.F. México, Editorial Abeja. 22 p.
22. SANCHEZ. P. A. 1981. Suelos del trópico. Traducción del inglés por Edilberto Camacho. San José, Costa Rica, Instituto de Cooperación para la Agricultura. 634 p.
23. SALVATORE, D. 1976. Microeconomía. Traducción del inglés por Jesús Villamizar. 2 ed. México. McGraw-hill. 344 p. Serie Schaum.
24. TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1956. Soil fertility and fertilizers. New York (EE:UU.), Macmillan. 430 p.

Anexo 1. Datos obtenidos de las variables analizadas

Trat.	N	Factores	Y	Bloque 1			Bloque 2			Bloque 3		
				Rend. 142h	No. Panojas	Rend. 142h	Rend. 142h	No. Panojas	Rend. 142h	Rend. 142h	No. Panojas	Rend. 142h
		P		(Kg/ha)	(Pan/ha)	(Kg/ha)	(Kg/ha)	(Pan/ha)	(Kg/ha)	(Kg/ha)	(Pan/ha)	(Kg/ha)
1	0	0	1	2657	181250	2291	2291	160416	2055	183389	183389	2055
2	0	20	1	3004	187500	2549	2549	191666	2725	210416	210416	2725
3	0	40	1	9206	208333	2419	2419	225000	3193	183333	183333	3193
4	0	60	1	9267	202083	2284	2284	239500	1790	181250	181250	1790
5	60	0	1	2915	145833	1643	1643	152083	2331	165666	165666	2331
6	60	20	1	2891	189583	2391	2391	212500	1949	145833	145833	1949
7	60	40	1	2929	162500	2465	2465	175000	2594	177083	177083	2594
8	60	60	1	2741	197500	2625	2625	208333	2384	164583	164583	2384
9	120	0	1	2500	189583	2000	2000	199416	2074	208333	208333	2074
10	120	20	1	2761	193750	2682	2682	160416	2499	206250	206250	2499
11	120	40	1	2503	195833	2139	2139	122916	1643	210416	210416	1643
12	120	60	1	3100	193333	3159	3159	129166	2089	145833	145833	2089
13	180	0	1	2020	168750	1616	1616	145833	2188	165666	165666	2188
14	180	20	1	2245	164583	2724	2724	168750	3440	192083	192083	3440
15	180	40	1	2435	162500	3702	3702	131250	1975	177083	177083	1975
16	180	60	1	2206	191666	2130	2130	141666	2452	241666	241666	2452
17	0	0	2	2825	270833	3139	3139	208333	1874	227083	227083	1874
18	0	20	2	2953	215666	3395	3395	208333	2743	291666	291666	2743
19	0	40	2	2753	239583	3029	3029	212500	2120	220833	220833	2120
20	0	60	2	9320	287500	2626	2626	165666	2655	189583	189583	2655
21	60	0	2	2283	197916	2427	2427	229166	2596	260416	260416	2596
22	60	20	2	3234	160416	3402	3402	262500	3440	237500	237500	3440
23	60	40	2	3424	250000	1996	1996	139583	3218	312500	312500	3218
24	60	60	2	1812	166666	2719	2719	216666	2362	197916	197916	2362
25	120	0	2	2856	191666	1949	1949	191666	1841	172083	172083	1841
26	120	20	2	2909	172916	2574	2574	143750	1916	189583	189583	1916
27	120	40	2	3191	252083	2236	2236	167500	2243	187500	187500	2243
28	120	60	2	1788	158333	2202	2202	212500	2155	245833	245833	2155
29	180	0	2	2959	168750	2514	2514	170833	2313	214583	214583	2313
30	180	20	2	2853	170833	2842	2842	177083	2098	227083	227083	2098
31	180	40	2	1830	172916	2391	2391	250000	2819	241666	241666	2819
32	180	60	2	2833	172916	2501	2501	129000	2417	195633	195633	2417