

Análisis Económico del efecto de la densidad,  
siembra y niveles de fertilización en el  
híbrido de sorgo DK-55

P O R

*Ramón E. Vargas F.*

**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, 1990

DEDICATORIA

A mi Esposa y a mis padres quienes fueron mi apoyo durante este año.

## AGRADECIMIENTOS

Al Banco Interamericano de Desarrollo (BID), por la beca que me fue otorgada para realizar mis estudios en la Escuela Agrícola Panamericana.

A la Compañía Dole Dominicana, por su colaboración que hizo realidad el logro de mi objetivo.

Al Dr. Leonardo Corral, Jefe del Departamento de Agronomía, por su colaboración durante el montaje del ensayo.

A la Standard Fruit Company, en la persona de el gerente de la División de Piñas, Dr. Rafael Alvarado, por el entrenamiento que recibiera durante mis vacaciones.

Al Dr. Johannes W. Klink, por su decidida colaboración.

Al Ing. Pilar Ramirez por su apoyo en los momentos difíciles

A mis compañeros del Departamento de Economía, por hacer más amena mi estadía en estos lares.

Al Ing. Alejandro Palma, por su ayuda valiosa en el montaje del ensayo.

Al Dr. Francisco Gómez por sus consejos y optimismo.

A mis asesores, por su paciencia y dedicación; y en general a todos los que con su ayuda hicieron posible la realización de este trabajo.

## CONTENIDO

	PAGINA
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
1.2 ALCANCES DEL ESTUDIO.....	5
II. REVISION DE LITERATURA.....	6
A. Conceptos de Superficie de Respuesta.....	6
B. Requerimientos de Nutrientes del suelo.....	11
1. Analisis de Suelo.....	11
2. Requerimientos del Cultivo de Sorgo.....	12
C. Densidad de Siembra.....	13
D. Investigación en Sorgo.....	14
III. MATERIALES Y METODOS.....	15
A. Reseña Del Trabajo Experimental.....	15
1. Localización del Ensayo.....	15
2. Diseño Experimental.....	17
B. Descripción del Trabajo Experimental.....	19
1. Arreglo del Experimento.....	19
2. Control de Plagas.....	21
3. Control de Malezas.....	22
C. Compilación de Datos.....	22
1. Agronómicos.....	22
2. Económicos.....	23
2.1 Costos fijos.....	23
2.2 Costos variables.....	23

2.3 Precios de los insumos y productos.....	24
D. Obtención de la Función de Mejor Ajuste.....	25
1. Obtención de la Superficie de Respuesta.....	25
E. Análisis Económico.....	25
F. Análisis Estadístico.....	26
IV. DISCUSION DE LOS RESULTADOS.....	28
A. Respuesta a Densidad de Siembra.....	33
1. Máxima Producción Técnica.....	33
2. Optimo Económico.....	37
B. Respuesta a Fertilización.....	38
V. ANALISIS DE SENSIBILIDAD.....	42
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
VII. RESUMEN.....	48
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	50

## INDICE DE CUADROS

	PAGINA
1. Análisis de Suelo.....	16
2. Tratamientos.....	18
3. Costos de los fertilizantes usados.....	24
4. Costo de la semilla usada.....	24
5. Resultados de análisis de varianza.....	27
6. Resultados de regresión.....	29
7. Resultados de análisis de varianza.....	31
8. Resultados de análisis de varianza.....	31
9. Resultados de análisis de varianza.....	32
10. Resultados de análisis de varianza.....	33
11. Densidades para máximo técnico.....	34
12. Densidades para máximo económico.....	38
13. Análisis de sensibilidad.....	42
14. Análisis de sensibilidad.....	43
15. Análisis de sensibilidad.....	43

## INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
1. Superficie de respuesta.....	29
2. Respuesta a densidad de siembra.....	35
3. Respuesta a densidad de siembra.....	35
4. Respuesta a densidad de siembra.....	36
5. Respuesta a densidad de siembra.....	36
6. Respuesta a fertilización.....	40
7. Respuesta a fertilización.....	40
8. Respuesta a fertilización.....	41
9. Respuesta a fertilización.....	41

## INDICE DE ANEXOS

	PAGINA
1. Régimen de lluvias durante el ciclo del cultivo.....	52
2. Mapa de localización del ensayo.....	53
3. Medidas de rendimiento.....	54
3. Medidas de rendimiento.....	55
4. Costos de producción de una ha de sorgo.....	56
5. Costos y beneficios obtenidos, con el uso de densidades para máxima producción técnica.....	57
7. Costos y beneficios obtenidos con el uso de densidades para óptimo beneficio.....	58

## I. INTRODUCCION.

El Sorgo es cultivado en la mayoría de las zonas áridas de Centro América, como fuente de granos básicos en la elaboración de raciones para la alimentación animal. También se ha aprovechado el forraje de las variedades de grano en el pastoreo de ganado, y se han desarrollado variedades forrajeras de corte para producir ensilaje y heno.

En Honduras, el Sorgo tradicionalmente ha sido un cultivo de pequeños productores que lo han considerado y usado como "cultivo de seguridad" en zonas de difícil ecología. Las fincas de menos de 5 ha. representan el 66% del total de productores de sorgo a nivel nacional. (Secretaría de Recursos Naturales, 1989).

En la actualidad, se están sembrando híbridos comerciales en el país, en áreas mayores de 5 ha. Particularmente en Olancho, donde se está realizando la cosecha con combinada, esta no es rentable para el productor si su área a cosechar es menor que 5 ha, además los híbridos precoces presentan buenas alternativas para los productores de arroz, que pueden rotar con sorgo y obtener dos cosechas al año.

En la mayoría de los casos, los agricultores pueden usar parte del equipo del que disponen para el cultivo de arroz, como tractor, sembradora, y cosechadora.

Las características de la demanda del sorgo, lo clasifican como un producto inferior, o sea que, si el Maíz está disponible en el mercado, el sorgo tiende a ser sustituido por este. Cultivar más sorgo puede ser una buena alternativa para contrarrestar la escasez de maíz especialmente en los países centroamericanos donde el maíz es usado para alimentación humana y donde se podría utilizar el sorgo enteramente para la alimentación animal.

Para aumentar la productividad de sorgo es necesario transformar la agricultura tradicional en agricultura moderna con la implementación de nuevas técnicas de cultivos, el uso de semilla híbrida, uso adecuado de fertilizantes y pesticidas, permitirán no solo el incremento de la producción física, sino también, el incremento de la rentabilidad.

Se han establecido parámetros para caracterizar genotipos que respondan mejor a ambientes ricos (buen manejo, alta fertilidad y suficiente humedad del suelo) aunque se ha soslayado un tanto la población óptima de plantas. Existe poca información acerca de las características de crecimiento y producción de híbridos de sorgo en altas densidades (mayor de 400,000 plantas/ha), niveles de fertilización y marcos de siembra óptimos en Honduras.

Según estudios realizados por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura 1989, el cultivo de sorgo con una alta tecnología arroja una relación ingreso/costo menor que otros cultivos de granos básicos; como Maíz, Frijol,

Arroz; sin embargo no se ha podido precisar la utilización de insumos que requiere este nivel tecnológico.

En el año 1987, se registró una disminución significativa en el área sembrada de sorgo a nivel nacional y en el rendimiento promedio por ha. 55,1 miles de hectáreas, con una producción total estimada en 36.8 miles de toneladas métricas y un rendimiento de 0.668 toneladas métricas/ha); contrastando a la producción del año de 1980, en donde la superficie sembrada, fue de 61,500 ha., con una producción total estimada de 52,200 toneladas, con un rendimiento de 0.849 toneladas métricas/ha. (IICA, 1988)

De acuerdo a un trabajo realizado por la Secretaría de Recursos Naturales (1989), el cultivo de sorgo esta caracterizado en términos generales, por el poco uso de insumos y rendimiento bajos; (el rendimiento promedio por ha. fue de 0.812 toneladas métricas, durante los años 1976-1986). Este nivel de rendimiento se atribuye a:

1. Uso Limitado de semilla mejorada; en el periodo mencionado se uso semilla mejorada solo un 2.4% del área sembrada.
2. Uso limitado de fertilizantes; en el mismo periodo solamente se usaron fertilizantes en el 17.9% del área sembrada.

Guevara, (1988). Afirma que la disminución del área sembrada ha ocurrido como respuesta a los siguientes factores:

- a. Alto costo de la semilla híbrida, que es importada.

- b. La mayor parte de la producción esta en manos de pequeños productores, quienes practican una agricultura tradicional o semi-tecnificada, con el uso de variedades criollas.
- c. Limitado uso de fertilizantes.
- d. Nivel bajo de mecanización.
- e. Políticas agrarias que no han establecido alternativas de uso del grano de sorgo.

### 1. Objetivos

#### 1.1 Generales

Determinar el nivel óptimo económico de fertilización y densidad de siembra del sorgo híbrido DK-55, bajo las condiciones agroecológicas de la Escuela Agrícola Panamericana.

#### 1.2 Especificos

- 1.2.1 Determinar la superficie de respuesta del sorgo, con relación a densidad de siembra y fertilización.
- 1.2.2 Determinar la combinación de insumos par obtener la máxima producción técnica.
- 1.2.3 Determinar costos y beneficios generados al operar en el nivel óptimo económico determinado.
- 1.2.4 En base a los resultados obtenidos, formular recomendaciones acerca de densidades de siembra y niveles de fertilización del Híbrido de sorgo DK-55.

## 2. Alcances del Estudio

En lo que concierne al resultado técnico-económico del estudio a saber, densidades y fertilización óptimas, los resultados servirán para proponer niveles de fertilización y densidades de plantas, en la zona del Zamorano, y a otras áreas con características de suelo y climas similares.

Por otra parte el hecho de que el ensayo tenga como objeto de análisis un solo genotipo, va a dejar de lado algunos otros factores importantes tales como:

- i. Acame que pueda ser favorecido con la aplicación de fertilizantes nitrogenados, que por ser el genotipo usado de porte bajo; 1.3 m de altura, el efecto no va a ser el mismo en genotipos de por ejemplo 3 m de altura.
- ii. Comportamiento del genotipo frente a factores adversos del ambiente; plagas, malezas etc., por el hecho de que un genotipo puede ser altamente productivo pero que, por su baja resistencia al ataque de plagas, malezas, escasa precipitación pluvial, y ataque de pájaros, este potencial productivo se vea reducido considerablemente afectando los beneficios del productor.

## II. REVISION DE LITERATURA.

### A. Conceptos Relacionados con Superficies de Respuesta.

Según Bishop y Toussaint (1988), la función de producción es la relación matemática que describe en que forma la cantidad obtenida de un producto depende de la cantidad de insumo utilizada; da información acerca de la cantidad de producto que podemos esperar cuando se combinan los insumos, puesto que existen varias combinaciones posibles de estos.

Los mismos autores sostienen que aunque no es posible alterar una función de producción, si se puede escoger entre funciones alternativas. Una función de producción se expresa de la siguiente forma:

$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  donde:

Y, es la cantidad de producto, dependiendo de la cantidad  $x$  de insumos que se utilicen; estos insumos  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ; se refieren a los factores específicos de producción, como son: semillas, fertilizantes, etc.

Heady (1961), dice que una función de producción descrita en la forma  $Y = f(x, z)$  representa todos los factores que contribuyen al valor del producto Y, para expresar relaciones cuantitativas entre variables. La función de producción debe representarse en la forma algebraica  $Y = a + bx$  ó  $Y = AX^bZ^c$  o cualquier otra función matemática que la describa.

Bishop y Toussaint (1988), afirman que existen tres tipos de relaciones que se pueden observar en la producción cuando varía un insumo y los demás permanecen fijos.

- i. Es posible que la cantidad de producto se incremente, en una misma cantidad, por cada unidad adicional de insumo; en esta situación se dice que hay un rendimiento constante, es decir que la curva de producción tiene la misma pendiente en todo su rango.
- ii. El tipo de relación en que una unidad adicional de insumo provoca un incremento mayor en el producto que la unidad anterior, se dice entonces que los rendimientos son crecientes; en la agricultura estos casos no son comunes y cuando se presentan ocurren a niveles bajos de insumo.
- iii. El tipo de relación insumo-producto, donde cada unidad adicional de insumo tiene un efecto menor en la producción; la pendiente de la curva de producción disminuye a medida que se añadan mas insumos. en consecuencia se le denomina curva de rendimientos decrecientes, este caso es muy común en la agricultura.

Continúan diciendo los mismos autores que de la unión de todos los puntos que representan cantidades de productos que se originan con diferentes niveles de insumos, de los que resulta la curva de producción, se derivan dos relaciones que son de utilidad en el análisis económico:

insumos.  
considera satisfactorio si no existe interacción entre los  
cantidades óptimas a usar de cada insumo. Este método se  
medio de una curva de respuesta se pueden obtener las  
En una publicación de la FAO (1966) se afirma que por  
marginal decrece.

producto total crece a una tasa decreciente el producto  
creciente el producto marginal es creciente; cuando el  
De igual manera cuando el producto total crece a una tasa  
marginal es negativo.

puede decrecer si se le añaden insumos, entonces el producto  
producto marginal es 0. En algunos casos el producto total  
total permanece constante cuando se añade un insumo, el  
es positivo cuando el producto total crece. Si el producto  
Puesto que el producto marginal mide una tasa de cambio,  
cx es el incremento del insumo.

donde cy es el incremento de la producción;

$$PMa = cy/cx$$

la producción que resulta de añadir una unidad de insumo.  
El producto marginal (Pma) se define como el aumento de

## 2. Producto Marginal

insumo total aplicado  
producirlo.  $PM = Y/X$ , donde Y es el producto total y X el  
producto total (PT) con la cantidad de insumos utilizada para  
El producto medio (PM) se define como la relación del

## 1. Producto Medio

Cuando dos o más insumos ejercen efectos combinados en la respuesta del cultivo, la cantidad óptima de un insumo depende de la cantidad que se aplique de los otros, de manera que los modelos más usados para explicar respuestas de los cultivos a diferentes niveles de insumos son:

1) Superficie cuadrática de respuesta.

$$Y = a + bx + cx^2 + dz + ez^2 + fzx$$

donde:

Y = rendimiento esperado

x = nivel de insumo x,

z = nivel de insumo z,

a, b, c, d, e, f... son constantes que han de determinarse.

Si se aplica la ley de rendimientos decrecientes, b y d serán positivos, c y e, serán negativos; el signo de f será positivo o negativo según exista interacción positiva o negativa entre los insumos.

2) Fórmula de la raíz cuadrada.

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

En esta ecuación Y es el rendimiento esperado, X y Z las dosis de los factores involucrados, en este caso densidad y fertilización, y a, b, ... f las constantes.

3) Fórmula de Cobb-Douglas.

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

En esta función a es la constante a determinarse al correr el modelo, X y Z los niveles de insumos usados. Los coeficientes c y e indican el incremento del rendimiento del

cultivo por efecto de los factores, y son coeficientes de elasticidad.

#### 4) Función de Mitscherlich-Baule

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

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 conveniencia, significancia de los parámetros y consideraciones relacionadas con la biología y aspectos económicos relacionados con el proceso de respuesta, conjuntamente con un juicio subjetivo del experimentador y la facilidad disponible para el cálculo de la misma.

La publicación de la FAO citada, refiere que en ensayos de abonado realizados en la India en 1960, se encontró que la función cuadrática de respuesta es satisfactoria para explicar la superficie de respuesta en la mayoría de los casos.

En la misma cita se explica que los niveles de insumos que aumentan al máximo los beneficios, serán los que figuren en la combinación en la que el valor del incremento en la producción sea igual al costo de los insumos añadidos, de forma que tendremos:

$$P_1C_y = 0_1C_x, \quad P_1C_y = 0_2C_z$$

donde  $P_1$  es el precio por unidad de producto

$Q_1$  y  $Q_2$  son los precios de los insumos

cy representa el incremento del rendimiento en función del incremento de los insumos  $x, z$

$$P_1 = dy/dx = Q_1$$

$$P_1 = dy/dz = Q_2$$

donde:  $dy/dx$  ,  $dy/dz$  denotan la primera derivada parcial de la función de producción con respecto al insumo que se estime.

### B. Requerimientos de nutrientes del Suelo.

#### 1. Importancia del Análisis de Suelo.

Según Fortuna (1985) la importancia del análisis de suelo radica en que cualquier aplicación de fertilizantes por encima o debajo de las necesidades del cultivo es incorrecta. Entonces, la respuesta del cultivo en lo que se refiere a máximo rendimiento será en relación al nutrimento deficitario en el suelo.

Nelson, (1986) dice que en un suelo mineral el nitrógeno se encuentra disponible a un ph de 4.5 a 9.4 y su máxima disponibilidad ocurre a un ph que varía entre 6.0 y 8.0, y que el fósforo se halla disponible a un ph de 4.7 a 9.3 y su máxima disponibilidad se ubica a un ph de 6.0 a 7.5, de igual modo, el potasio se encuentra disponible a un ph de 4.8 a 9.1 y alcanza su mayor nivel de disponibilidad en un ph mayor de 6.0.

Lorenz y Maynard, (1988) sostienen que la cantidad de nutrientes que los cultivos pueden remover del suelo está influenciado por el contenido de éstos en el suelo, la cantidad aplicada, y su disponibilidad afectada por las condiciones de temperatura y humedad del suelo; el fósforo y el potasio son elementos relativamente estáticos, mientras que el nitrógeno es muy móvil y tiende a lixivarse con facilidad, alcanzando áreas más profundas del suelo, donde las raíces no pueden aprovecharlo, por lo que no se recomienda hacer aplicaciones únicas, sino más bien aplicar el 30% del total al momento de la siembra, y el remanente en dos o más aplicaciones complementarias.

Tindall, (1983) dice que el nivel de nitrógeno aplicado deberá estar de acuerdo con la densidad de plantas utilizadas, el tamaño de la panoja, el peso de la misma, el peso del grano y su rendimiento, están estrechamente relacionados con la disponibilidad de nitrógeno durante el período de crecimiento.

Green, (1957) sustenta que la investigación acerca de los requerimientos de fertilización deben ser dirigidas a decidir las cantidades de fertilizantes necesarios para suplir las deficiencias de los nutrientes en las etapas tempranas del cultivo.

## 2. Requerimientos del Cultivo de Sorgo.

Según Sánchez (1981) por cada tonelada de grano producida en el trópico, el cultivo necesita 30 kg/ha de nitrógeno, 10 kg/ha de fósforo, y 10 kg/ha de potasio. Dice además que en

vista de que normalmente los suelos tropicales son regularmente ricos en potasio (K), se aportan al suelo solo los requerimientos en nitrógeno y fósforo.

Menciona además, que a niveles de rendimiento moderadamente altos (4 a 5 ton/ha) la extracción de nitrógeno es del orden de 100 a 150 kg/ha, pero que para obtener rendimientos mayores (8 a 10 ton/ha) los aportes de nitrógeno deben ser superiores a los 200 kg de nitrógeno por ha.

#### C. Densidad de Siembra.

Según Peacock y Wilson (1984) en ensayos que realizaron en México, determinaron que la densidad de plantas/ha varía según las condiciones climáticas de la zona y la fertilidad de suelo.

En zonas con problemas de sequía, y en los trópicos semiáridos donde el agua y los nutrientes son limitantes, la población óptima en términos generales varía entre 40,000 y 140,000 plantas por hectárea, pero este rango puede variar según la época del año en la que se efectúa la siembra.

Myers y Foale (1980) citados por Peacock (1985) dicen que las altas poblaciones, (más de 650,000 plantas/ha) producen altos rendimientos de granos bajo condiciones óptimas de fertilidad de suelo.

Guevara (1988) refiriéndose a producción de sorgo en Costa Rica, dice que uno de los factores principales que contribuyen a incrementar el rendimiento es la población alta

de plantas; en algunos casos de hasta 800.000 plantas/ha.

D. Investigación en Sorgo y Recomendaciones  
con Respecto a Fertilización y Densidad  
de Siembra Combinados.

Sánchez (1981) dice que para obtener altos rendimientos se debe aportar al cultivo unos 200kg/ha de nitrógeno.

Nolasco y Bustamante (1980) ensayaron varias combinaciones de fertilización y densidad de siembra y determinaron que a medida se incrementa la densidad aumenta el requerimiento de fertilización.

Fischer y Wilson (1975), realizaron ensayos, combinando la densidad de plantas y los niveles de fertilización. Se demostró, que a medida se incrementa la densidad de siembra, se incrementa la necesidad de fertilizantes. Los rendimientos obtenidos por ellos, a nivel experimental son muy halagadores, ya que éstos han sido de hasta 14.25 toneladas métricas por hectáreas.

(Vega, 1984). Dice que en el estado de Guanajuato, México, en áreas irrigables se han obtenido rendimientos de 13 toneladas por ha. Atribuye este rendimiento a que se cuenta con riego, y que el 91% de los agricultores utilizan fertilizantes.

### III. MATERIALES Y METODOS.

#### A. Reseña del Trabajo Experimental.

Para lograr los objetivos propuestos en el estudio, se instaló un ensayo en el que se estudió el híbrido comercial de sorgo, Dekalb-55 desarrollado por la casa Dekalb-Pfizer Genetics, EEUU, el cual ha sido recomendado por su adaptabilidad a zonas áridas tropicales y respuesta favorable a fertilización.

Este híbrido además, posee otras características deseables, tales como, resistencia al acame, por ser este de porte bajo (1.30-1.50 metros de alto), resistencia al ataque de pájaros por la conformación cerrada de su panoja, el contenido de taninos y la coloración rojiza del grano, componentes éstos, que tienen efectos repelentes sobre los pájaros, los que en estas latitudes merman considerablemente los rendimientos de los cultivos de sorgo.

#### 1. Localización del Ensayo.

El ensayo se llevó a efecto desde el 1 de julio al 18 de octubre del año 1989 y se ubicó en la terraza N° 27 del Departamento de Agronomía de la Escuela Agrícola Panamericana, la que se encuentra a una altitud de aproximadamente 820 msnm y a 14° de latitud norte, la temperatura máxima promedio durante el ciclo de cultivo fue de 30 C°, y la mínima de 18

C\*, la precipitación durante el ciclo del cultivo fue de 689 mm (según datos del departamento de agronomía de la Escuela Agrícola Panamericana). Ver anexo 1.

Para realizar el análisis de suelo, antes de la siembra, en el área que se utilizaría para instalar el experimento, se tomaron tres muestras al azar representativas del área. Los resultados del análisis de suelo, se pueden apreciar en el cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados del análisis de suelo.

Muestra	PH(kcl)	Textura	%Arena	%Limo	%Arcilla	%M.O.	%N P(ppm)	K(ppm)	
N 1	4.71	Franco	48	34	18	2.9	0.10	5.03	710
N 2	4.74	Franco	52	32	16	3.99	0.11	6.36	865
N 3	4.66	Franco	52	34	14	2.9	0.11	5.33	700
Prom.	4.70		50.67	33.33	16.00	3.26	0.11	5.57	758

El suelo es de textura franca, con un ph promedio en KCl de 4.71, el porcentaje promedio de materia orgánica 3.26%, contenidos promedios de nitrógeno y fósforo de 0.11% y 5.47 ppm respectivamente; dados estos niveles bajos de nitrógeno y fósforo, era de esperarse una respuesta significativa a la aplicación de fertilizante.

## 2. Diseño experimental.

Para el experimento se usaron aproximadamente unos 960 M<sup>2</sup> de terreno, el diseño experimental fue de bloques completos al azar en un arreglo de parcelas divididas; La elección de este diseño fue por dos razones básicas:

En primer lugar, para el establecimiento de las densidades de siembras deseadas en el experimento, era apropiado hacerlo en parcelas grandes, ya que, requería cambios en la calibración de la cantidad a sembrar en el caso de usar sembradora, y para el caso del experimento en sí, en el que se requería hacer un raleo posterior a fin de lograr las densidades de plantas deseadas.

En segundo lugar, dado que el fertilizante se aplicaría en dosis fácilmente controlables, y siendo este factor el que implica mayores costos de producción, se estimó deseable estudiarlo con mayor precisión.

Para la parcela principal fueron consideradas cuatro densidades siembra teóricas de 80,000, 160,000, 320,000, y, 640,000 plantas por ha.

La subparcela consistió de cuatro niveles de fertilización; 0 fertilización, 120-40-0, 240-80-0, y, 480-160-0 en kg NPK/ha.

De manera que, la densidad de siembra fue el efecto de la parcela principal, y los niveles de fertilización utilizados, el efecto de subparcelas. Se estudiaron cuatro densidades de siembra y cuatro niveles de fertilización con

cuatro repeticiones, para totalizar 16 tratamientos, como se aprecia en el cuadro 2.

-----  
 Cuadro 2. Tratamientos estudiados en el experimento.  
 -----

Densidad plant/ha	Niveles de NPK	Repeticiones			
80,000	0-0-0	101	213	301	414
80,000	120-40-0	102	215	302	413
80,000	240-80-0	103	214	303	415
80,000	480-160-0	104	216	304	416
160,000	0-0-0	105	207	305	411
160,000	120-40-0	106	211	306	412
160,000	240-80-0	107	212	307	410
160,000	480-160-0	108	210	308	409
320,000	0-0-0	109	206	309	408
320,000	120-40-0	110	208	310	407
320,000	240-80-0	111	207	311	406
320,000	480-160-0	112	205	312	405
640,000	0-0-0	113	201	313	403
640,000	120-40-0	114	203	314	401
640,000	240-80-0	115	204	315	404
640,000	480-160-0	116	202	316	402

Los insumos utilizados en el presente trabajo fueron los fertilizantes Urea, y la formula comercial 18-46-0, segun detalles en el cuadro 3. con los que se hicieron las aplicaciones en cada parcela segun los niveles deseados en el estudio; en cuanto a la semilla, se utilizaron 12.5 kg del híbrido dk-55, segun detalles en el cuadro 4.

De la combinación de los insumos señalados resultaron los tratamientos que se deseaban estudiar los cuales fueron descritos en el cuadro 2.

#### B. Descripción del trabajo experimental.

##### 1. Arreglo del experimento.

Para los propósitos del estudio, fue necesario el uso de 960 m<sup>2</sup> de terreno, incluidas áreas de pasillos, y dos hileras como bordes, los que se sembraron con sorgo blanco, estas hileras adicionales de sorgo blanco fingían como cebo para distraer el posible ataque de los pájaros, ya que este sorgo blanco por su coloración resulta atractivo para los mismos, de manera que si estos atacaban el cultivo, se alimentarían de los bordes y no del material en estudio.

Las dimensiones del campo, fueron de 48 m de largo por 20 m de ancho, se dividió en cuatro bloques separados entre sí por un pasillo o calle que tenía 20 m de largo por un metro de ancho.

El área de la parcela principal fue de 48m<sup>2</sup> y el área de la subparcela fue de 12m<sup>2</sup>; se considero como parcela útil el

- d. Numero de semillas por panojas.
- c. Peso de 300 granos.
- b. Peso del grano trillado.
- a. Numero de panojas.

parcela útil los cuales fueron:

En el anexo 3, se muestran los datos tomados en la hileras centrales descartandose cuatro hileras a cada lado. las densidades 160,000 y 640,000 plantas/ha. las cuatro dos hileras a cada lado por efecto de bordes y en el caso de 320,000 plantas/ha. las dos hileras centrales, descartandose Se cosecharon en el caso de las densidades de 80,000 y

### 1. Agronomicos.

#### C. Compilación de Datos.

Por efectos de la alta incidencia de gramíneas en el ensayo, fue necesario hacer dos cosechas adicionales, una a los 45 días después de nacencia; y por último una limpieza general del área del ensayo a los 65 días después de siembra. tambien fue necesario hacer control manual de malezas.

Al momento de la segunda aplicación de fertilizante manualmente,

existentes al momento de la siembra fueron eliminadas Besaprim 80WP a razón de 2.20 kg por ha. Las malezas mochila, al momento de la siembra, el herbicida preemergente Para el control de malezas se aplicó con bomba de

### 3. Control de Malezas.

- f. Día a floración.
- g. Altura de las plantas.
- h. Ejerción de la panoja.
- i. Largo de la panoja.
- j. Peso de las panojas.
- k. % de humedad del grano.
- l. Peso del forraje verde.
- m. Número de plantas en las parcelas.

Con estos datos se calcularon:

- 1. Rendimiento del grano en kg/ha.
- 2. Cantidad de granos por panoja.
- 3. Peso de la materia seca.
- 4. Densidad real en plantas por ha.

## 2. Económicos.

### 2.1 Costos fijos.

Para efectos de diferenciar los costos que son afectados directamente con los tratamientos estudiados, de los que permanecen constantes, se nombraron como costos fijos, los costos que no se afectan con la aplicación de los tratamientos y como variables los que incluyen los tratamientos en si y los costos afectados por el volumen producido.

### 2.2 Costos Variables.

Aquellos costos que por su naturaleza cambian con el volumen producido, estos comprenden los costos de operación o el capital de trabajo de la empresa agrícola, los costos de preparación del terreno, de siembra, costos de los insumos

utilizados, mano de obra y, los costos de transporte, procesamiento y cosecha de los productos, etc. los cuadros 3 y 4, muestran los costos que son variables con respecto a los tratamientos estudiados.

Cuadro 3. Costos y cantidad de Fertilizante usados en el ensayo

Fertilizantes	dosis deseada kg/ha.	aporte N kg/ha.	aporte P kg/ha.	Cantidad aplicada kg/ha.	costo unitario kg	costo total lps.	costo tratamiento lps./ha
	0	0	0	0	0	0	
18-46-0	120-40-0	35.87	40	199.30	0.86	171.00	
Urea		84.15	0	182.93	0.53	96.59	267.59
18-46-0	240-80-0	71.75	80	398.60	0.86	342.00	
Urea		168.36	0	366.00	0.53	193.25	535.25
18-46-0	480-160-0	143.50	160	797.20	0.86	684.00	
Urea		336.72	0	732.00	0.53	386.50	1070.49

Cuadro 4. Costo y cantidad de semillas usadas en el ensayo.

Semilla tipo	densidad deseada f/ha.	% germ. y % nasc. (%)	cantidad plantas necesarias	cantidad usada (kg)	costo (kg)	costo total Lps./ha
BK-55	80000	28000	108000	3.56	6.38	22.74
BK-55	160000	56000	216000	7.13	6.38	45.48
BK-55	320000	112000	432000	14.26	6.38	90.95
BK-55	640000	224000	864000	28.51	6.38	181.91

### 2.3 Precios de los Insumos y Productos.

Los precios de los insumos se obtuvieron del departamento de contabilidad de la Escuela Agrícola Panamericana, puestos en la misma y el precio del producto (sorgo grano) puesto en los silos del Instituto Hondureño de Mercadeo Agrícola.

#### D. Obtención de la función de mejor ajuste.

##### 1. Obtención de la Superficie de Respuesta.

Aplicando el modelo cuadrático de la forma:

$Y = a + b_1(D) - b_2(D)^2 + b_3(F) - b_4(F)^2 + b_5(D \cdot F)$ , se obtuvo la función de mejor ajuste, con el uso del paquete estadístico MSTAT.

donde:

Y= rendimiento en kg/ha.

$a, b_1, \dots$  coeficientes a determinarse.

D= Densidades de siembra usadas.

F= Niveles de fertilización usadas.

Haciendo una matriz con los datos de rendimiento obtenidos en el ensayo y con el uso del programa para computadoras 3D (tercera dimensión) se obtuvo la superficie de respuesta en forma gráfica como se puede apreciar en la figura 1.

#### E. Análisis Económico.

Con la función ajustada se procede al análisis económico, usando los conceptos de análisis marginal, para encontrar el nivel óptimo económico de fertilización y densidad de siembra

para obtener el máximo beneficio.

Obteniendo la primera derivada parcial de la función de producción para cada uno de los factores en estudio, igualándola a cero se obtiene la función de máxima producción técnica; de igual modo, obteniendo la primera derivada parcial en relación a cada uno de los factores estudiados, e igualándola a la relación entre el precio del factor y el precio del producto, se obtiene la función de óptimo beneficio económico.

de manera que, para obtener máxima producción técnica:

$$\frac{\delta Y}{\delta D} = 0 \qquad \frac{\delta Y}{\delta F} = 0$$

Es necesario igualar las primeras derivadas parciales con respecto a la densidad de siembra y fertilización a cero; y, para obtener el óptimo beneficio económico:

$$\frac{\delta Y}{\delta D} = \frac{P D}{P Y} \qquad \frac{\delta Y}{\delta F} = \frac{P F}{P Y}$$

O sea que se igualan las primeras derivadas parciales de los factores de la función a los precios de los insumos respectivos y se resuelven en forma simultánea.

### F. Análisis Estadístico

Se hicieron los análisis de varianza para cada tratamiento que resultó de la combinación de los insumos usados, se hicieron estos análisis en base al rendimiento en

kg/ha., al número de plantas/ha., al peso de las semillas, al número de semillas por panoja, en cada uno de los tratamientos considerados, y a la disposición de los surcos en las parcelas; los resultados del análisis de varianza se pueden observar en el cuadro 5.

Cuadro 5 Resultados de análisis de varianza.

Cuadrados medios						
Fuente	gl	kg/ha. (semilla /panojas /semillas		mg	† plantas /ha.	surcos vs plantas
Replicas	3	ns	ns	†	ns	
Densidad (D)	3	ns	††	ns	††	†
Entre surcos	1					ns
Entre plantas	1					ns
Surcos vs Plantas	1					††
Error	9					
Fertilización (F)	3	ns	ns	ns	†	
DxF	9	ns	ns	ns	ns	
Error	36					
Total	63					

Para los análisis de varianzas efectuados, fue utilizado el paquete estadístico MSTAT versión C 1987, desarrollado en la Universidad de Michigan EEUU. se utilizó un diseño de bloques completos al azar en un arreglo de parcelas divididas, con cuatro niveles de fertilización, cuatro densidades de siembra lo que arroja un total de 16 tratamientos con cuatro repeticiones.

#### IV. DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

El cuadro 6 presenta los resultados obtenidos al ajustar los datos del experimento al modelo de regresión cuadrático que estimase la superficie de respuesta, la cual puede observarse en la figura 1.

-----  
 Cuadro 6. Resultados de regresión con modelo cuadrático.  
 -----

Variable	Coficiente Regresión	Error Prueba T Estandar	Probl.
Densidad (D)	51.286	24.52	2.09 0.05
Densidad <sup>2</sup>	-0.8901	0.339	-2.63 0.01
Fertilización (F)	-2.2743	17.53	-0.13 0.89
Fertilización <sup>2</sup>	0.2925	0.3125	0.94 0.36
D*F	0.1995	0.2418	0.83 0.42

Intercepto 3966.29

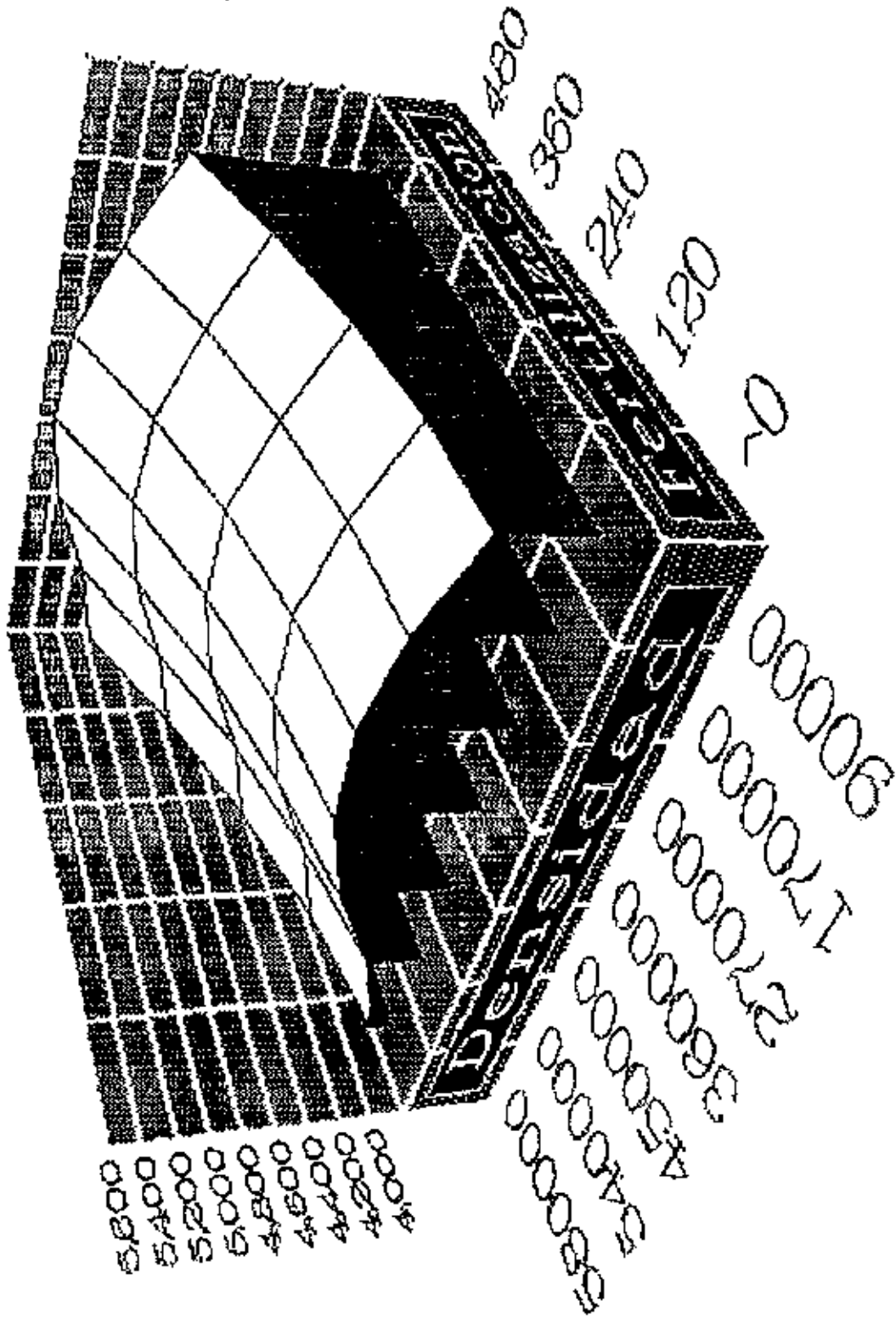
Coficiente de determinación ( $r^2$ ) 0.73

-----  
 Tabla de análisis de Varianza  
 -----

	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	Prueba F
Regresión	2699447.38	5	539889.48	5.30
Residual	1018366.06	10	101836.61	
Total	3717813.44	15		

-----  
 Prueba de Durbin-Watson = 1.980573

Figura 1. Superficie de Respuesta a densidad de siembra y fertilización



Para obtener la función de producción se utilizó el promedio de las cuatro repeticiones agrupadas en los 16 tratamientos estudiados, la función obtenida que describe la respuesta a niveles de densidad de siembra, y los niveles de fertilización usados es la siguiente:

$$Y=3966.29+51.286D-0.89013D^2-2.2743F+0.29251F^2+0.19949D*F$$

(24.52) (0.33906) (17.53) (0.31251) (0.241)

donde:

Y= Rendimiento en kg por hectárea.

D= Densidad real de siembra en plantas por hectárea.

F= Fertilización aplicada en kg por hectárea.

D\*F= Interacción entre densidad y fertilización.

Las cifras entre paréntesis corresponden a los errores estándar de los parámetros, según se puede observar en el cuadro 6, el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) obtenido fue de 73%, que es el porcentaje de la variación explicada por el modelo utilizado, siendo la regresión significativa al 1%, sin embargo solo los parámetros de densidad de siembra resultaron significativos; la densidad lineal significativa al 5% y la cuadrática al 10% de probabilidad de error, los parámetros para fertilización no son significativos; en tanto que la interacción densidad fertilización resultó no significativa.

El resultado del análisis de varianza muestra que tanto el efecto de la densidad de siembra (parcela principal) y el efecto de la fertilización (subparcela) no mostraron diferencias significativas tanto para el rendimiento de grano expresado en kg/ha. como para el peso individual de las semillas, como puede notarse en los cuadros 7 y 8.

Cuadro 7. Resultados de análisis de varianza.  
en función del rendimiento en kg/ha.

Fuente	gl	cuadrados medios	Prueba F
Réplicas	3	2106672.153	1.22 ns
Densidad (D)	3	2259893.895	1.31 ns
Error	9	1725877.091	
Fertilización (F)	3	1828476.103	2.10 ns
DxF	9	664616.325	0.76 ns
Error	36	870543.082	
Total	63		
Coefficiente Variación		20.26%	

Cuadro 8. Resultados de análisis de varianza.  
en función del peso de la semilla.

Fuente	gl	cuadrados medios	Prueba F
Réplicas	3	149.141	3.07
Densidad (D)	3	11.599	0.24 ns
Error	9	48.571	
Fertilización (F)	3	4.766	0.23 ns
DxF	9	4.974	0.24 ns
Error	36	20.769	
Total	63		
Coefficiente Variación		13.53%	

El análisis de varianza con respecto a el número de semillas por panojas mostró diferencia significativa al 0.5%, o sea que al aumentarse la densidad de siembra, el número de semillas por panojas se redujo en forma significativa, según puede verse en el cuadro 9.

Cuadro 9. Resultados de análisis de varianza en función del número de semillas por panoja.			
Fuente	gl	cuadrados medios	Prueba F
Réplicas	3	56360.125	1.57
Densidad (D)	3	3750991.176	104.96 **
Error	9	35814.236	
Fertilización (F)	3	13792	0.53
D:F	9	6412.513	0.32
Error	36	26091.267	
Total	63		
Coeficiente			
Variación		22.81%	

En cuanto a la disposición de los surcos, 20 o 40 cm de distancia entre sí, el análisis de varianza no muestra diferencias significativas entre los factores, pero sí resulta significativa la interacción, como puede verse en el cuadro 10.

Cuadro 10 Resultados de análisis de varianza en función del arreglo entre surcos o hileras.

Fuente	gl	cuadrados medios	Prueba F
Replicas	3	457119.98	2.75
Entre surcos (S)	1	75850.52	0.46
Entre plantas (P)	1	32342.48	0.19
S*P	1	1386742.94	9.55 **
Error	9	166154.24	
Total	15		
Coefficiente Variación		8.85%	

#### B. Respuesta a Densidad de Siembra.

La respuesta a densidad de siembra se sujeta a la ley de rendimientos decrecientes, o sea que ante incrementos de la densidad de siembra, se incrementa el rendimiento, para luego, decrecer según puede observarse en las figuras 2, 3, 4, 5; las que representan los cambios en el rendimiento en kg/ha ante cambios en la densidades de siembra, contrastadas con cada uno de los cuatro niveles de fertilización utilizados en el ensayo como constantes.

##### 1. Determinación de la Densidad para Máxima Producción Técnica.

A medida se incrementa la densidad de plantas los rendimientos se incrementan hasta alcanzar el máximo de producción técnica. La máxima producción técnica se obtiene igualando a cero la primera derivada parcial con respecto a la densidad de siembra.

$$\begin{aligned} \delta Y \\ \text{-----} = 0 \\ \delta D \end{aligned}$$

De forma que:

$$D = \frac{51.286 + 0.19949 * F}{1.78026} = 0$$

La función que resultó de esta ecuación, y que explica la densidad de siembra, fué:

$$D = 28.8 + 0.1120366 * F$$

Donde:

D es, la densidad de siembra.

F es, el nivel de fertilizante usado.

El cuadro 11 muestra las densidades de máxima producción técnica que resultan con los niveles de fertilización estudiados. Se puede apreciar que a medida que se incrementa el nivel de fertilizante, se incrementa la densidad de plantas.

Cuadro 11.		
Niveles de NPK	Densidad de plantas/ha	Rendimiento en Kg/ha
0-0-0	288,000	4705.04
120-40-0	301,000	4790.42
240-80-0	314,000	4963.28
480-160-0	342,000	5571.40

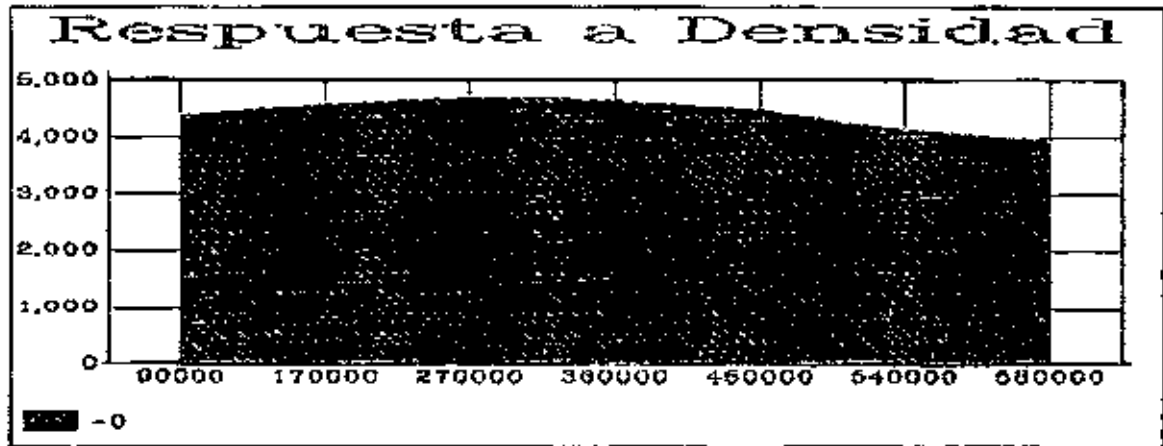


Figura 2. Respuesta de la densidad de siembra, a cero fertilización

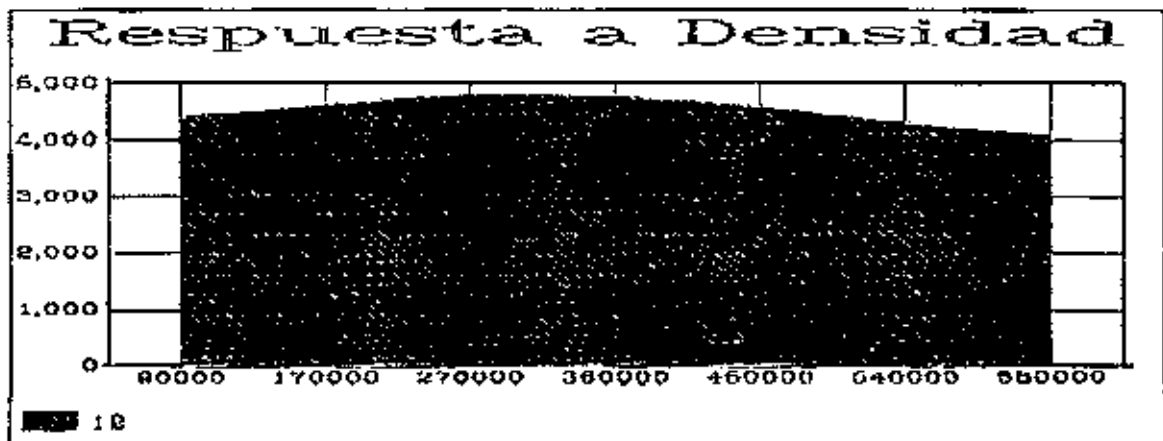


Figura 3. Respuesta de la densidad de siembra al nivel de fertilización, 120-40-0 Kg/ha de NPK.



Figura 4. Respuesta a densidad de siembra al nivel de fertilización, 240-80-0 Kg/ha de NPK.

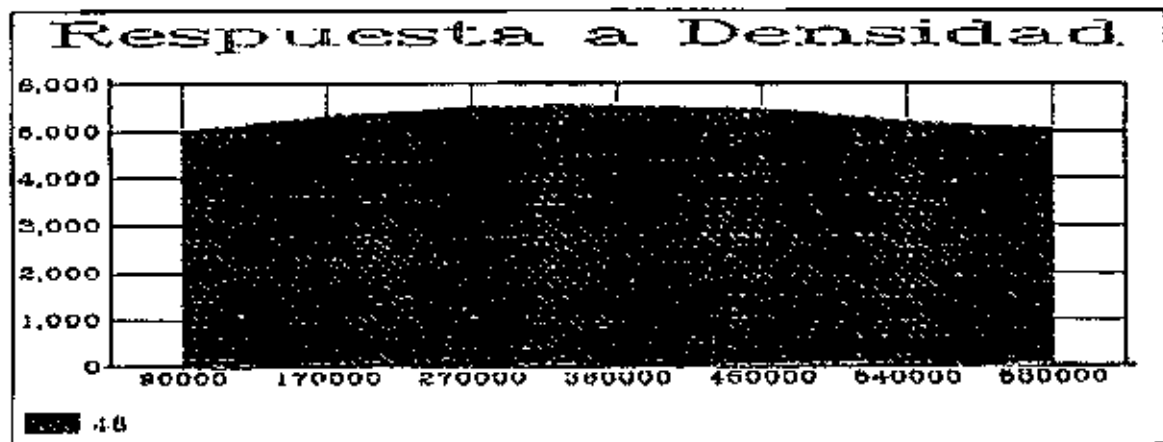


Figura 5. Respuesta a densidad de siembra al nivel de fertilización, 480-160-0 Kg/ha de NPK.

## 2. Determinación de la Densidad de Óptimo Beneficio Económico.

Para la determinación de la densidad de plantas para la obtención del máximo beneficio económico, se obtiene la primera derivada parcial con respecto a densidad de siembra, y se iguala a la relación entre el precio del factor (semillas) y el precio del producto (sorgo grano).

de manera que:

$$\frac{d Y}{d D} = \frac{P S}{P S^*}$$

Donde:

Y, es la función de producción

D, es la densidad de siembra

P S, es el precio de la semilla en kg

P S\*, es el precio del sorgo grano en kg

La ecuación que describe la densidad de óptimo beneficio económico relacionada con los niveles de fertilización utilizados es:

$$Y = 51.286 - 1.7802D + 0.1994F = 17.06$$

de donde:

$$D = 19.23 + 0.1120098F$$

Donde;

Y, es la función de producción

D, es la densidad de óptimo beneficio económico

F, es el nivel de fertilización usado

El cuadro 12 muestra las densidades óptimas económicas obtenidas al resolver la ecuación con los niveles de

fertilización estudiados en el experimento.

Cuadro 12		
Niveles NPK	Densidad plant/ha	Rendimiento Kg/ha
0-0-0	192,000	4622.84
120-40-0	206,000	4709.19
240-80-0	219,000	4881.29
480-160-0	246,000	5489.59

#### B. Respuesta a Fertilización.

Como se señalara con anterioridad la respuesta a fertilización resultó no significativa, por lo que no se puede llegar a conclusiones precisas, ni hacer recomendaciones determinantes al respecto. A este resultado contribuyó la escasa precipitación durante el ciclo del cultivo notándose en el anexo i que la mayor cantidad de lluvia se presentó a finales del ciclo del cultivo cuando éste estaba prácticamente listo para la cosecha.

Los resultados del análisis de varianza, que se pueden observar en los cuadros 7, 8 y 9 no muestran diferencias significativas al incrementarse las dosis de fertilización para los parámetros rendimiento de grano en kg/ha, en el número de semillas por panoja; tampoco se evidencian diferencias significativas en el peso del grano.

Según se puede apreciar en la figura 1, la curva de rendimientos con respecto a fertilización se mantuvo en ascenso a pesar de que se usaron niveles considerablemente altos de fertilización.

Las figuras 6, 7, 8 y 9 muestran el comportamiento del rendimiento ante el efecto de los niveles de fertilización estudiados.

De lo anterior puede interpretarse que la respuesta a fertilización se sitúa en la primera etapa de producción o sea en etapa de los rendimientos crecientes, esto se atribuye, a la posible baja absorción del fertilizante por las plantas como consecuencia de la escasa precipitación durante el ciclo del cultivo.

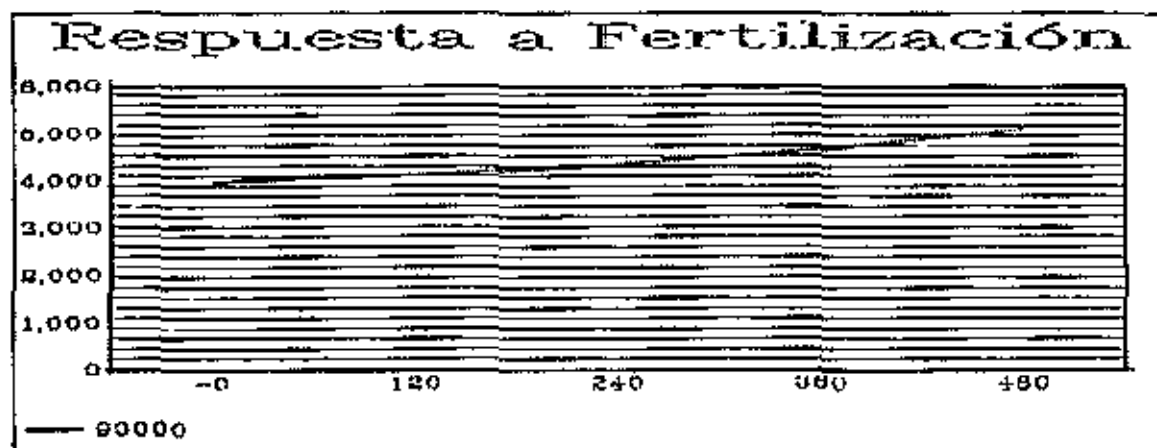


Figura 6. Respuesta a fertilización, si la densidad es de 90,000 plantas/ha.

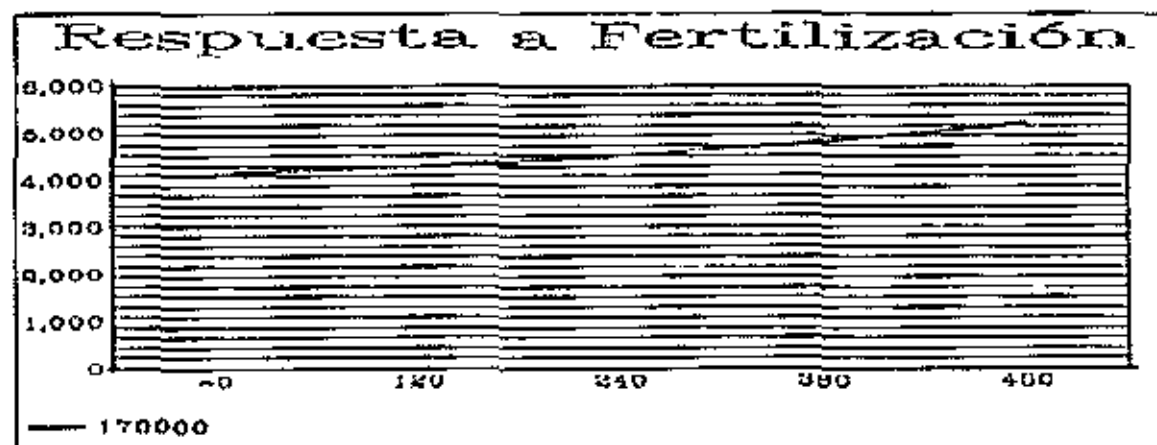


Figura 7. Respuesta a fertilización, si la densidad es de 170,000 plantas/ha.



Figura 8. Respuesta a fertilización si la densidad es de 270,000 plantas/ha.

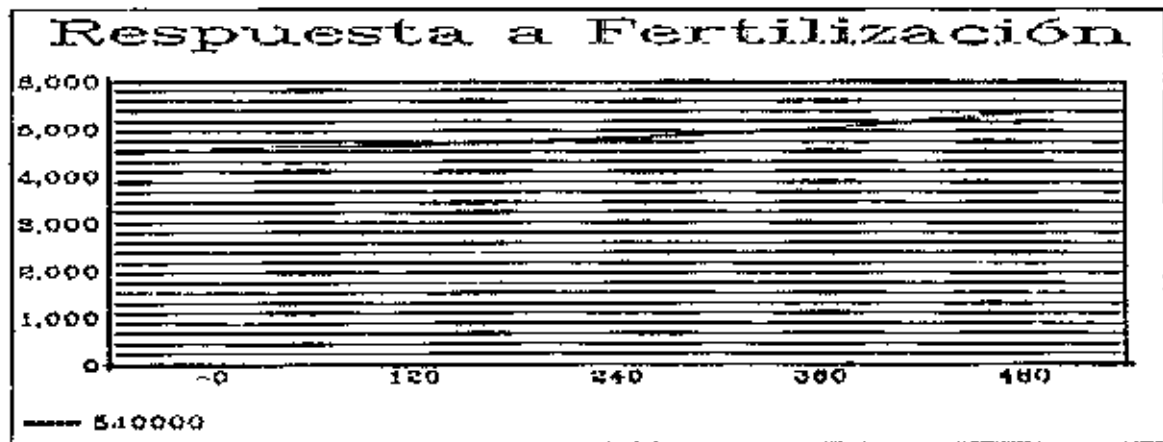


Figura 9. Respuesta a fertilización si la densidad es de 540,000 plantas/ha.

## V. ANALISIS DE SENSIBILIDAD.

Para el análisis de sensibilidad, se supuso un cambio de 25%, 30% y 35%; aplicando estas tasas al costo de la semilla de sorgo y al precio del sorgo grano, puede observarse en el cuadro 13, que si los cambios son del orden de 25% sobre el costo de la semilla y sobre el precio del grano, o sea, que el cambio en el precio del grano es igual al cambio en el costo de la semilla, las densidades óptimas no varían; sin embargo, si el cambio en el costo de la semilla, es superior al precio del sorgo, las densidades óptimas se reducen; a medida que la tasa de cambio en el costo de la semilla supera la tasa de cambio en el precio del grano, las densidades óptimas se reducen para todos los niveles de fertilizante.

Cuadro 13. Análisis de sensibilidad, densidades óptimas si el precio del sorgo es Lp. 21.25/qq

Niveles NPK	Precios de la semilla Lps/qq		
	362.50	377.00	391.00
0-0-0	199,000	196,000	192,000
120-40-0	206,000	202,000	198,000
240-80-0	219,000	215,000	212,000
480-160-0	246,000	242,000	238,000

Según se observa en el cuadro 14, si la tasa de cambio es de 35% para el precio del sorgo grano, y la tasa de cambio sobre el costo de la semilla es de 25%, la densidad óptima

de plantas se incrementa para todos los niveles de fertilizante.

Cuadro 14. Análisis de sensibilidad, densidades óptimas si el precio del sorgo es Lp. 22.10/qq

Niveles NPK	Precios de la semilla Lps/qq		
	362.50	377.00	391.00
0-0-0	196,000	192,000	189,000
120-40-0	209,000	206,000	202,000
240-80-0	223,000	219,000	216,000
480-160-0	250,000	246,000	243,000

Las densidades óptimas se reducen a medida se incrementa la tasa de cambio sobre el costo de la semilla de 25% a 30 y 35%, como puede verse en los cuadros 14 y 15.

Cuadro 15. Análisis de sensibilidad, densidades óptimas si el precio del sorgo es Lp. 22.95/qq

Niveles NPK	Precios de la semilla Lps/qq		
	362.50	377.00	391.00
0-0-0	199,000	196,000	192,000
120-40-0	223,000	209,000	205,000
240-80-0	226,000	223,000	219,000
480-160-0	253,000	249,000	246,000

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### A. Conclusiones.

La escasa precipitación durante el ciclo del cultivo, como puede observarse en el anexo 1, probablemente afectaron la disponibilidad de fertilizante en el suelo por lo que las plantas no pudieron asimilarlo. Como se muestra en la figura 1 que representa la superficie de respuesta del cultivo a los insumos utilizados, la respuesta a fertilización se mantiene en la primera etapa de la función de producción, o sea que no alcanza su nivel máximo.

Los resultados del análisis de suelo, efectuado antes de la siembra del experimento mostraron niveles bajos de macronutrientes disponibles en el suelo (porcentaje de nitrógeno 0.11%, 5.57 ppm de fósforo), por lo que se esperaba una respuesta significativa a la aplicación de fertilizantes.

Por otra parte, los parámetros de la regresión para fertilización no son significativos, por lo que los resultados no son confiables para fundamentar recomendaciones encaminadas a fomentar la aplicación de fertilizantes en la zona.

De manera que no se cuenta con datos confiables que permitan llegar a conclusiones precisas con respecto a la respuesta a fertilización del híbrido estudiado, a los distintos niveles de densidad probados.

En lo que concierne a densidad de siembra, se puede afirmar que es un factor determinante en el rendimiento, que se puede aprovechar bastante ya que la inversión en semillas puede ser retribuida ampliamente, lo que puede ser un dato importante para el pequeño productor de sorgo de la zona, que regularmente no cuenta con suficiente capital para la implementación de tecnologías que implican alta inversión, y por ende alto riesgo.

Con la obtención de la densidad óptima económica, que resultó con la menor inversión en semillas (192,000 plantas/ha), se obtienen mayores beneficios que con la densidad óptima económica, que se obtiene con el nivel de 120-40-0 kg/ha de NPK, (206,000 plantas/ha) esto es porque el incremento en los costos de producción en que se incurre al aplicar este nivel de fertilización, no son compensados suficientemente con el incremento en el rendimiento de grano en kg/ha.

Se puede observar en el anexo 5, donde se muestran los costos y beneficios obtenidos al comparar las densidades de siembra para obtener la máxima producción técnica, con los niveles de fertilización estudiados; que el mayor beneficio se obtiene cuando no se usa fertilizante, y conforme se incrementa el nivel de fertilización, se incrementa el rendimiento en kg de grano/ha, pero este incremento en rendimiento es insuficiente para cubrir el incremento en los costos como consecuencia del incremento en las dosis de

fertilizante. De forma que, se llegan a tener pérdidas al incrementar el nivel de fertilización a 480-160-0 kg de NPK/ha.

Para el caso de densidad y nivel de fertilización para obtener el óptimo beneficio económico, se puede observar en el anexo 6, que el mayor beneficio es obtenido sin el uso de fertilizantes, y que de igual forma que en el caso anterior, al incrementarse los niveles de fertilizantes, se incrementa la densidad óptima económica, pero el rendimiento obtenido a pesar de que también se incrementa no compensa los costos incurridos.

El híbrido utilizado en el experimento DK-55, mostró ser resistente a la sequía, y buen productor de grano, puesto que aun con las condiciones imperantes se obtuvieron rendimientos considerables (anexo 3).

#### Recomendaciones.

En lo que concierne a densidad de plantas, se puede recomendar sembrar 192,000 plantas por ha del híbrido DK-55, e incluir aproximadamente 30% adicional de plantas para cubrir las pérdidas de plantas por germinación (5%), y emergencia (25%).

Por la razón de que los resultados obtenidos con la aplicación de fertilizantes no resultaron concluyentes, sería adecuado, repetir este experimento incluyendo la densidad óptima económica encontrada en el presente trabajo (192,000

plantas/ha) y los niveles de fertilización estudiados, a fin de formular recomendaciones confiables para el uso de fertilizantes en la zona.

## VII. RESUMEN

El sorgo es un producto de importancia en Honduras, como fuente de proteínas y carbohidratos para la elaboración de concentrados en la alimentación animal. Incrementar la productividad del sorgo, aliviaría la demanda que tiene el maíz, que es utilizado tanto para consumo humano como también para el consumo animal.

El presente estudio se realizó con el objetivo de estimar una función de superficie de respuesta a fertilización y densidad de siembra del cultivo de sorgo híbrido DK-55, y evaluar los resultados siguiendo la metodología del análisis económico para formular recomendaciones al respecto.

Se estudió el híbrido comercial DK-55, el cual ha sido recomendado por su alto rendimiento bajo fertilización, y su alta resistencia a la sequía, se instaló un ensayo donde se estudiaron cuatro densidades de siembra de sorgo, cuatro niveles de fertilización, en un total de 64 parcelas donde se repitieron cuatro veces las combinaciones entre densidad de plantas y niveles de fertilización de donde resultaron 16 tratamientos.

Con el uso del modelo de regresión cuadrático, se obtuvo la superficie de respuesta, resultando significativos los parámetros relacionados a la densidad de siembra, no siendo así, en el caso de fertilización donde los parámetros

resultaron no significativos. La función resultante, que explica la respuesta a densidad de siembra y fertilización es la siguiente:

$$Y=3966.29+51.286D-0.89013D^2-2.2743F+0.29251F^2+0.19949DF$$

Dado que en el caso de fertilización no se obtuvieron resultados concretos, no es posible hacer recomendaciones al respecto.

Por lo que solo en lo concerniente a la densidad de plantas usando la semilla híbrida DK-55, se pueden hacer recomendaciones fundamentadas en resultados concretos; para el caso de que no se utilice fertilizantes la densidad para obtener el óptimo beneficio económico fue de 192,000 plantas por ha; si se utiliza la formula 120-40-0 kg de NPK/ha, la densidad de plantas para el óptimo beneficio económico es de 206,000 plantas/ha, si la dosis de fertilizante a usar es de 240-80-0 kg de NPK/ha, la densidad para obtener el óptimo beneficio económico es de 219,000 plantas/ha; con la utilización de 480-160-0 kg de NPK/ha, la densidad óptima económica resultó ser de 246,000 plantas/ha, pero se incurre en pérdidas de lps. 96.47 según se muestra en el anexo 6.

### VIII. BIBLIOGRAFIA.

- BISHOP, C. E; TOUSSAINT, W. D. 1982. Introducción al Análisis de Economía Agrícola. octava reimpresión, Editorial Limusa. México D. F. 140 p.
- DILLON, J. L. 1977. The analysis of response in crop and livestock production, 2 ed. Oxford, U. K. pergamon. 213 p.
- FAO, 1966. Estadística de la respuesta de los cultivos al abonado. Roma, Italia, FAO. 320 p.
- \_\_\_\_\_, 1983. Anuario FAO de producción 1982. Roma, Italia, FAO. 320 p.
- FORTUNA, N. 1985. Análisis de Suelo; Su Importancia. Fersan Informe (República Dominicana). 9(32): 33-35.
- FOSTER, B. M.; PEARCE, R. B.; Mac WILLIAMS, M. D. 1987. Teaching Crop Growth Análisis. México. D.F.
- FISCHER, K. S. 1975. Studies of Grain in Production in Sorghum bicolor Vs Effect of Planting Density on Growth and Yield. México D.F.
- GREEN, E. 1957. Field corn production in South Florida. Universidad Fla. Agr. Exp. Sta. Bull. 582.
- GUEVARA, A. 1988. Desarrollo de la Investigación en Sorgo de Costa Rica. Ceiba 29. (Honduras)
- HEADY, E. O. 1961. Economics of Agricultural production and Resource use. Englewood, N.J. (EE.UU) Prentice-Hall. 850 P.
- IICA, 1989. Macroanálisis de la Producción de Granos Básicos. Tegucigalpa, Honduras Centro América. (Sin Publicar)
- LORENZ, G. A. y D. N. MAYNARD. 1988. Handbook for vegetable growers. 3ra. ed. New York, John Wiley & Sons. pp. 82, 127, 129, 143, 152-155.
- NELSON, L. B. 1986. Changing patterns in fertilizer use. Soil Sci. Soc. Amer. En: Lorenz, G. A. y D. N. Maynard. Handbook for vegetable growers. 3ra ed. New York, John Wiley & Sons. p. 109.

- NOLASCO, R.; BUSTAMANTE, B. 1980. Evaluación de seis niveles de nitrógeno y fósforo en tres localidades. Informe anual Dirección General Agrícola Sur. Honduras, Secretaría de Recursos Naturales. 150 p.
- PEACOCK, J. M.; WILSON, G. L. 1984. The Physiology of Tropical Field Crops. Nakuru, Kenya.
- SANCHEZ, RAUL.; 1986. Producción de Granos y Forrajes. 4a Edición. Editorial Limusa; México D.F.
- SANCHEZ, P. A. 1981. Suelo del trópico. Traducción del inglés por Edilberto Camacho. San José, Costa Rica, Instituto de Cooperación para la Agricultura. 634 p.
- SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES, 1976. Proyecto para la Producción de Semilla Mejorada de Granos Básicos. Tegucigalpa, Honduras; Centro América. 220 pg.
- 
- \_\_\_\_\_, 1984. Programa Nacional de Sorgo y Frijol, Memoria Técnica. Tegucigalpa, Honduras; Centro América. 180 pg.
- 
- \_\_\_\_\_, 1976. Diagnostico Del Sector Reformado con Enfasis en la Comercialización de Granos Básicos. Tegucigalpa Honduras Centro América. 100 pg.
- 
- \_\_\_\_\_, 1979. Proyecto Para Incrementar la Productividad de Sorgo. Tegucigalpa Honduras Centro América. 110 pg.
- 
- \_\_\_\_\_, 1989. Caracterización de los Productores de Granos Básicos. Tegucigalpa, Honduras. (sin publicar)
- STICKLER, F. C.; WEARDEN, S.; PAULI, A. W. 1974. Leaf Area Determination in Grain Sorghum.
- TINDALL, H. D. 1983. Vegetables in the tropics. Wesport, USA, The Avil Publishing Company. p. 234.
- VAN ARKEL, H. 1978. Leaf rea Determinations in Sorghum and Maize by The Length-Width Method. Nakuru, Kenya.

---

 Anexo 1. Régimen de lluvias durante el ciclo del cultivo
 

---

Período (mes)	Cantidad de lluvia por mes	Cantidad de lluvia por semana	Labores realizadas	Etapas de crecimiento
Julio	110.9			
1 semana		32.3	Siembra	
			1 fertilización	
2 semana		19.14	Nacencia	1 Etapa
3 semana		11.8	Raleo	
4 semana		47.66	2 fertilización	
			Control de plagas	
Agosto	150.8			
1 semana		12.3	Diferenciación floral	2 Etapa
2 semana		29.2	Aporque	
3 semana		11.2	10% de floración	
4 semana		98.1	40% de floración	3 Etapa
Septiembre	360.2			
1 semana		25.1	60% floración	
2 semana		30.6	100% floración	
3 semana		155.8	Llenado de grano	
4 semana		148.7		
Octubre	67.7			
1 semana		33.6	Cuidado de pájaros	
2 semana		34.1		
3 semana		0	Cosecha	
Total mm		689.6		

---

## Anexo 2. Mapa de localización del ensayo.

-----Casa-----

101 D1N0	115 D4N3	201 D4N0	216 D1N3	301 D1N0	316 D4N3	401 D4N1	416 D1N3
102 D1N1	115 D4N2	202 D4N3	215 D1N1	302 D1N1	315 D4N2	402 D4N3	415 D1N2
103 D1N2	114 D4N1	203 D4N1	214 D1N2	303 D1N2	314 D4N1	403 D4N0	414 D1N0
104 D1N3	113 D4N0	204 D4N2	213 D1N0	304 D1N3	313 D4N0	404 D4N2	413 D1N1
105 D2N0	112 D3N3	205 D3N3	212 D2N2	305 D2N0	312 D3N3	405 D3N3	412 D2N1
106 D2N1	111 D3N2	206 D3N0	211 D2N1	306 D2N1	311 D3N2	406 D3N2	411 D2N0
107 D2N2	110 D3N1	207 D3N2	210 D2N3	307 D2N2	310 D3N1	407 D3N1	410 D2N2
108 D2N3	109 D3N0	208 D3N1	209 D2N0	308 D2N3	309 D3N0	408 D3N0	409 D2N3

-----Danli-----

-----PFI-----

D1= 90,000 plantas por hectarea  
 D2=170,000 plantas por hectarea  
 D3=270,000 plantas por hectarea  
 D4=540,000 plantas por hectarea  
 N0=F0= sin fertilizacion  
 N1=F1= 120-40-0  
 N2=F2= 240-80-0  
 N3=F3= 480-160-0

Anexo 3. Medidas de rendimiento consideradas en el experimento.

D	F	R	P	Lbs./ pero. %	humed kg/ha.	peso prom.	plantas/plantas/ha trat. parcela	Den prom. por trat.	peso/sem en gramos	Nº semillas /panoja		
1	1	1	101	3.70	21.65	4760.171	23.00	71875	92779.44	10.60	0.036	1850.50
1	1	2	213	2.42	15.50	3377.544	29.00	90625		10.20	0.034	1035.26
1	1	3	301	3.00	18.60	4033.430	26.00	81250		10.20	0.024	1378.95
1	1	4	414	3.43	16.90	4707.865	30.00	93750		7.20	0.024	1394.92
1	2	1	102	3.70	21.23	4813.838	23.00	71875		10.30	0.024	1860.42
1	2	2	215	3.21	16.38	4433.473	32.00	100000		10.70	0.036	1231.52
1	2	3	302	2.40	14.78	3378.171	30.00	93750		11.10	0.037	1000.94
1	2	4	413	2.46	14.80	3461.013	22.00	68750		7.54	0.025	1398.71
1	3	1	103	3.97	17.21	5428.718	32.00	100000		10.90	0.036	1507.98
1	3	2	214	3.60	17.86	4884.117	33.00	103125		10.10	0.034	1315.59
1	3	3	303	3.50	17.00	4798.163	34.00	105250		10.50	0.035	1254.42
1	3	4	415	2.64	19.40	3514.535	29.00	90625		7.56	0.025	1077.25
1	4	1	104	3.85	16.86	5286.682	39.00	121875		11.10	0.037	1204.99
1	4	2	216	4.15	18.16	5609.730	34.00	106250		10.40	0.035	1466.60
1	4	3	304	2.80	14.00	3977.273	32.00	100000		7.90	0.026	1104.60
1	4	4	416	3.06	21.70	3957.419	27.00	84375		10.70	0.036	1302.85
2	1	1	105	2.88	14.45	4069.503	59.00	134375	172851.56	10.70	0.036	613.11
2	1	2	209	4.30	18.89	5760.653	52.00	162500		10.20	0.034	984.73
2	1	3	305	4.28	15.82	5950.885	50.00	156250		6.48	0.022	1057.94
2	1	4	411	3.96	23.10	5029.797	57.00	178125		11.90	0.040	784.37
2	2	1	106	4.06	17.74	5516.246	48.00	150000		11.60	0.039	1021.53
2	2	2	211	3.66	14.18	5187.982	54.00	168750		11.20	0.037	853.99
2	2	3	306	2.70	14.09	3831.214	64.00	200000		7.00	0.023	532.11
2	2	4	412	2.75	20.00	3633.721	46.00	143750		11.70	0.039	702.17
2	3	1	107	3.00	14.45	4238.066	56.00	175000		11.40	0.038	672.87
2	3	2	212	3.19	15.74	4439.571	66.00	206250		10.90	0.036	597.92
2	3	3	307	3.28	16.70	4512.017	54.00	168750		7.63	0.025	742.85
2	3	4	410	3.56	15.34	4978.026	50.00	156250		11.30	0.037	884.98
2	4	1	108	3.78	15.90	5250.694	65.00	203125		11.30	0.038	718.04
2	4	2	210	3.20	14.85	4500.000	52.00	162500		10.90	0.036	769.23
2	4	3	308	4.48	16.30	6193.446	64.00	200000		7.42	0.025	960.20
2	4	4	409	3.92	19.20	5231.501	48.00	150000		9.70	0.032	968.80

anexo 3. Medidas de rendimiento consideradas en el experimento. (continuación)

D	F	R	P	Lbs./ parc. :	humed kg/ha.	peso kg/ha.	prom. tratam. parcela	plantas/plantaz/ha por trat. parcela	Den prom. por trat. granos	peso/sem en gramos /panoja	Nº semillas		
3	1	1	109	4.70	20.57	6166.111	4427.05	92.00	287500	277539.06	10.20	0.034	595.76
3	1	2	206	2.06	12.24	2986.020		66.00	206250		9.40	0.031	402.16
3	1	3	309	3.80	10.45	5110.426		80.00	250000		9.90	0.033	569.71
3	1	4	408	2.40	13.28	3437.632		85.00	265625		11.40	0.038	359.49
3	2	1	110	3.70	18.45	4903.731	5170.51	82.00	256250		10.50	0.035	540.24
3	2	2	208	4.30	16.22	6060.987		83.00	259375		10.40	0.035	649.10
3	2	3	310	2.55	19.67	3636.058		89.00	259375		7.25	0.024	989.40
3	2	4	407	4.91	26.00	6001.255		97.00	303125		12.30	0.041	549.94
3	3	1	111	3.00	15.18	4202.894	4881.09	92.00	297500		11.10	0.037	406.08
3	3	2	207	3.69	14.62	5203.030		113.00	353125		11.50	0.038	409.34
3	3	3	311	3.05	14.09	4927.052		79.00	246875		7.43	0.025	406.96
3	3	4	406	4.36	19.60	5783.905		90.00	281250		7.43	0.025	571.04
3	4	1	112	3.05	14.45	4909.717	5293.77	89.00	265625		11.60	0.039	490.69
3	4	2	205	3.29	15.16	4609.170		99.00	308375		11.90	0.040	413.64
3	4	3	312	3.70	14.94	5198.236		97.00	303125		11.10	0.037	476.36
3	4	4	405	5.63	24.10	7057.958		98.00	306250		7.56	0.025	640.18
4	1	1	113	3.10	15.02	4851.163	3294.11	190.00	468750	570320.91	9.90	0.033	257.65
4	1	2	201	1.48	12.55	2142.607		190.00	593750		12.60	0.042	100.24
4	1	3	313	2.68	14.36	3790.603		178.00	556250		10.30	0.034	189.31
4	1	4	403	2.00	12.46	2891.701		192.00	600000		9.60	0.032	133.88
4	2	1	114	4.40	17.42	6001.453	4366.71	170.00	531250		10.60	0.035	313.80
4	2	2	203	2.04	12.79	2933.498		174.00	543750		11.30	0.038	150.11
4	2	3	314	2.54	14.18	3600.403		188.00	587500		10.70	0.036	170.29
4	2	4	401	3.50	14.78	4926.500		200.00	625000		10.40	0.035	218.96
4	3	1	115	3.00	15.10	4206.058	4003.97	178.00	556250		11.50	0.033	210.00
4	3	2	204	2.12	14.18	3005.061		204.00	637500		11.20	0.037	130.94
4	3	3	315	2.75	13.34	3936.228		180.00	587500		11.30	0.038	186.11
4	3	4	404	3.74	21.20	4567.733		195.00	609375		7.29	0.024	221.89
4	4	1	116	5.85	17.21	7999.495	5037.49	170.00	531250		10.70	0.036	419.27
4	4	2	202	2.60	15.58	3625.830		204.00	637500		10.60	0.035	157.97
4	4	3	316	2.60	13.67	3707.053		196.00	612500		11.50	0.038	168.13
4	4	4	402	3.61	19.20	4817.705		184.00	575000		8.46	0.028	232.74

-----  
 Anexo 4. Costos de producción de una hectárea de sorgo híbrido 8K-55  
 a nivel óptimo de densidad de siembra en el valle del Zamorano  
 -----

	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
<b>Costos Fijos</b>				
Arado	H/H	1.69	19.59	33.11
Rastra	H/H	1.9	19.59	37.22
Siembra	H/H	0.8	19.59	15.67
Cultivación	H/H	0.76	19.59	14.89
Aspersiones	H/H	1.8	19.59	35.26
Cosecha	H/H	0.85	19.59	16.65
<b>Insumos</b>				
<b>Herbicidas</b>				
Genaprin 80 sp	KG/HA	2	7.33	14.66
<b>Insecticidas</b>				
Lorsban líquido	Ltr/HA	1	23.07	23.07
Lorsban Granulado	KG/HA	10	2.97	29.70
Lannate 50WP	KG/HA	0.64	70.12	44.88
furacán 10ZE	KG/HA	27	10.00	270.00
<b>Mano de obra</b>				
<b>Aplicación</b>				
Lorsban granulado	D/H	3	6.67	20.01
Pajarero	D/H	12	6.67	80.04
Asistencia técnica	D/H	10	4.17	41.70
<b>Sub-total costos fijos</b>			<b>676.86</b>	
<b>Intereses</b>				
11% en 6 meses sobre costos fijos directos			74.45	
<b>Total costos fijos Lps.</b>			<b>751.31</b>	
<b>Costos Variables</b>				
Transporte	KG	4622.84	0.007	32.36
Procesamiento	KG	4622.84	0.040	184.91
Semillas	YG	8.55	6.300	54.55
<b>Total costos variables</b>			<b>271.82</b>	
<b>Costos totales Lps.</b>			<b>1023.14</b>	



Anexo 6. Costos y beneficios a determinados niveles de fertilización NPK y a niveles de densidad para óptima producción económica.

Niveles NPK Kgs	Densidad Ha.	Cantidad Kgs.	Semillas Kgs.	Costos Lps./kg	Total Lps.	Costos Lps./kg	Semillas Lps.	Costos Lps.	Volumen Producido Kg/ha.	Costos trans- porte.	Costos Procesar- miento.	Total Costos Variables	Costos Fijos.	Costos Totales	Ingresos Lps.	Beneficios Lps.
0-0-0	192000	8.55	6.30	54.59	0	4622.04	32.26	164.91	371.02	751.31	1023.13	1723.94	705.81	412.44	705.81	705.81
120-40-0	206000	9.10	6.30	58.57	257.59	4709.19	32.96	188.37	547.49	751.31	1230.80	1761.24	412.44	247.35	247.35	247.35
240-80-0	219000	9.76	6.30	62.27	535.25	4681.29	34.17	195.25	826.54	751.31	1570.25	2053.11	-96.47	2053.11	2053.11	-96.47
460-160-0	246000	10.96	6.30	69.92	1070.33	5489.59	38.43	219.50	1398.27	751.31	2149.50	2053.11	-96.47	2053.11	2053.11	-96.47