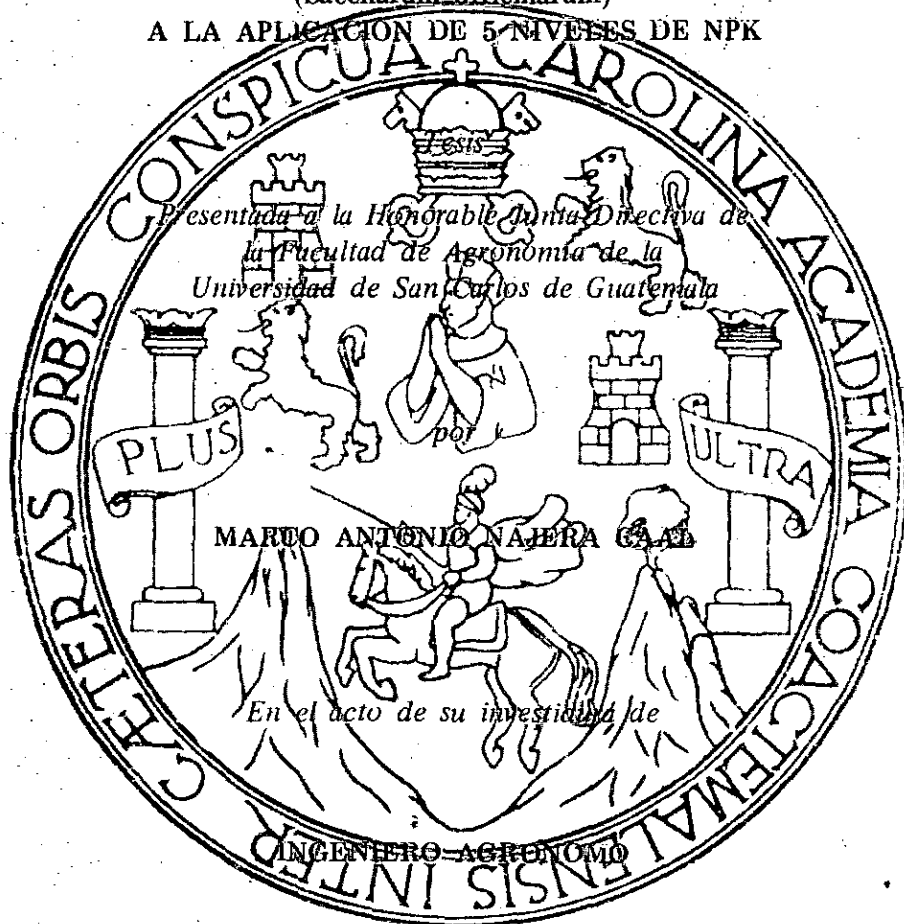


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RESPUESTA DE LA CAÑA DE AZÚCAR
(*Saccharum officinarum*)
A LA APLICACIÓN DE 5 NIVELES DE NPK



Guatemala, Abril de 1978

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. Roberto Valdeavellano Pinot

**JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

Decano en funciones:	Ing. Agr. Rodolfo Estrada G.
Vocal 2o.:	Dr. Antonio Sandoval S.
Vocal 3o.:	Ing. Agr. Sergio Mollinedo B.
Vocal 4o.:	Br. Juan Miguel Irías
Vocal 5o.:	P.A. Giovanni Reyes
Secretario:	Ing. Agr. Leonel Coronado C.

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

Decano en funciones:	Ing. Agr. Rodolfo Estrada G.
Examinador:	Dr. Antonio Sandoval
Examinador:	Ing. Agr. Carlos H. Aguirre
Examinador:	Ing. Agr. Nehemías Monterroso
Secretario:	Ing. Agr. Leonel Coronado C.

**HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con lo establecido por la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración mi trabajo de tesis titulado:

**RESPUESTA DE LA CAÑA DE AZUCAR
(Saccharum officinarum)
A LA APLICACION DE 5 NIVELES DE NPK**

Al presentarlo como requisito previo para optar al título de INGENIERO AGRONOMO en el grado de LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS, esperando merezca vuestra aprobación.

Atentamente,

Marco Antonio Nájera Caal

Guatemala, 27 de Marzo de 1978

Señor Decano
Facultad de Agronomía
Ing. Agr. Rodolfo Estrada Gonzalez
Presente.

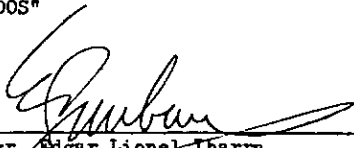
Señor Decano:

Atentamente me permito manifestar a usted que he tenido bajo consideración el trabajo de Tesis desarrollado por el Perito Agrónomo Marco Antonio Nájera Caal, titulado: EXPLORACION DE LA RESPUESTA DE LA CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) A LA APLICACION DE 5 NIVELES DE NPK, el cual estimo satisface los requisitos establecidos para el efecto.

Sin otro particular, con las muestras de mi mas alta deferencia, me suscribo del Sr. Decano;

atento y S.S

" ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Agr. Edgar Lionel Ibarra
Asesor.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia.....
Asunto.....

Guatemala, 28 de marzo de 1978.

Señor Decano de la
Facultad de Agronomía
Ing. Agr. Rodolfo Estrada G.
PRESENTE.

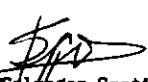
Señor Decano:

Atendiendo a la designación que me hiciera la Decanatura de la Facultad de Agronomía; atentamente me permito comunicar a usted, que he asesorado el trabajo de tesis del Perito Agrónomo MARCO ANTONIO NAJERA CAAL, titulado: "EXPLORACION DE LA RESPUESTA DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) A LA APLICACION DE 5 NIVELES DE N-P-K.-

Al considerar que el Sr. Najera Caal, ha cumplido con todos los requisitos, recomiendo le sea aprobada dicho trabajo de tesis el cual tendrá que defender en su Examen General Público .-

Sin otro particular, me es grato suscribirme del Sr. Decano con altas muestras de consideración y aprecio.-

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"


Ing. Agr. Salvador Castillo O.
Director Depto. de Edafología
ASESOR

SCO/mldec.



DEDICO ESTA TESIS

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

AL INSTITUTO TECNICO DE AGRICULTURA

ACTO QUE DEDICO

A MIS PADRES:

*Cristóbal Raúl Nájera N.
Herlinda C. de Nájera*

A MIS HERMANOS:

*Cristóbal Fernando
Eugenia Elizabeth
Sonia Beatriz
Nancy Dinora*

A MIS SOBRINAS:

*Caroll Iveth
Sonia Janeth*

A LA FAMILIA:

Letona Simmons

A MI ESPOSA:

Carmen Ofelia Letona Simmons

A MIS AMIGOS

AGRADECIMIENTO

A los Ingenieros, Edgar Lionel Ibarra y Salvador Castillo Orellana, por su valiosa orientación y revisión del trabajo.

A la Compañía Fertica, en especial a los señores profesionales Jorge Luis Juárez y Ramón Escobar, por su valiosa colaboración en la dirección técnica de los experimentos.

A los Ingenios "El Salto" y "Pantaleón" por haber proporcionado la ayuda material para el establecimiento y mantenimiento de los Lotes Experimentales.

A la Señorita Miriam García por su oportuna colaboración.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
III. MATERIALES Y METODOS	9
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	17
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
VI. BIBLIOGRAFIA	75

I INTRODUCCION

La situación actual por la que atravieza el cultivo de la caña de azúcar en Guatemala es bastante precaria. Sus causas, el alto costo de producción y el bajo precio que ha alcanzado el producto en el mercado internacional agravadas por las políticas proteccionistas de los países importadores de azúcar.

Esta situación, producto del juego económico de la oferta y la demanda se da dentro de un ciclo de alzas y bajas, el cual ocurre con una frecuencia variable. Así, en el año de 1975 la caña de azúcar alcanzó un precio promedio de Q.18.00/Ton.; sin embargo a finales del año 1977 bajó a Q.8.50/Ton. en promedio. Lo anterior es índice, que a la fecha estamos en la fase de "bajas." Esto nos hace pensar en el gran riesgo que se corre con la empresa del cultivo de la caña de azúcar si el agricultor no especializa sus prácticas de cultivo; tal el caso de la utilización racional y efectiva de los fertilizantes, en especial de aquellos que contienen los elementos mayores, Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

Se ha comprobado que en la mayoría de regiones cañeras del país, se tiene una media de producción muy baja por unidad de área. Una de las causas que determinan tal resultado, lo constituye la carencia de una formulación balanceada de los elementos nutricionales más importantes para el desarrollo normal de la planta.

Tales situaciones proporcionaron los argumentos necesarios para llevar a cabo ésta investigación, la cual surgió como una inquietud de la empresa comercial "FERTICA" y de la Facultad de Agronomía, quienes brindaron la ayuda económica, material, técnica y científica para sacar adelante dicho trabajo.

OBJETIVOS GENERALES:

Explorar la respuesta de la caña de azúcar a 5 niveles de

NPK. Dichos niveles estan cuantificados en escala inferior y superior a las dosis que empiricamente se han recomendado para este cultivo. La respuesta se medirá en términos de tonelaje de caña y rendimiento en azúcar, bajo otras condiciones como variedad y métodos de siembra que son los más usados en la región:

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- a. Conocer las funciones de respuesta con las cuales es posible estimar niveles económicos para la aplicación de NPK.
- b. Comparar las respuestas de campo con las recomendaciones basadas en un análisis previo de suelos.

II REVISION DE LITERATURA

La caña de azúcar es una planta que tiene la característica de ser una de las mejores captadoras de energía y una de las mejores transformadoras de carbohidratos en azúcares. Esta doble característica determina una alta utilización de nutrientes por la planta; en especial de los elementos primarios.

Según Humbert (2) una tonelada de caña moledera, contiene (de acuerdo con su ciclo) de 0.46 a 0.64 Kgs. de Nitrógeno; de 0.18 a 0.87 Kgs. de Fósforo y 2.5 Kgs. de Potasio.

Sin embargo, las exigencias que tiene el cultivo con respecto al suelo no son especiales afirma Uexkül (4); aunque el mayor desarrollo se experimenta en suelos fértiles profundos y permeables. En lo que a pH se refiere, esta planta no determina un punto óptimo. Según Humbert (2), en experimentos realizados en Hawai se obtuvieron excelentes cosechas en suelos cuya reacción era de 4.5, en tanto que en Puerto Rico, la caña de azúcar desarrolla con éxito en un pH de 7 a 8.3; aunque Khana, citado por el mismo autor, en sus estudios en la India encontró que las raíces de la caña crecen con normalidad dentro de un pH de 6.1 a 7.7.

Jacobs y Uexkül (4), precisaron, que una cosecha de 50 toneladas de caña, extrae del suelo 34 kgs. de N; 23 Kgs de p_{205} y 68 kgs de k_{20} . Trabajos realizados en el Instituto Agronómico de Campinas, Brasil (7), comprobaron que 100 toneladas de caña/Ha, extraen del suelo, 105 kgs de N, 16 kgs de p_{205} y 96 kgs de k_{20} . Courey (1964) citado por De Geus (7) indica que en un experimento en Tucumán, Argentina, 75 toneladas de caña/Ha, removieron del suelo, 168 kgs de N; 70 kgs de P_{205} y 336 kgs de k_{20} . Samuels, citado por el mismo autor, indica de trabajos realizados en Puerto Rico, donde se obtuvo que una tonelada de caña, requiere 3 libras de N, y que

una tonelada de azúcar necesita 23 libras de Nitrógeno.

Es muy importante aclarar, afirman Tisdale y Nelson (3), que la cantidad de nutrientes que la planta absorbe, nos indica en parte las cantidades de fertilizante que debemos aplicar al suelo. Sin embargo, es necesario considerar las pérdidas por lavado, la fijación por el suelo en formas no asimilables de ciertos elementos y otros.

Según Ayres, citado por Humbert (2) la absorción de nutrientes es más elevada entre los 3 y los 6 meses de edad, con una nivelación de la absorción de Nitrógeno a las 12 meses, y el Potasio continúa absorbiéndose.

Jacobs y Uexkül (4) indican, que entre los tres elementos primarios, el Nitrógeno tiene la primacía y que un balance con fósforo y Potasio previene los indeseables efectos secundarios de una elevada aplicación unilateral de Nitrógeno.

El cultivo de la caña es ávido en Nitrógeno; sin embargo, se ha observado respuesta significativa para el Fósforo y el Potasio.

Ullivari (20) comparando cultivos con aplicación de Nitrógeno sólo, contra aplicaciones de NPK, observó mayores rendimientos en éstos últimos, tanto en peso de caña como de azúcar.

La respuesta del Nitrógeno es baja o nula, cuando los niveles de P_2O_5 y K_2O en el suelo cultivado son bajos, afirma Demetrio, citado por De Geus (7).

En Guatemala, Benitez (19) trabajando con 5 niveles de Nitrógeno en la serie de suelos Torolita y en la variedad B 37-172, obtuvo rendimientos medios de hasta 192 lbs de azúcar/ton de caña, bajo aplicaciones de 200 kgs/Ha de Nitrógeno, con una dosis baja de Fósforo de 120 kgs/Ha.

Matheu (5) trabajando en condiciones de la Finca "Sabana Grande" (Guatemala), con la variedad B 37-172 bajo aplicaciones de NPK en niveles de 0-100-200 kgs/Ha de Nitrógeno; 0-50-100 kgs de P_2O_5 y 0-50-100 kgs/Ha de K_2O , encontró respuesta lineal a la aplicación de nitrógeno.

En Costa Rica, Ramírez (9) informa sobre la influencia del fósforo sobre el Nitrógeno, cuando se trata de suelos pobres en nitrógeno, a medida que sube la concentración del fósforo, el Nitrógeno es mayormente absorbido. Sin embargo, dicha reacción es reversible, cuando el fósforo es sobredosificado.

Matheu (5) en sus trabajos de fertilización realizados en la Finca "Sabana Grande" nos informa que el fósforo aumentó el peso de caña, pero no llegó a ser significativo al nivel de 50/o de probabilidad.

Loscin et. al. citados por Humbert (2) informan de experimentos en Filipinas, cuando el nivel de Potasio intercambiable en el suelo fue menor de 95 ppm hubo respuesta significativa a la aplicación de éste elemento, lo cual no ocurrió cuando los niveles estaban arriba de 120 ppm. El mismo autor nos informa de un experimento en trigo en suelos con diferentes niveles de Potasio intercambiable en ellos. El mayor incremento de la producción se obtuvo en un suelo con 50 ppm de K_2O ; a partir de ese valor el rendimiento comenzó a decrecer conforme aumentaba el nivel de K_2O intercambiable en el suelo. Obtuvo diferencias significativas entre niveles de 50-200 ppm. Continúa diciendo el mismo autor que las continuas aplicaciones de k, no sólo disminuyen el poder de fijación de éste elemento, sino que también producen un aumento en el nivel de éste elemento, con repercusión en las cosechas. Afirma dicho investigador, que así como el fósforo o cualquier otro elemento, un aumento en el nivel de k intercambiable en el suelo, disminuye la respuesta de las cosechas obtenidas para futuras aplicaciones de éste elemento.

Según Tisdale y Nelson (3) basados en el principio "del mínimo de Liebig" indican que existe una estrecha relación entre

los elementos NPK, a tal punto que la aplicación de un elemento ocasiona cambios en la relación de concentración de los otros elementos. Por ejemplo, cuando tanto el Nitrógeno como el Potasio se aproximan al nivel crítico, las aplicaciones de uno sin el otro, ocasionan una caída significativa en el nivel relativo del otro; terminan diciendo que es necesario aplicar ambos en suficiente cantidad a fin de mantener niveles óptimos para que el crecimiento continúe.

Ramírez (9) en trabajos realizados en la Universidad de Costa Rica, encontró que al usar varios niveles de superfosfato (233.5 a 942 kg/Ha) los mejores resultados obtenidos en cuanto a tonelaje de caña de azúcar se refiere, fue la dosis mínima usada de 233.5 kgs de P_2O_5 /Ha.

Bedsole y Breggard T. (25) indican que las altas aplicaciones de Fósforo, con respecto al Nitrógeno y al Potasio, pueden producir una depresión del rendimiento.

Reyes Cano (12) en México, trabajando con niveles de 0-100-150 Kgs. de N y 0-100-200 Kgs de K_2O /Ha en lotes factoriales, obtuvo respuesta para Nitrógeno y Potasio individuales; así como la interacción NK en lo que a peso de caña se refiere.

Indica el mismo autor que la respuesta del Nitrógeno obedecía a las aplicaciones conjuntas de Potasio y los resultados a veces descendían, pero en ausencia de dicho elemento volvía a ser mayor cuanto mayor fuera la dosis aplicada.

Al respecto nos informa Matheu (5) que en sus experimentos factoriales de fertilización, aunque no se obtuvo diferencia significativa para la interacción NK, se notó que en ausencia de Nitrógeno, el Potasio no aumentó el peso.

Según Hank y Dickinson (23) la presencia de Potasio hace posible la formación de azúcar de los compuestos carbohidratados de alto peso molecular y su deficiencia altera la actividad de la

invertasa, Diastasa y Peptasa. Al respecto informa Humbert (2) que la conversión de azúcares reductores a sacarosa antes de la época de la cosecha se cree que sea una cuestión del balance entre el Nitrógeno y el Potasio. El mismo autor cita los resultados de un experimento de caña de azúcar con aplicaciones de NPK en función del rendimiento en azúcar; al comparar los rendimientos obtenidos con formulaciones 300-300-300 Kgs de NPK/Ha y 0-300-300 Kgs de NPK/Ha, observó que el rendimiento obtenido con la primera fórmula, excedía en 4.7 ton/Ha a la segunda.

En lo que respecta a niveles óptimos de aplicación de NPK, Jacobs y Uexkül (4), ponen de manifiesto una marcada relación entre los tres elementos, al observar que los niveles óptimos medios de muchas regiones cañeras del mundo oscilan entre 45 y 500 Kgs. de Nitrógeno/Ha; para el Fósforo entre 45 y 112 Kgs/Ha de P_2O_5 y para el Potasio entre 112 y 225 Kgs/Ha. Los mismos investigadores llegan a la conclusión de que la relación usual de NPK/Ha es de 3:2:3;4.

Según la II Convención de Técnicos azucareros de México (12), la fertilización ideal sería aquella en la cual el cultivo de la caña de azúcar encontrara las siguientes cantidades/Ha: 300 Kgs de N, 200 Kgs de P_2O_5 y 300 Kgs. de K_2O .

En la práctica difícilmente encontraremos niveles ideales de cada elemento, a excepción quizá, del elemento Potasio, que según muchos análisis de suelos realizados en varios suelos de la Costa Sur de Guatemala y corroborados por Simmons et al (22), presentan cantidades suficientes de éste elemento.

En general se puede asegurar que la mayoría de suelos no reúnen las condiciones ideales de NPK necesarias para el desarrollo, especialmente aquellas áreas donde por varios años se ha cultivado sin descanso caña de azúcar. De ahí la importancia que representan los análisis periódicos de suelos, ya que este cultivo es uno de los que mas agotan los nutrientes del suelo. Es importante aclarar que los análisis de suelos son meramente

indicadores de la cantidad de nutrientes existentes en una muestra; siendo los análisis foliares, para este caso los mas confiables, dado que proporcionan respuestas reales de los nutrientes constitutivos.

En Guatemala, Paniagua (10) trabajando con distancias de siembra y fertilización en la variedad B 37-172 y en la Serie de Suelos Palín, recomienda de acuerdo a sus resultados, la utilización de una fórmula 12-24-12 de NPK en cantidades de 10.5 qq/Mz.

Con respecto a éstas formulaciones, Anderson (1) indica que los resultados de experimentos de fertilización, en especial de los trabajados de acuerdo a su función de respuesta (tal el caso del diseño aquí usado), pueden arrojar una luz sobre los mecanismos básicos del suelo, sin embargo, estos resultados no pueden ser generalizados para regiones ajenas a la que sirvió de base al experimento. Aún así estos datos nos dan una idea de los requerimientos mínimos de éstos elementos para el cultivo de la caña de azúcar.

III MATERIALES Y METODOS

1. DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL:

Se condujeron dos experimentos con niveles de NPK en dos regiones cañeras, representativas de este renglón en el país. Son ellas la Finca "El Salto" y la Finca "Pantaleón".

FINCA "EL SALTO":

Está ubicada en el municipio de Escuintla, departamento de Escuintla, a una altura de 396 Mts. S.N.M. Localizada a una longitud oeste de $90^{\circ} 48' 00''$ y a una latitud norte de $14^{\circ} 19' 00''$.

El clima es cálido húmedo con una temperatura media de 24°C ., con una precipitación anual media de 2,500 mm/año, distribuidos en los meses de marzo a Octubre. Según Holdrige (6) el área ecológica corresponde a la zona de vida subtropical muy húmeda. Los suelos corresponden a la serie Torolita, según Simmons et al (22); suelos de declive moderado de color café rojizo muy oscuro, bien drenados, profundos, franco arcillosos friables y ricos en materia orgánica (60/o). La estructura del perfil es granular.

FINCA "PANTALEON":

Está localizada en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa del departamento de Escuintla, a una altura de 280 Mts. S.N.M. A una latitud norte de $14^{\circ} 91' 00''$ y a una longitud oeste de $91^{\circ} 03' 00''$. Según Holdrige (6) corresponde a la zona de vida Subtropical muy húmeda, con una temperatura media de 25°C y una humedad relativa de 89o/o. La precipitación pluvial media es de 3611 mm/año, distribuidos en los meses de marzo a noviembre.

Según Simmons et al (22) los suelos corresponden a la serie Guacalate con pendientes de 2 a 30/o; con drenaje moderado a través del suelo; la fertilidad natural alta, con una capa de ceniza volcánica de 50 cms. Suelos de color café muy oscuro, textura franco friable.

Los resultados de analisis de suelos de los lugares donde se condujeron los ensayos, se muestran en los siguientes cuadros:

CUADRO No. 1

ANALISIS QUIMICO DE SUELOS DE LA
FINCA "EL SALTO"

pH	ppm			Meq/100 ml suelo	
	N	P	K	Ca	Mg
6.4	16	1.5	220	10.00	3.0
6.3	16	2.0	225	11.20	3.30

Datos obtenidos en el laboratorio de suelos del ICTA del Sector P. A.

CUADRO No. 2

ANALISIS QUIMICO DE LOS SUELOS DE LA
FINCA "PANTALEON"

ph	ppm			Meq/100 ml. suelo	
	N	P	K	Ca	Mg.
5.8	16	1.0	120	7.60	2.45
5.9	14	1.0	125	7.80	2.50

Datos obtenidos en el Laboratorio de Suelos del "ICTA"
Sector Público Agrícola.

2. DESCRIPCION DEL EXPERIMENTO:

El experimento se utilizará para evaluar la respuesta de la caña de azúcar a distintas combinaciones de NPK, las cuales se muestran en el cuadro número 3.

Los tratamientos fueron distribuidos mediante el diseño de Bloques al Azar con dos repeticiones, haciendo un total de 36 observaciones.

Las parcelas experimentales están constituidas por siete surcos de 10 metros de largo cada uno, espaciados a 1.5 mts. entre sí. Entre parcelas contiguas se dejó un surco muerto. Todas las parcelas remataron en calles de 2 metros de ancho. La parcela neta está constituida por los tres surcos centrales con una área de 45 Mts. cuadrados.

La semilla utilizada en cada experimento provino de plantaciones de 6 meses de edad. En la Finca "El Salto" se utilizó la variedad Barbados 37-172, utilizando el sistema de hileras simples con traslapé en surcos sencillos espaciados a 1.5 metros.

En la Finca "Pantaleón" se utilizó la variedad Barbados 43-62, utilizando también el sistema de hilera simple con traslapé en surcos sencillos espaciados a 1.5 Mts.

Las fuentes fertilizantes utilizadas fueron:

Nitrógeno:	Nitrato de Amonio (33.5o/o de N)
Fósforo:	Triple Superfosfato de Calcio (46o/o de P_2O_5)
Potasio:	Muriato de Potasio (61o/o de K_2O)

Los niveles utilizados para cada elemento con los 18 tratamientos fueron:

Nitrógeno:	0-60-120-180-240 Kg/Ha
Fósforo:	0-60-120-180-240 Kg/Ha
Potasio:	0-60-120-180-240 Kg/Ha

Las dosis totales de Nitrógeno se dividieron por la mitad. La primera se aplicó junto con el total de Fósforo y Potasio a la hora de la siembra.

La otra mitad de la dosis de Nitrógeno se aplicó a los 30 días de plantado el experimento. La primera dosis se aplicó en el fondo del surco y separado de la semilla por una capa de tierra. La segunda dosis de Nitrógeno se aplicó en bandas laterales a los surcos.

En ambos experimentos se desinfectó el suelo, usando para el caso los compuestos comerciales Heptacloro y una mezcla de 2, 4 D amina y Karmex.

En lo que concierne a control fitosanitario durante el cultivo, solamente en el experimento de la Finca "El Salto" se hizo necesario controlar el pulgón (*Sipha flava* F.) para lo cual se utilizó el compuesto comercial Metasistox.

Durante la temporada seca (Noviembre-Marzo) se aplicó riego no regularizado en ambas plantaciones. El experimento de la Finca "El Salto" recibió cuatro riegos en total y el de la Finca "Pantaleón" un total de dos riegos.

3. DESCRIPCION DEL METODO DE ANALISIS ESTADISTICO:

a. Análisis de Varianza.

Se utilizó el análisis de varianza para bloques al azar con dos repeticiones.

b. Pruebas de Significancia.

Los datos para cada uno de los tratamientos se sometieron al análisis de varianza (Prueba de F). Se determinaron los errores y los coeficientes de regresión así como cada una de las medias de las variables estudiadas, a fin de poder efectuar

comparaciones. Para ello se recurrió a la estimación de la superficie de respuesta del diseño Sabana Grande, el cual corresponde a una ecuación polinómica de la forma:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1^2 + b_5X_2^2 + b_6X_3^2 + b_7X_1X_2 + b_8X_1X_3 + b_9X_2X_3$$

Donde "Y" es la variable que se estima, X_1 , X_2 , X_3 , son los niveles codificados de NPK. Los coeficientes de b_0 , b_1 ... b_9 , son constantes que se estimaron de la matriz de observaciones mediante el método de Mínimos Cuadrados. Para estimar los valores de los coeficientes se elaboró una tabla especial de inversión de matrices Gaus-Jordán, mediante la computadora IBM 1620 de la Universidad de San Carlos. También se probó si cada uno de los coeficientes b , eran estadísticamente diferentes de cero (Prueba de T); esto permite establecer la significancia estadística de los efectos lineales, cuadráticos, e interacciones.

c. Determinación de niveles máximos.

Se procedió a la estimación analítica de los niveles óptimos que maximizan la producción. Para el efecto se calculó la primera derivada de la función de respuesta en relación a cada una de las variables (derivadas parciales). Se igualaron a cero y se obtuvieron sistemas de ecuaciones. Cada sistema de ecuaciones se operó por medio de cálculo matricial para obtener el valor de cada una de las incógnitas (N , P_{205} K_{20}).

4. ANALISIS ECONOMICO:

Se consideró oportuno realizar un análisis de rentabilidad, en vista de que el trabajo coincidió con una época crítica para el cultivo de la caña de azúcar, en la cual el precio del producto bajó enormemente (un 660/o del 1975 a la fecha). Dicho análisis sirvió de marco de referencia para compararlo con la época de alzas que ocurren dentro de un período de tiempo variable.

Para el efecto se determinó el punto de Equilibrio económico de los 18 tratamientos, mediante el análisis de punto

de equilibrio, utilizando la igualdad $PE = \frac{GF}{1-GV/Ing.}$

Donde GF = Gastos Fijos, GV corresponde a Gastos Variables (ambos constituyen los costos totales) e Ing=ingresos. Asimismo se determinó el rendimiento mínimo que cubre todos los gastos por tratamiento y la Utilidad mediante la diferencia entre ingresos menos Costos Totales.

Al final se obtuvo la Rentabilidad a partir de la relación entre: Utilidad/Costo total.

En el cuadro No. 16 vienen resumidos los Costos Fijos en que se incurrió. En lo que respecta a Costos Variables, se consideró el precio de fertilizante así: Nitrato de amonio a Q.0.18 el Kg; Triple superfosfato de calcio a Q.0.17 el Kg. y el Muriato de Potasio a Q.0.16 el Kg., por la aplicación se consideró un precio de 1.12 quetzales/46 Kg. (1 qq).

En lo que respecta a corte y alzado se estimó un precio promedio de Q.1.75/Ton. met., mientras que para el acarreo se consideró un precio de Q.1.90/Ton met.

Es importante señalar que los precios aquí utilizados están actualizados hasta Enero de 1978.

CUADRO No. 3.
DISEÑO "SABANA GRANDE" DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

	Tratamientos: Código.	N Kg Por N	Ha de P	NPK K
1)	1 1 1	180	180	180
2)	1 1 -1	180	180	60
3)	1 -1 1	180	60	180
4)	1 -1 -1	180	60	60
5)	-1 1 1	60	180	180
6)	-1 1 -1	60	180	60
7)	-1 -1 1	60	60	180
8)	-1 -1 -1	60	60	60
9)	0 0 0	120	120	120
10)	2 0 0	240	120	120
11)	-2 0 0	0	120	120
12)	0 2 0	120	240	120
13)	0 -2 0	120	0	120
14)	0 0 2	120	120	240
15)	0 0 -2	120	120	0
16)	1 0 0	180	120	120
17)	0 1 0	120	180	120
18)	0 0 1	120	120	180

IV RESULTADOS Y DISCUSION

1. ANALISIS DE LOS TRATAMIENTOS:

En forma sintetizada se indican en los cuadros 4, 7, 10 y 13, los valores medios de cada uno de los 18 tratamientos de las características estudiadas.

El cuadro número 4 resume los rendimientos medios en peso de caña de la Finca "El Salto". Según su análisis de varianza (Cuadro No. 5) existe diferencia significativa entre tratamientos al 0.05 de probabilidad.

En general podemos observar que los rendimientos mas altos están asociados con niveles bajos de Potasio. Así, el rendimiento más alto se obtuvo con una formulación de $N_3P_3K_1$, mientras que el rendimiento más bajo se obtuvo con una relación de $N_2P_2K_3$. Un análisis más profundo del cuadro nos indica que los rendimientos mas bajos están asociados con bajos y medios niveles de N y P y altos niveles de Potasio. El fósforo aparece asociado a los mejores rendimientos en niveles bajos.

Asimismo es importante señalar que el tratamiento en el que se utilizan niveles bajos para los tres elementos, se obtiene un rendimiento que se asemeja a los más altos obtenidos en este experimento. Así el tratamiento que contiene la relación $N_1P_1K_1$, produjo un rendimiento de 227 tons. met./Ha.

En el cuadro número 10, podemos observar los resultados del rendimiento en peso de caña de la Finca Pantaleón. Según su análisis de varianza (cuadro No. 11), no existe diferencia significativa entre tratamientos, aunque si la hay entre repeticiones; por lo que todos los tratamientos pueden considerarse estadísticamente similares; aun así, se notan diferencias de campo entre algunos resultados.

En general, los rendimientos más altos están asociados con niveles medios y bajos de Potasio. El mayor rendimiento obtenido está relacionado con niveles altos y medios de Nitrógeno y Fósforo respectivamente.

Al comparar los resultados de ambos experimentos, observamos que los rendimientos de la Finca "El Salto", superan a los de la Finca "Pantaleón". Incluso, el más alto rendimiento de la Finca "Pantaleón" no supera al más bajo obtenido en la Finca "El Salto". Es importante hacer notar que en la Finca "El Salto" se utilizó la variedad B 37-172 y se cosechó a los 18 meses, mientras que en la Finca "Pantaleón" se usó la variedad B 43-62 y se cosechó a los 12 meses. Lo cual explica en parte las diferencias entre ambos experimentos.

En lo que respecta al rendimiento en azúcar, ninguno de los dos experimentos mostró diferencia significativa entre tratamientos. Sin embargo el experimentos de la Finca "El Salto", mostró alta diferencia significativa entre repeticiones.

Al analizar los cuadros 7 y 13, observamos que hubo bastante diferencia de campo entre ambos experimentos; reportando la Finca "El Salto", los mayores rendimientos. Esto se relaciona con la diferencia entre variedades y el tiempo de cosecha, lo cual explica en parte su comportamiento.

Según el cuadro No. 7 que resume los resultados del rendimiento en azúcar de la Finca "El Salto", observamos que el rendimiento más alto (85 Kgs/Ton met.) está relacionado con una formulación $N_4P_2K_2$, mientras que el rendimiento más bajo está relacionado con una formulación $N_2P_2K_4$.

En general se observa que cuando el nivel de Potasio es más elevado que el de Nitrógeno y Fósforo, los rendimientos tienden a ser menores que los obtenidos con otras formulaciones. Esta misma situación se observó con el rendimiento en peso de caña (Cuadro No. 4).

Al analizar el cuadro No. 13 del rendimiento en azúcar de la Finca "Pantaleón" observamos que el rendimiento más alto coincide con aplicaciones medias de Nitrógeno y Fósforo y aplicaciones bajas de Potasio.

En general el fósforo aparece asociado con niveles de 120 y 180 kg/Ha en los rendimientos más altos.

2. ANALISIS DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA:

a. Proyecto I (Finca El Salto)

De acuerdo con los cuadros 6 y 9 que muestran las funciones de respuesta, y tomando en consideración los coeficientes estadísticamente significativos, se discuten los efectos producidos por la aplicación de fertilizantes.

Efectos Lineales:

De acuerdo con el Cuadro de Regresión (No. 6), observamos que tanto el Nitrógeno como el Fósforo no tuvieron efecto lineal significativo sobre la producción de tonelaje de caña. En general la respuesta del Nitrógeno fue más alta que la del Fósforo. Según las gráficas No. 2 y No. 3, las mejores producciones en peso de caña se obtuvieron con alto Nitrógeno y Fósforo bajo.

El análisis de Regresión (Cuadro No. 6) indica que el Nitrógeno alcanzó un valor que se acerca al umbral de significancia al 0.05 de probabilidad. La respuesta del Fósforo indica que éste elemento tuvo muy poca influencia en el rendimiento. Esto hasta cierto punto es contradictorio a los análisis de suelos, los cuales indican que tanto el Nitrógeno como el Fósforo disponibles en el suelo son bajos.

Para el Potasio, el cuadro No. 6 indica que tuvo un efecto lineal significativo sobre la producción. Su efecto es

negativo, es decir, que según la función de respuesta, este elemento no fue utilizado, o si lo hizo fue en cantidades muy bajas.

Según la Gráfica No. 1, se observa que la producción decrece a medida que aumentan los niveles de aplicación de K. Esta misma gráfica pone de relieve una relación con el Nitrógeno, observándose que los rendimientos tienden a mejorar en los niveles de aplicación donde el N supera a los niveles de aplicación del K.

En general se observa que los mejores resultados se obtienen con niveles bajos de Fósforo y Potasio.

Efectos Cuadráticos:

Ningún valor cuadrático se manifestó significativo al nivel de probabilidad determinado. Sin embargo, el comportamiento del N cuadrático se acerca al umbral de significancia al 0.05 de probabilidad, lo cual indica que a niveles altos de aplicación de Nitrógeno hay un efecto positivo en el rendimiento.

Interacciones:

Ninguna de las interacciones tiene significancia estadística (Cuadro No. 3), sin embargo sus valores son altos, y en el caso de la interacción NP, se acerca al umbral de significancia al 0.05 de probabilidad.

Del análisis de la gráfica No. 3, observamos que los mejores resultados están asociados con Nitrógeno alto y Fósforo medio y bajo. Esto coincide con las observaciones de Ramírez (9) quien encontró significancia a la relación NP en sus trabajos factoriales de fertilización. Indica dicho investigador que el Fósforo tiene efecto sobre el Nitrógeno. A medida que sube la concentración de Fósforo, el Nitrógeno es mayormente absorbido. Sin embargo dicha reacción es reversible cuando el Fósforo es sobredosificado.

El efecto de la interacción PK tiene un coeficiente altamente negativo, lo cual viene a corroborar que en lo que a estos dos elementos se refiere, el suelo manifestó poca o ninguna utilización de ellos.

Al efectuar el cálculo analítico de la dosis óptima que maximiza la producción, se obtuvieron los siguientes valores: para el Nitrógeno de 142 Kg./Ha.; para el Fósforo 62 Kg./Ha. y para el Potasio 134 Kg./Ha. Es importante hacer notar que dichos valores maximizan la producción, pero no representan los niveles más económicos de aplicación de estos elementos. El análisis no se continuó, por considerarse que algunas de las respuestas obtenidas no representaron lo que realmente ocurrió en el suelo. Por tanto creo conveniente sugerir, continuar con la investigación, tendiente a obtener un nivel óptimo económico, tomando en consideración los presentes resultados.

En lo que respecta al rendimiento en azúcar, en el cuadro de regresión (Cuadro No. 9) observamos que no existe efecto lineal significativo para ninguno de los tres elementos. Sus valores son tan pequeños que son considerados estadísticamente inferiores a cero y por tanto aducimos que no hubo efecto lineal sobre el rendimiento.

Para el caso de los efectos cuadráticos, el cuadro No. 9 nos indica de un efecto significativo del Potasio cuadrático. Sin embargo esto no es consecuente con las respuestas normales de los diseños factoriales, ya que un efecto cuadrático, presupone un efecto lineal, puesto que la primera porción de toda función cuadrática es casi lineal.

En lo que a interacciones se refiere, el cuadro de regresión no reporta efectos significativos.

De acuerdo a su función de respuesta, la dosis óptima que maximiza la producción coincide con: 101 Kg./Ha. de Nitrógeno; 112 Kg./Ha. de Fósforo y 105 Kg./Ha. de Potasio. Sin embargo es de hacer notar que estos resultados no representan los niveles óptimos económicos de aplicación de estos nutrientes.

CUADRO No. 4
OBSERVACIONES DE CAMPO
VALORES MEDIOS DE LA CARACTERISTICA QUE SE INDICA
FINCA EL SALTO

No de Tratamiento	CODIGO	Rendimiento en peso de caña... Tons. Met./Ha
1	1 1 1	188
2	1 1-1	233
3	1-1 1	208
4	1-1-1	209
5	-1 1 1	186
6	-1 1-1	204
7	-1-1 1	203
8	-1-1-1	227
9	0 0 0	215
10	2 0 0	209
11	-2 0 0	200
12	0 2 0	211
13	0-2 0	185
14	0 0 2	205
15	0 0-2	190
16	1 0 0	211
17	0 1 0	185
18	0 0 1	168
$\bar{X}$ General		202

CUADRO No. 5
ANALISIS DEL RENDIMIENTO EN TONS. MET. DE CAÑA/Ha.
FINCA EL SALTO

Fuente de Variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	35	11,146.5	318.47	
Tratamientos	17	8,863.3	521.37	4.01 (*)
Repeticiones	1	76.2	76.20	0.58 (NS)
Error Experimental	17	2,207.0	129.82	

(*)Significativo al 0.05 de probabilidad.

(NS) No significativo

CUADRO NO. 6

SUPERFICIE DE RESPUESTA "FINCA EL SALTO"

COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES DE RESPUESTA SOBRE LA

CARACTERISTICA QUE SE INDICA

FUENTE	RENDIMIENTO EN PESO DE CAÑA	
	COEFICIENTE	D
Intercepción	201.17	- - - -
N	2.52	+ - 3.99
P	0.09	+ - 3.99
K	-5.37	+ - 3.99
N ²	2.69	+ - 3.97
p ²	0.46	+ - 3.97
K ²	-0.90	+ - 3.97
NP	5.49	+ - 5.79
NK	3.50	+ - 5.79
PK	-4.74	+ - 5.79

Los valores mayores a los valores "D", son estadísticamente diferentes de cero al 0.05 de probabilidad.

$$\bar{Y} = b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1^2 + b_5 x_2^2 + b_6 x_3^2 + b_7 x_1 x_2 + b_8 x_1 x_3 + b_9 x_2 x_3$$

CUADRO No. 7

OBSERVACIONES DE CAMPO
VALORES MEDIOS DE LA CARACTERISTICA QUE SE INDICA
FINCA EL SALTO

No. Tratamiento	Código	Rendimiento en Azúcar Kgs./Ton.Met.
1	1 1 1	76
2	1 1-1	77
3	1-1 1	78
4	1-1-1	80
5	-1 1 1	77
6	-1 1-1	78
7	-1-1 1	77
8	-1-1-1	82
9	0 0 0	75
10	2 0 0	85
11	-2 0 0	81
12	0 2 0	77
13	0-2 0	74
14	0 0 2	68
15	0 0-2	72
16	1 0 0	83
17	0 1 0	80
18	0 0 1	78
$\bar{X}$ General		78

CUADRO No. 8

ANALISIS DE VARIANZA DEL RENDIMIENTO EN AZUCAR/Ton.

FINCA EL SALTO

Fuente de Variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	35	1,276	36	1.12 (NS)
Tratamientos	17	530	31	0.96 (NS)
Repeticiones	1	200	200	6.25 (*)
Error Experimental	17	546	32	

(*) Significativo al 0.05 de probabilidad.

(NS) No significativo

CUADRO No. 9

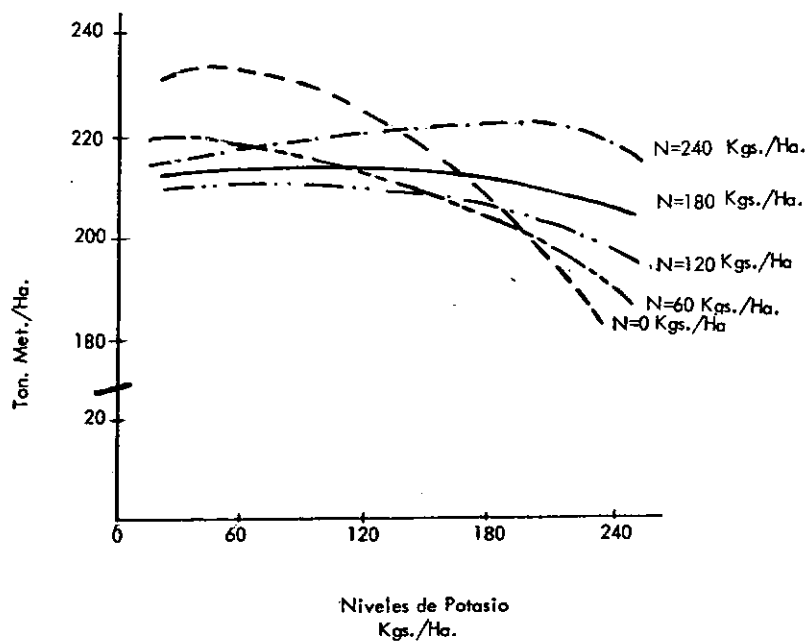
SUPERFICIE DE RESPUESTA, FINCA EL SALTO
COEFICIENTE DE LAS ECUACIONES DE RESPUESTA SOBRE LAS CARACTERISTICAS
QUE SE INDICAN

FUENTE	RENDIMIENTO EN AZUCAR	
	coeficiente	D
Intercepción	80.07	- - -
N	0.77	+ 1.98
P	-0.15	+ 1.98
K	-0.905	+ 1.98
N ²	1.06	+ 1.97
p ²	-0.94	+ 1.97
K ²	-2.269	+ 1.97
NP	-0.15	+ 2.87
NK	0.39	+ 2.87
PK	0.63	+ 2.87

Los valores mayores a los valores "D", son estadísticamente diferentes
de cero, al 0.05 de probabilidad.

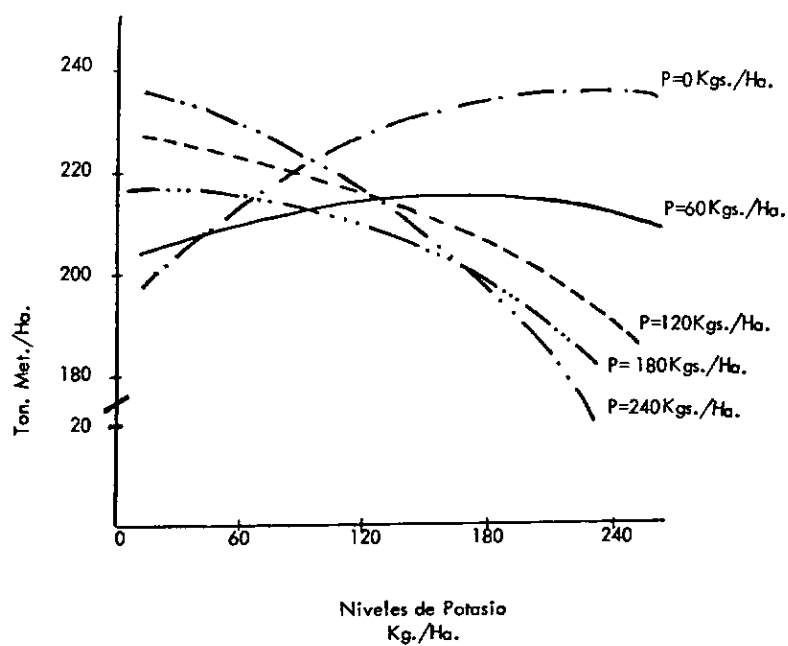
$$\bar{Y} = b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1^2 + b_5 x_2^2 + b_6 x_3^2 + b_7 x_1 x_2 + b_8 x_1 x_3 + b_9 x_2 x_3$$

GRAFICO No. 1
 FUNCIONES DE RESPUESTA A 5 NIVELES DE NPK
 HACIENDO "P" CONSTANTE POR CURVA



FINCA EL SALTO

GRAFICO No. 2
 FUNCIONES DE RESPUESTA A 5 NIVELES DE NPK
 HACIENDO "N" CONSTANTE POR CURVA

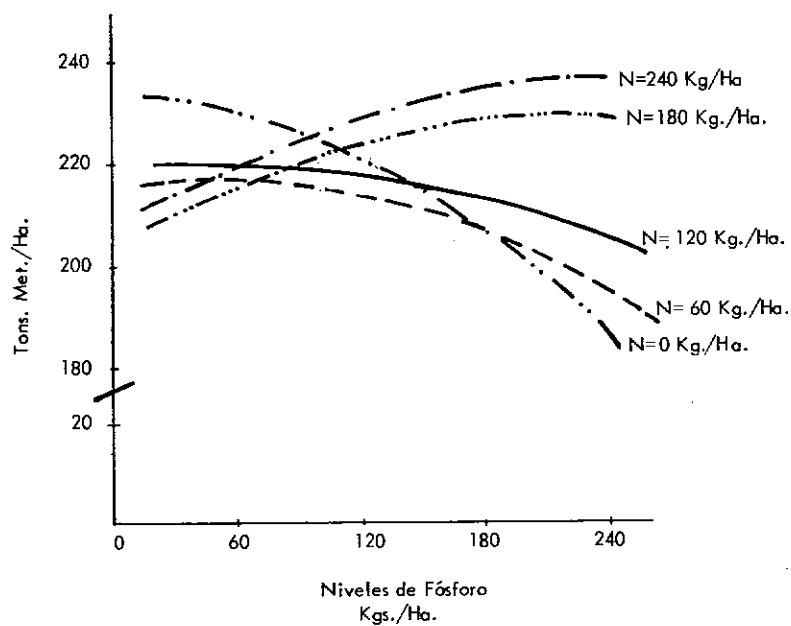


FINCA EL SALTO

GRAFICO No. 3

FUNCIONES DE RESPUESTA A 5 NIVELES DE NPK

HACIENDO "K" CONSTANTE POR CURVA

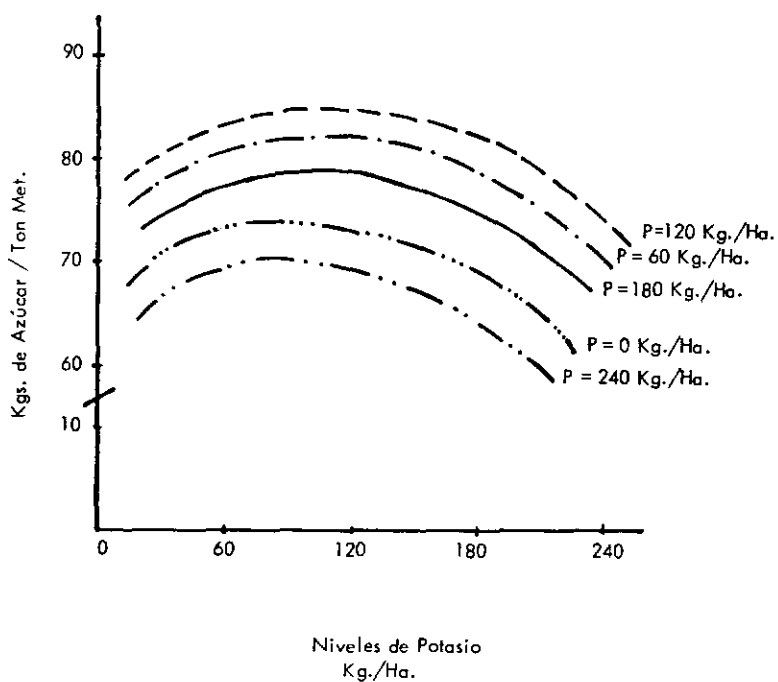


FINCA EL SALTO

GRAFICO No. 4

FUNCIONES DE RESPUESTA A 5 NIVELES DE NPK

HACIENDO "N" CONSTANTE POR CURVA



FINCA EL SALTO

b. Proyecto II (Finca Pantaleón)

Efectos Lineales:

En lo que respecta a la función de respuesta del rendimiento en peso de caña (Cuadro No. 12), podemos observar que no existe efecto lineal significativo para ninguno de los tres elementos.

La respuesta del Nitrógeno y fósforo no concuerda con los análisis de suelos (Cuadro No. 2). Según este análisis la cantidad de Nitrógeno y Fósforo disponibles en el suelo son de 14 y 1 ppm., respectivamente. Estos son niveles bajos y lógicamente se esperaba respuesta a la aplicación; sin embargo esto no sucedió. En lo que respecta al Fósforo, se podría sugerir que probablemente influyo el pH algo ácido del suelo, el cual pudo haber influido en la fijación de este elemento en otros no asimilables.

El elemento Potasio, según el análisis de suelos (Cuadro No. 2) se encontraba entre las 125 ppm., cantidad que podría satisfacer los requerimientos nutricionales de la planta, si fuera 100% asimilable. Lógicamente esto nos determina que las aplicaciones de este elemento tienden a ser mínimas. Al analizar el coeficiente de regresión de este elemento (Cuadro No. 12), observamos que la respuesta de este elemento fue mínima lo cual pone de manifiesto alguna relación entre los análisis de suelos y la función de respuesta.

En lo que respecta a efectos cuadráticos e interacciones, la función de respuesta no reportó ninguna significancia.

De acuerdo a la función de respuesta los niveles óptimos que maximizan la producción en tonelaje de caña son: 118 Kg./Ha. de N; 71 Kg./Ha. de P_2O_5 y 134 Kg. de K_2O /Ha. Sin embargo estos valores no representan un nivel óptimo económico de aplicación. El análisis para la determinación de tales niveles no se continuó por considerarse que algunas de las respuestas eran

de caracter espurio y no representaban lo que realmente ocurrió en el suelo. Por lo tanto considero oportuno sugerir continuar con este tipo de investigación, tomando en cuenta la presente información, para evitar hasta donde sea posible los errores casuales que se dan mucho en este tipo de investigación.

En lo que al rendimiento en azúcar se refiere, el cuadro No. 15 que resume la función de respuesta, nos indica que hubo efecto lineal significativo del fósforo; observándose (según gráfica No. 6) que los rendimientos aumentan linealmente al aumentar los niveles de aplicación del P; en especial con niveles bajos de Nitrógeno y Potasio.

Según el análisis de suelos, el nivel de Nitrógeno en el suelo es bajo y por lo tanto se esperaba alguna respuesta; lo cual no sucedió. Para el Potasio dicho análisis indicaba que este elemento se encontraba en cantidades adecuadas en el suelo y el análisis de regresión reportó poca utilización del elemento en cuestión, por lo tanto se da una estrecha relación entre ambos análisis.

En relación a efectos cuadráticos e interacciones, la función de respuesta no reporta ninguna significancia.

De acuerdo con la función de respuesta la dosis óptima que maximiza la producción de azúcar es: 47 Kg./Ha de Nitrógeno; 290 Kg./Ha. de Fósforo y 82 Kg./Ha. de Potasio. Sin embargo como en los casos anteriores, estos valores no representan los niveles más económicos de aplicación, por lo que queda para trabajos posteriores la determinación de tan importantes niveles.

CUADRO No. 10

OBSERVACIONES DE CAMPO

VALORES MEDIOS DE LAS CARACTERISTICAS QUE SE INDICAN
FINCA PANTALEON

No. Tratamiento	Código	Rendimiento en peso de caña Tons. Met/Ha.
1	1 1 1	127
2	1 1 -1	135
3	1 -1 1	144
4	1 -1 -1	141
5	-1 1 1	137
6	-1 1 -1	147
7	-1 -1 1	151
8	-1 -1 -1	142
9	0 0 0	120
10	2 0 0	134
11	-2 0 0	128
12	0 2 0	124
13	0 -2 0	123
14	0 0 2	131
15	0 0 -2	148
16	1 0 0	127
17	0 1 0	128
18	0 0 1	138
$\bar{X}$ General		135

CUADRO No. 11

ANALISIS DE VARIANZA DEL RENDIMIENTO EN TONS.MET./ Ha. DE CAÑA

FINCA PANTALEON

Fuente	G. L.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	35	6,222.41	177.78	- - - -
Tratamientos	17	2,974.00	174.94	1.12 (NS)
Repetición	1	600.19	600.19	3.86 (*)
Error Experiment.	17	2,648.22	155.77	

(*) Significativo al 0.05 de probabilidad

(NS) No significativo.

CUADRO No. 12
SUPERFICIE DE RESPUESTA FINCA PANTALEON
COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES DE RESPUESTA SOBRE LAS CARACTERISTICA
QUE SE ESTUDIA

Fuente	RENDIMIENTO EN PESO DE CAÑA	
	Coefficiente	"D"
Intercepción	131.75	- - - -
N	-1.348	± 4.379
P	-1.92	± 4.379
K	-1.12	± 4.379
N ²	1.04	± 4.35
P ²	-0.68	± 4.35
K ²	3.378	± 4.35
NP	-1.74	± 6.33
NK	0.005	± 6.33
PK	-3.24	± 6.33

Los valores mayores a los valores "D", son estadísticamente diferentes a cero al 0.05 de probabilidad.

$$\bar{Y} = b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1^2 + b_5 x_2^2 + b_6 x_3^2 + b_7 x_1 x_2 + b_8 x_1 x_3 + b_9 x_2 x_3$$

CUADRO No. 13
OBSERVACIONES DE CAMPO
VALORES MEDIOS DE LA CARACTERISTICA QUE SE INDICA
FINCA PANTALEON

No. de Tratamiento	CODIGO	Rendimiento en peso de Azúcar/Tons. Met
1	1 1 1	66
2	1 1-1	68
3	1-1 1	62
4	1-1-1	62
5	-1 1 1	63
6	-1 1-1	64
7	-1-1 1	61
8	-1-1-1	59
9	0 0 0	65
10	2 0 0	59
11	-2 0 0	64
12	0 2 0	65
13	0-2 0	59
14	0 0 2	65
15	0 0-2	58
16	1 0 0	59
17	0 1 0	63
18	0 0 1	66
$\bar{X}$ General		63

CUADRO No. 14

ANALISIS DE VARIANZA DEL RENDIMIENTO EN AZUCAR FINCA PANTALEON Kgs./ Ton. Met.

Fuente de Variación	G. L.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	35	500	14.28	- - - -
Tratamientos	17	290	17.00	1.46 (NS)
Repeticiones	1	11	11.00	0.94 (NS)
Error Experiment.	17	198	11.64	

(*) Significativo al 0.05 de probabilidad

(NS) Nos significativo.

CUADRO No. 15

SUPERFICIE DE RESPUESTA

FINCA PANTALEON

Fuente	RENDIMIENTO EN AZUCAR	
	COEFICIENTE	"D"
Intercepción	64.01	- - -
N	-0.18	+ 1.19
P	1.66	+ 1.19 *
K	0.94	± 1.19
N ²	0.465	± 1.18
P ²	-0.28	± 1.18
K ²	-0.28	± 1.18
NP	0.38	± 1.73
NK	-0.38	± 1.73
PK	-0.62	± 1.73

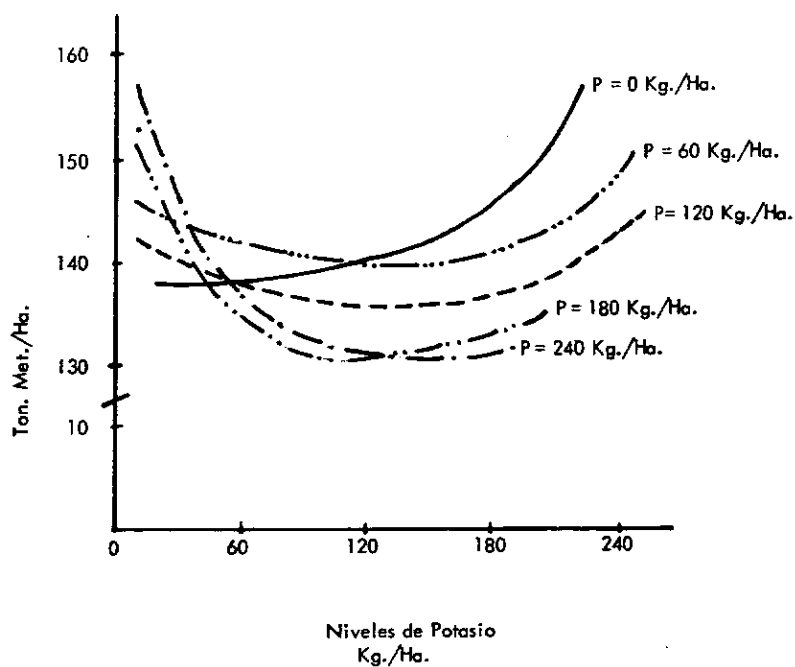
* Los valores mayores a los valores "D", son estadísticamente diferentes de cero al 0.05 de probabilidad.

$$\bar{Y} = b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1^2 + b_5 x_2^2 + b_6 x_3^2 + b_7 x_1 x_2 + b_8 x_1 x_3 + b_9 x_2 x_3$$

GRAFICO No. 5

FUNCIONES DE RESPUESTA A 5 NIVELES DE NPK

HACIENDO "N" CONSTANTE POR CURVA

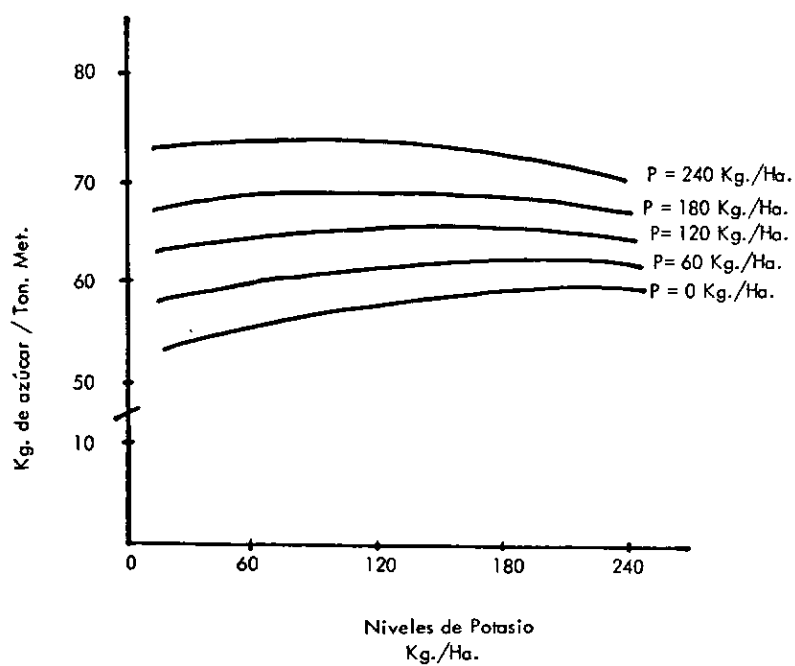


FINCA PANTALEON

GRAFICA No. 6

FUNCIONES DE RESPUESTA A 5 NIVELES DE NPK

HACIENDO "N" CONSTANTE POR CURVA



FINCA PANTALEON

3. ANALISIS DE COSTOS EXPERIMENTALES:

En los Cuadros Nos. 16 y 17, se tienen resumidos los Gastos Fijos y Variables, respectivamente, en los que incurre normalmente el agricultor. Dichos datos varían de una región a otra, por el tipo de cultivo, por el uso de una práctica cultural especial, etc. Para el caso, se analizó el rendimiento en peso de caña-plantía de la Finca El Salto, considerándose dicho experimento adecuado, en vista de que fue el único que manifestó significancia estadística entre tratamientos.

Al analizar el Cuadro No. 18 que resume el análisis de "Punto de Equilibrio Económico" y Rentabilidad, observamos que el tratamiento más rentable fue el No. 8, con una Rentabilidad del 340/o, donde ya deducidos todos los costos deja una utilidad de Q.543.00 por Hectárea.

Del análisis del "Punto de Equilibrio" se desprende que para este tratamiento se necesitan 129 Ton. Met. por Hectárea como mínimo para cubrir todos los costos; a partir de ese valor, comienza a ser rentable el engocio. Este valor es mucho mayor que la media de producción de muchas regiones del país, y aún así, se ve que su rentabilidad no es del todo buena.

Si comparamos este Costo de Producción con un Costo en época de "alzas", como la ocurrida en 1975, veremos que la rentabilidad de este último es mayor que la del primero, debido directamente al precio del producto en esa época.

De acuerdo con datos obtenidos de una plantación de caña-plantilla con riego en la región de Suchitepéquez (17), se determinó que una producción de 80 toneladas, al precio de esa época (Q.18.00/Ton.), con Q.890.5 de Costos Totales se obtuvo una rentabilidad del 620/o, casi el doble de la obtenida en este experimento; aún cuando el rendimiento de este experimento superaba ampliamente al obtenido en Suchitepéquez. Esto nos hace ver que el precio del producto en el Mercado Internacional es una gran barrera para el desarrollo normal de la empresa del cultivo de

la caña de azúcar.

Tomando en consideración la diferencia de precios entre una época crítica y una época de "alzas", sugiero que si se quiere mantener una rentabilidad alta y constante, se deberán duplicar los rendimientos actuales.

CUADRO No. 16
COSTOS FIJOS EXPERIMENTALES
Caña - plantilla Finca "El Salto"

1978 Datos/Ha.

Arrendamiento de Terreno	Q. 114.00
Arada, rastreo y surcado	57.00
Semilla , 9 toneladas	180.00
Transporte de la semilla	36.00
Siembra completa, picado y tapado	28.00
Herbicida y su aplicación	23.00
Limpías posteriores	28.00
Combate de plagas	18.00
Costo de cuatro riegos (agua)	114.00
Mano de obra para riego	28.00
Gastos imprevistos	20.00
Administración, impuestos e intereses	71.00
TOTAL COSTOS FIJOS	Q. 717.00

Fuente: Jefatura de Campo, Finca El Salto

CUADRO No. 17
COSTOS VARIABLES. DATOS/Ha.

No.	Fertilización		Cosecha		Total
Tratamiento	Costo Fertilizante/Ha.	Aplicación	Corte y Alzado	Acarreo	Costos Q.
1	Q. 90.00	Q. 13.00	Q.329.00	Q.357.00	789.00
2	71.00	10.00	408.00	443.00	933.00
3	69.00	10.00	364.00	395.00	839.00
4	51.00	7.00	366.00	397.00	821.00
5	69.00	10.00	325.00	353.00	758.00
6	51.00	7.00	357.00	388.00	803.00
7	48.00	7.00	355.00	386.00	797.00
8	30.00	4.00	397.00	431.00	862.00
9	60.00	9.00	376.00	408.00	833.00
10	81.00	12.00	364.00	395.00	852.00
11	39.00	6.00	350.00	380.00	775.00
12	81.00	12.00	367.00	399.00	859.00
13	39.00	6.00	324.00	351.00	720.00
14	78.00	12.00	359.00	389.00	838.00
15	41.00	6.00	332.00	361.00	740.00
16	70.00	10.00	369.00	401.00	851.00
17	70.00	10.00	324.00	756.00	756.00
18	69.00	10.00	294.00	319.00	693.00

CUADRO No. 18
RESUMEN DE COSTOS Y RENTABILIDAD
FINCA EL SALTO, 1978

No.	Ingreso Q.	Costo Total Q.	Punto de Equilibrio Económico		UtilidadQ.	% Rentabilidad
			Q.	Ton. Met./Ha.		
1	1,758.00	1,506.00	1,303.00	135	252.00	17
2	2,179.00	1,650.00	1,258.00	137	529.00	32
3	1,945.00	1,556.00	1,266.00	138	389.00	25
4	1,954.00	1,538.00	1,238.00	132	416.00	27
5	1,739.00	1,475.00	1,340.00	143	264.00	18
6	1,907.00	1,520.00	1,239.00	133	387.00	25
7	1,898.00	1,514.00	1,236.00	132	384.00	25
8	2,122.00	1,579.00	1,209.00	129	543.00	34 *
9	2,010.00	1,550.00	1,226.00	131	460.00	30
10	1,945.00	1,569.00	1,278.00	137	376.00	24
11	1,870.00	1,492.00	1,225.00	131	378.00	25
12	1,963.00	1,576.00	1,276.00	136	387.00	25
13	1,730.00	1,437.00	1,230.00	132	293.00	20
14	1,917.00	1,555.00	1,276.00	136	362.00	23
15	1,776.00	1,437.00	1,230.00	132	319.00	22
16	1,973.00	1,568.00	1,262.00	135	405.00	26
17	1,730.00	1,473.00	1,274.00	136	257.00	17
18	1,571.00	1,410.00	1,285.00	137	161.00	11

V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Al analizar los efectos principales del rendimiento en peso de caña de la Finca "El Salto", observamos que no existe diferencia significativa para los efectos lineales del Nitrógeno y el Fósforo; aunque el Nitrógeno se acerca al umbral de significancia al 0.05 de probabilidad.
2. Ese resultado no se esperaba, ya que los análisis de muestras de suelo realizados previos a instalar el experimento indicaban niveles bajos de Nitrógeno y Fósforo.
3. En general, el Nitrógeno tiende a aumentar linealmente el rendimiento, especialmente con dosis medias y bajas de Fósforo y Potasio.
4. Con respecto al Potasio, la función de respuesta reportó significancia estadística, observándose que el rendimiento decrece linealmente a medida que se incrementan los niveles de este elemento, especialmente cuando se combina con dosis altas de Fósforo y bajas de Nitrógeno.
5. En general, los más altos rendimientos, están relacionados con niveles bajos de Potasio. Esto se podría explicar en función del análisis de suelo, el cual reporta cantidades óptimas de K_2O intercambiable y se ha comprobado (2) que las continuas aplicaciones de Potasio no sólo disminuyen el poder de fijación de este elemento, sino que también produce un aumento en el nivel intercambiable en el suelo, lo cual disminuye la respuesta de las cosechas para futuras aplicaciones de este elemento.

Así mismo, es necesario considerar que las plantas pueden continuar absorbiendo un elemento en cantidades que exceden de lo que se requiere para su crecimiento

óptimo, "Consumo de Lujo". Esto da por resultado una acumulación del elemento en las plantas sin un aumento correspondiente en el crecimiento y sugiere, en otras palabras, un uso ineficaz y antieconómico de este elemento en particular.

6. Ello no implica que las adiciones de fertilizante potásico debieran ser detenidas a causa de su alto nivel en el suelo. Lo que está implicado, sin embargo, es que las aplicaciones de fertilizante potásico, en este caso, pueden ser ajustadas al mínimo, aumentando los niveles de Potasio disponible en el suelo.
7. De acuerdo a lo anterior, hay mayor probabilidad de incrementar los rendimientos con niveles bajos de Potasio, en combinaciones con niveles medios y bajos de Nitrógeno y Fósforo, respectivamente.
8. Algunas de las combinaciones más favorables de NPK en la Finca El Salto, en lo que a rendimiento en peso de caña se refiere, son las siguientes:

Elementos en Kg./Ha.			Rendimiento Ton. Met./Ha.
N	P	K	
180	180	60	233
60	60	60	227
120	120	120	215
180	180	120	211

9. De acuerdo con el Análisis de Rentabilidad practicado sobre el rendimiento en tonelaje de caña de la Finca El Salto, se obtuvo que el tratamiento más rentable es el No. 8; con una rentabilidad del 34o/o, donde ya deducidos los costos Totales se obtiene una utilidad de Q.543.00 por Hectárea (este tratamiento corresponde a la dosis 60-60-60 Kgs. de NPK / Ha.).
10. En lo que respecta al rendimiento en azúcar de la Finca el Salto, la Función de Respuesta no reportó efecto lineal significativo. Unicamente se manifestó significativo el efecto Cuadrático del Potasio; pero ésto no es consecuente, puesto que normalmente cuando hay un Efecto Cuadrático debe también haber un efecto lineal, ya que la primera porción de toda Función Cuadrático es casi lineal. Probablemente la respuesta tenga un caracter espurio y no represente lo que realmente ocurre en el suelo. O bien sea una consecuencia del error experimental que afecta los valores de F.
11. En el experimento llevado a cabo en la Finca Pantaleón, en lo que a rendimiento en peso de caña se refiere, la Función de Respuesta no manifestó significancia lineal para ninguno de los tres elementos.
12. Este resultado no se esperaba, ya que los análisis de muestras de suelo indicaban niveles deficientes de Nitrógeno y Fósforo, y medianamente altos para el Potasio.

13. Las mejores combinaciones de NPK obtenidas para el rendimiento en peso de este experimento son como siguen:

Elementos en Kg./Ha.			Rendimiento en Ton. Met./Ha.
N	P	K	
60	60	180	151
120	120	0	148
60	180	60	147
180	60	180	144
60	60	60	142

14. En lo que al rendimiento en azúcar por tonelada se refiere, la Función de Respuesta del experimento de la Finca Pantaleón, reportó significancia del efecto lineal del Fósforo.
15. En general, se observa que el Fósforo tiende a incrementar linealmente el rendimiento a cualquier nivel de Nitrógeno, observándose un leve decremento en las dosis más altas de Potasio.
16. Se esperaba respuesta para el Nitrógeno y el Potasio, ya que los resultados del análisis de suelo, indicaban que el Nitrógeno era deficiente y el nivel de Potasio resultó ser relativamente más bajo que en la Finca El Salto.
17. Los mejores resultados se obtuvieron con las combinaciones de NPK siguientes por Hectárea:

Elementos en Kg./Ha.			Rendimiento en Kg./Ton. Met.
N	P	K	
180	180	60	68
180	180	180	66
120	120	120	65
60	180	60	64

18. En ninguno de los dos experimentos se llegó a determinar el nivel óptimo económico de aplicación de NPK, en vista de que las Funciones de Respuesta, no manifestaron la respuesta esperada, según los análisis de suelo. Así mismo, algunas de las respuestas fueron consideradas de carácter espurio y no representan lo que realmente ocurre en el suelo.
19. Tomando en cuenta la enbergadura del trabajo de lo que representa un nivel óptimo económico de aplicación para el agricultor, yo considero oportuno sugerir la exploración de la respuesta de aplicación de estos elementos, en función de series de suelo, y no de regiones como fue planteado este trabajo, pues los resultados obtenidos pueden generalizarse a un área mayor y no sólo al lugar que sirvió de base para el experimento. Para mayor exactitud y eficacia de este tipo de investigación, será necesario implementar series de experimentos similares en las distintas clases de suelo que ocupan las regiones cañeras del país, considerando que en los experimentos agrícolas, las variaciones casuales son por lo general grandes y si no se dispone de repeticiones verdaderas, esos errores pueden manifestarse en efectos falsos.
20. Es muy importante hacer notar que para lograr los mejores resultados en este tipo de investigación, debe seguirse una buena selección de la semilla; que provenga de plantaciones sanas de 6 a 7 meses de edad y que no

tengan un número mayor de 4 a 5 "socas", pues se ha observado mucha influencia en las respuestas, de ciertos problemas genéticos y fisiológicos de la semilla, y que están fuera del alcance de este tipo de investigación.

21. Considerando que el rendimiento es la variable más importante desde el punto de vista económico, se permite considerar entonces que el diseño experimental y el modelo de la función del rendimiento, aquí utilizados, son apropiados para este tipo de investigación.

VI
REVISION DE BIBLIOGRAFIA

1. MONTAÑO, J. Diseño central rotatable compuesto en experimentos de fertilización. Fitotecnica Latinoamericana. Venezuela, Universidad Central. Vol. 8. 1. 1972 pp. 9-22.
2. HUMBERT R. El cultivo de la caña de azúcar. México, Compañía Editorial Continental, S. A., 1974. pp. 131-298.
3. TISDALE, S. y NELSON W. L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Barcelona, España. Montaner y Simmons, S. A. 1970. pp. 139-291.
4. JACOB A. y UEXKUL V. Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. Trad. por L.O. López Martínez de Alba. Holanda, Hannover Verlagsgesellschaft fur Ackerbau mbh, 1966. pp. 115-137.
5. MATHEU DE LEON C. Ensayo de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en condiciones de la finca "Sabana Grande". Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1966. 71 p. (Tesis Ing. Agr.)
6. DE LA CRUZ, S. Clasificación de zonas de vida de Guatemala, basada en el sistema Holdrige. Guatemala, Sector Público Agrícola. INAFOR, 1976. 24 p.
7. DE GEUS, J. G. Fertilicer guide for tropical and subtropical farmers. Zurich. Centre D'Stude de l'azote. 1967. pp. 115-145.
8. Metodología Experimental en Caña de Azúcar. México, Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. (MPA), 1975. 45 p.
9. RAMIREZ, C. A. Respuesta de la caña de azúcar a la

fertilización fosfórica, interpretada con base en el análisis del tallo. Costa Rica. Universidad Nacional, Facultad de Agronomía, 1964. pp. 30-34.

10. PANIAGUA URDIALES E. Análisis económico para determinar la dosis óptima de fertilización completa en caña de azúcar, bajo dos sistemas y dos distancias de siembra. Guatemala. I Congreso Centroamericano de Técnicos Azucareros, Guatemala, Junio 1973. pp 7-11.
11. GONZALEZ SPILLARI, J. Evaluación de la fijación y disponibilidad del fósforo en la serie de suelos de Guatemala. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 1970. 31 p. (Tesis Ing. Agr.)
12. REYES CANO, R. IV Conferencia Internacional de Consultores y Técnicos de la Industria Azucarera. Veracruz, México, Mayo 1962. pp. 115-118.
13. GARCIA CARIELLO, A. Respuesta a la fertilización con fósforo y azufre en algunos suelos cañeros. Costa Rica. Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. 1973. 66 p. (Tesis Ing. Agr.)
14. ESTRADA CASTILLO, C. Evaluación de la respuesta en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) a la fertilización con dos fuentes nitrogenadas en dos épocas en dos formas de aplicación. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1966. 11 p. (Tesis Ing. Agr.)
15. ZUÑIGA MARTINEZ E. Contenido y variación estacional de NPK, Ca y Mg en la caña de azúcar. Costa Rica. Universidad Nacional, Facultad de Agronomía, 1966. 22 p. (Tesis Ing. Agr.)
16. COCHRAN, W. y COX G. Diseños Experimentales. México. Editorial Trillas. 1973. pp. 343-410.

17. FLORES, S. Manual de caña de azúcar. Guatemala, Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP), 1976. 172 p.
18. LLANOS LLANOS, R. Funciones de respuesta y dosis óptima de fertilización en caña de azúcar. Revista Agronómica del Noreste Argentino. Argentina. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Agronomía y Zootecnia. 1971. pp. 3-4.
19. BENITEZ CORONADO, J. Evaluación de la respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) a la fertilización con nitrógeno. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 1968. 23 p. (Tesis Ing. Agr.)
20. ULLIVARI, R. La fertilización en los cultivos de caña de AIDIA. Argentina. Sección de Estado de Agricultura y Ganadería de la Nación. Suplemento No. 8. 1962, pp. 52-58.
21. SAMUELS G. The method of foliar diagnosis and applied to sugar cane. Puerto Rico, Editorial Universitaria. 1955. pp. 4-27.
22. SIMMONS, C. "et al". Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Guatemala. Ministerio de Educación Pública, Editorial José de Pineda Ibarra y Ministerio de Agricultura, IAN, SCIDA, 1959. 1000 p.
23. HANK, F. y DICKINSON, W. Conocimiento y experiencia con potasa en el cultivo de la caña de azúcar. La Habana, Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba. Boletín oficial, 1954. 13. p.
24. BEDSOLE, M R y BREGGART. Some relations of chemical analysis of soils and fresh sugar canes, to growth and yield. Barbados Proc. Int. Sugar cane tech. Cont. 1953 24 p.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia	
Asunto	

IMPRIMASE:

Ing. Agr. RODOLFO ESTRADA GONZALEZ
DECANO

