

**Evaluación agronómica y económica de tres
programas de fertilización en caña de
azúcar, Compañía Azucarera Tres Valles,
Valle de Cantarranas, Honduras**

Carlos Ernesto García Bárcenas

ZAMORANO

Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria

Diciembre, 2004

Evaluación agronómica y económica de tres programas de fertilización en caña de azúcar, Compañía Azucarera Tres Valles, Valle de Cantarranas, Honduras

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el grado
académico de Licenciatura.

presentado por

Carlos Ernesto García Bárcenas

Honduras
Diciembre, 2004

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Carlos Ernesto García Bárcenas

Honduras
Diciembre, 2004

**Evaluación agronómica y económica de tres programas de fertilización
en caña de azúcar, Compañía Azucarera Tres Valles, Valle de
Cantarranas, Honduras**

Presentado por:

Carlos Ernesto García Bárcenas

Aprobada:

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.
Asesor principal

Abelino Pitty, Ph.D.
Coordinador de área
Fitotecnia

Carlos Gauggel, Ph.D.
Asesor

Jorge Iván Restrepo, M.B.A.
Coordinador de Carrera Ciencia
y Producción Agropecuaria

David Moreira, M.B.A.
Asesor

Aurelio Revilla, M.S.A.
Decano Académico Interino

Eduardo Gurdíán, Ing. Agr.
Asesor

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso.

A mis padres Carlos García F. y Martha Bárcenas L. por todo el apoyo y dedicación que me han dado.

A mis hermanas Adriana y Martha.

A la memoria de mis abuelos María Fonseca, Leonardo García y Paulino Bárcenas (Q.E.P.D), que Dios los tenga en su gloria.

A todos los que me confiaron en mí y me apoyaron.

AGRADECIMIENTOS

A la familia Gauggel Arévalo por el apoyo y dedicación brindado.

Al Ing. David Moreira, por su asesoría y amistad.

A Diana Moran, Eduardo Gurdián y Reynerio Barahona por su amistad y ayuda.

A Thelma Brenes por su amistad, apoyo, comprensión y compañía en los buenos y malos momentos, suerte.

A mis compañeros de trabajo, Saulo, Sayra, Juan Pablo, Arturo, Marcial, Alejandro C., gracias por su colaboración.

Al personal del laboratorio de suelos, Ing. Hilda Flores, Martha, Jackelin, y Rosa, por toda su colaboración.

A mis amigos Roberto, Jairo, Reynerio, Leonardo, Harving, Fausto y Montgomery, además todos los que confiaron en mí y me apoyaron todo el tiempo en Zamorano.

A Miriam Ortiz, gracias por tu amistad y preocupación, suerte ya falta poco.

AGRADECIMIENTOS A PATROCINADORES

A la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV) por el apoyo, colaboración y financiamiento en la realización de este estudio.

A los ingenieros Antonio Castillo, David Díaz, Prisca Rivera y Kelly Escalante por toda la colaboración y conocimiento brindado.

Al personal del laboratorio de Control de Calidad.

RESUMEN

García, Carlos. 2004. Evaluación agronómica y económica de tres programas de fertilización en caña de azúcar, Compañía Azucarera Tres Valles, Valle de Cantarranas, Honduras. Proyecto especial de Ingeniero Agrónomo en Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 30 p.

La Compañía Azucarera Tres Valles (CATV) es una empresa dedicada al cultivo, compra e industrialización de caña de azúcar y productos derivados de la misma. La producción de caña de azúcar y su rendimiento aumentaría si se lograra un manejo adecuado de sus programas de fertilización. Este estudio se realizó con el objetivo de determinar el programa de fertilización que cumpla con las exigencias agronómicas y económicas de CATV, se buscaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) en 10 variables agronómicas y siete de control de calidad del cultivo; se determinó la rentabilidad de los programas de fertilización y se realizó una caracterización física y química del suelo. El experimento se realizó en la finca Sociedad Rosario, San Juan de Flores, Francisco Morazán, Honduras, entre enero y agosto de 2004. Contó con tres programas de fertilización con dosis de $N-P_2O_5-K_2O$ para la fertilización comercial convencional y la fertilización comercial convencional fraccionada (121-30-79) y dosis de $N-P_2O_5-K_2O-MgO-Zn-B$ para la alternativa de fertilización fraccionada (207-40-40-30-3-1.5) todos expresados en kg/ha. El fraccionamiento se realizó en dos etapas de acuerdo a los requerimientos de la planta. Se usó un diseño de bloques completamente al azar con ocho repeticiones. Se muestreó desde abril a agosto. El suelo en el que se realizó el estudio presentó homogeneidad física y química y en todos los nutrientes hubo biodisponibilidad adecuada, a excepción del nitrógeno que se encontraba deficiente y el potasio con alta biodisponibilidad. Las variables agronómicas y de calidad no presentaron diferencias. El mejor tratamiento, económicamente, fue el programa de fertilización convencional con una rentabilidad de 29%. La producción y el rendimiento resultaron superiores para la fertilización comercial convencional (47 t/ha de caña y 107 kg/t de azúcar) llegando a producir 4952 kg/ha de azúcar comercial en el séptimo mes de crecimiento, sin diferencias ($P < 0.05$) con los demás tratamientos.

Palabras clave: Biodisponibilidad, correlaciones, nutrición vegetal, *Saccharum officinarum*.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Páginas de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
Resumen.....	vii
Contenido.....	viii
Índice de Cuadros.....	ix
Índice de Anexos.....	x
 1. INTRODUCCIÓN	 1
 2. MATERIALES Y MÉTODOS	 3
2.1. ÁREA DE ESTUDIO	3
2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	3
2.3. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	3
2.4. TRATAMIENTOS	4
2.5. MANEJO DEL CULTIVO	6
2.6. VARIABLES DETERMINADAS.....	6
2.7. MATRIZ DE BIODISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES	7
2.8. DISEÑO EXPERIMENTAL	7
2.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	7
2.10. ANÁLISIS ECONÓMICO	7
 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	 8
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	8
3.2. BIODISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES	8
3.3. VARIABLES AGRONÓMICAS	10
3.4. VARIABLES DE CALIDAD Y PRODUCCIÓN.....	12
3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO	13
 4. CONCLUSIONES.....	 15
 5. RECOMENDACIONES.....	 16
 6. BIBLIOGRAFÍA.....	 17
 7. ANEXOS.....	 18

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Dosis de fertilización de los tratamientos de acuerdo al fraccionamiento.....	4
2. Fraccionamiento de los elementos en cada aplicación.	5
3. Cantidad de fertilizante (kg/ha) utilizado en las aplicaciones.	5
4. Cantidad de fertilizantes usado en la fórmula Ferticultivo 2-A.....	5
5. Biodisponibilidad de nutrientes de acuerdo a los tratamientos.....	9
6. Correlaciones de los análisis de suelos con foliares.	9
7. Variables agronómicas del tercer al quinto mes.	10
8. Variables agronómicas para el sexto mes.	11
9. Variables agronómicas para el séptimo mes.....	11
10. Variables de calidad y rendimiento al séptimo mes.....	12
11. Correlaciones de los análisis de suelos con las variables de calidad.	13
12. Costos incurridos en los tratamientos expresados en US\$/ha.....	14
13. Determinación de los ingresos para cada uno de los tratamientos.....	14
14. Análisis de rentabilidad sobre las utilidades.	14

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
1. Ubicación del experimento en la finca Sociedad Rosario	19
2. Porcentaje de elementos en peso de los fertilizantes.	20
3. Descripción de las barrenaciones realizadas en el lote 16, finca Sociedad Rosario.	20
4. Mapa con unidades de suelo según barrenaciones, lote 16, Sociedad Rosario.....	21
5. Descripción de minicalicatas realizadas en las doce parcelas experimentales.	22
6. Profundidad de horizontes y características texturales de las minicalicatas descritas en las parcelas.	25
7. Análisis de suelos tomado tercer mes de crecimiento.	26
8. Análisis foliar tomado el quinto mes de crecimiento.....	27
9. Análisis foliar tomado el séptimo mes del crecimiento.....	28
10. Matriz de nivel de los elementos en el suelo y foliar y biodisponibilidad de cada tratamiento.	28
11. Costos fijos en los que incurre la finca Sociedad Rosario.....	29
12. Precio de fertilizantes utilizados en el experimento.	30
13. Costo del fertilizante usado en los tratamientos (US\$/ha).....	30

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña es de gran importancia para Honduras, y en general de Centroamérica, ya que es un rubro fuerte generador de divisas. Para el año 2000 la producción de caña de azúcar en Honduras había generado 7.6 Millones de dólares en un total de 46,939 ha sembradas. Llegando a exportar 3, 896,410 t de azúcar (INE 2002).

La Compañía Azucarera Tres Valles (CATV) es una empresa fundada en enero de 1994, dedicada al cultivo, compra e industrialización de la caña de azúcar y productos derivados de la misma; su venta y comercio en general. Su oficina principal se encuentra en El Porvenir, San Juan de Flores departamento de Francisco Morazán, Honduras (AHPPER 2004). El ingenio Tres Valles para la zafra 2003-2004 contó con 4,900 ha cosechadas. CATV produce 946,063 sacos de 50 kg de azúcar/año y una capacidad de molienda de 3,500 t/día, aportando un 14% a la Central de Ingenios Hondureña (CISA).

Es indispensable destacar que la producción de caña de azúcar y por consiguiente de sacos de azúcar se podría aumentar si se lograra un manejo adecuado del cultivo en cuanto a su programa de fertilización. Esto implica el buen uso de los suelos, tomando como herramientas los análisis foliares y de suelos a la vez, tomando en cuenta la disponibilidad de recursos tanto económicos como logísticos para tal fin. Es importante conocer las cantidades exactas de los nutrientes que se deben proporcionar en los programas de fertilización al cultivo con el objeto de alcanzar el potencial de producción del material genético utilizado.

El ingenio Tres Valles contaba con formulaciones básicas de fertilización las cuales incluían manejo de N-P-K ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$). En el año 2003 la unidad de suelos de Zamorano elaboró una serie de programas de fertilización adecuados a las condiciones edáficas de la zona los cuales incluyen un manejo de micronutrientes dependiendo de la disponibilidad para la planta. Las cantidades de nutrimentos que el cultivo absorbe del suelo dependen de muchos factores entre los cuales podemos destacar la variedad utilizada, los métodos de siembra, edad y la cantidad de nutrimentos que el suelo contenga además las condiciones físicas y químicas del mismo (Faunconnier y Bassereau 1975).

La caña de azúcar, como todas las plantas, requiere de 16 elementos esenciales para su adecuada nutrición y posterior desarrollo. El Nitrógeno (N), el Fósforo (P), y el Potasio (K) son los que se aplican en grandes cantidades.

En menor cantidad pero no menos importante se encuentran el Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S) y microelementos como Boro (B), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo) y Cloro (Cl) los cuales juegan un papel importante durante los procesos metabólicos y en los rendimientos del cultivo (Subiros 2000). El cultivo de la caña de azúcar presenta diferentes demandas de nutrientes a través de su ciclo de producción, esto ha sido tomado en cuenta en el presente estudio para elaborar el fraccionamiento de los diferentes nutrientes de acuerdo al autor (Fageira *et al.* 1997).

Los principales requerimientos climáticos del cultivo que inciden en una forma directa son la temperatura, la precipitación, la radiación y el viento (Subiros 2000). La temperatura conjunto con la humedad representan dos de los factores más relevantes en el proceso de germinación y desarrollo. La temperatura óptima para la ocurrencia de estos procesos se ubica entre 27°C y 33°C, obteniendo una reducción en el crecimiento a valores menores de 20°C y a temperaturas inferiores prácticamente se paraliza el crecimiento del cultivo. A más de 36°C la planta puede presentar signos de marchites. La caña de azúcar puede lograr su desarrollo en una amplia diversidad de zonas con diferentes regímenes de lluvia. En promedio se requieren de 1,200 a 1,500 mm anuales de precipitación distribuidos uniformemente a lo largo del año. El cultivo de la caña de azúcar requiere suelos de una textura fina a media, una tolerancia de media a alta a los cortos períodos de inundación, el pH óptimo esta entre 6.0 – 7.5 y un rango con producción satisfactoria es de 4.5 – 8.5 además posee una alta demanda de nutriente en especial el nitrógeno (Landon 1991).

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar la respuesta agronómica y económica de tres programas de fertilización en caña de azúcar bajo las mismas condiciones edáficas y climáticas. Los objetivos específicos fueron realizar una caracterización física del suelo para estudiar su influencia en la eficiencia de absorción de nutrientes de cada programa de fertilización, determinar si existe diferencia significativa entre los diferentes programas de fertilización de acuerdo a una serie de variables evaluadas, determinar diferentes indicadores económicos para cada programa de fertilización y proponer el programa de fertilización que sea agronómica y económicamente óptimo bajo las condiciones de la Compañía Azucarera Tres Valles.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en la finca Sociedad Rosario (Anexo 1), ubicada a 70 km de Tegucigalpa en Aldea El Porvenir, Municipio de San Juan de Flores, departamento de Francisco Morazán, Honduras, la cual pertenece a la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV).

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Geomorfología: El sitio se encuentra en la primera terraza aluvial del Valle de Cantarranas. Su topografía es plana con una pendiente de 2% orientada al Este, a una elevación de 642 msnm.

Clima: La precipitación promedio anual es de 925 mm distribuida la mayor parte en los meses de junio a octubre. La temperatura promedio anual es de 29°C.

2.3. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Morfológica: Se realizó un mapa de suelos del lote mediante el uso de barrenaciones. Se realizaron un total de 6 observaciones con un barreno holandés a una profundidad de 1 m. y un espaciamiento de 50 × 50 m se determinó el espesor de cada horizonte, la textura (método de tacto) y el color (Tablas Munsell).

Se realizaron 12 minicalicatas con las siguientes dimensiones 2.0 × 1.5 × 0.5 m (largo, ancho, profundidad), una por cada unidad experimental. Se determinaron las siguientes propiedades físicas: horizontes (Soil Survey Staff 1992), profundidad, color (Tablas Munsell), porcentaje de motas, textura (método de tacto), estructura, consistencia, resistencia a la penetración (Penetrómetro de bolsillo), poros, raíces y límite, de acuerdo a los parámetros establecidos por la FAO (1977).

Química: Se llevo a cabo un muestreo de suelos en el cual se obtuvieron muestras compuestas (5 submuestras) de cada una de las parcelas a una profundidad de 0-20 cm. Estas muestras fueron sometidas a análisis químico en el laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, donde se determinaron las siguientes propiedades químicas:

Fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, manganeso y zinc extraídos por la solución extractora Mehlich 3. Fósforo determinado por espectrofotometría y los demás elementos determinados por absorción atómica (Varian Spectras 5); reacción del suelo (pH), método 1:1 en agua; materia orgánica (%) por el método Walkley and Black; nitrógeno (% N total) como 5% de materia orgánica.

2.4. TRATAMIENTOS

Se establecieron tres programas de fertilización (aplicados al suelo):

T1: Fertilización Comercial Convencional

T2: Recomendación Alternativa de Fertilización fraccionada

T3: Fertilización Comercial Convencional fraccionada

La Fertilización Comercial Convencional (T1) consistió en utilizar la formulación de Tres Valles la cual sólo contiene dosis de $N-P_2O_5-K_2O$, la cual se aplica al cultivo aproximadamente un mes después de la cosecha anterior.

La Recomendación de Fertilización Alternativa fraccionada (T2) se formuló con base en las recomendaciones de fertilización emitidas por la Unidad de Suelos de Zamorano, ésta contiene micronutrientes y altas dosis de nitrógeno, además se fraccionó la dosis de acuerdo a los requerimientos del cultivo.

La Fertilización Comercial Convencional fraccionada (T3) consistió en utilizar la dosis del primer tratamiento y fraccionarla tomando el mismo principio del tratamiento 2. En el cuadro 1 se detallan las cantidades utilizadas.

Cuadro 1. Dosis de fertilización de los tratamientos de acuerdo al fraccionamiento.

Fertilización	Aplicación	kg/ha					
		N	P_2O_5	K_2O	MgO	Zn	B
Convencional	1	121	30	79	0	0	0
Alternativa Fraccionada	1	124	20	16	30	1.4	0.7
	2	83	20	24	0	1.4	0.7
Convencional Fraccionada	1	73	15	39	0	0	0
	2	49	15	39	0	0	0

El fraccionamiento de los tratamientos se refiere a la separación en dos etapas de la dosis de fertilización, esto se debe a que el costo que representa más de dos aplicaciones es una limitante y la logística de la aplicación se complica debido al crecimiento de la caña de azúcar.

La cantidad de elementos se fraccionó de acuerdo a las necesidades de la planta, esto es dado en porcentajes de la dosificación final (Cuadro 2).

Cuadro 2. Fraccionamiento de los elementos en cada aplicación.

Aplicación	Elementos (%)					
	N	P	K	Mg	Zn	B
1	60	50	60	100	50	50
2	40	50	40	0	50	50

La primera aplicación se realizó en el segundo mes del crecimiento vegetativo del cultivo. Un mes después se realizó la segunda aplicación, en el caso de los tratamientos que requerían fraccionamiento, es decir, en el tercer mes de crecimiento del cultivo. Las dosis de aplicaciones fueron completadas de acuerdo a la disposición de los fertilizantes por parte del ingenio Tres Valles (Cuadro 3), los cuales son comunes en el mercado y distribuidos por distintas casas comerciales. La composición de cada uno de los fertilizantes utilizados se encuentra descrita en el anexo 2.

Cuadro 3. Cantidad de fertilizante (kg/ha) utilizado en las aplicaciones.

Fertilizantes	Fertilización				
	Convencional	Alternativa Fraccionada		Convencional Fraccionada	
		1	2	1	2
Sulfato de Amonio	525	353	394	315	210
Fosfato diamónico (DAP)	62	0	0	31	31
Cloruro de potasio (KCl) Granular	131	13	40	52	79
Sulfato de Mg Granular	0	271	0	0	0
Sulfato de Zn Granular	0	6	6	0	0
Granubor	0	3	3	0	0
Ferticultivo 2-A	0	193	0	0	0

El fertilizante descrito como Ferticultivo 2-A es una fórmula creada en el 2003 para uso en el ingenio Tres Valles, ajustada a las recomendaciones de Zamorano para uso en las zonas del ingenio. La descripción del contenido de la fórmula se encuentra detallada de acuerdo al aporte de cada uno de los fertilizantes en cantidades de nutrientes y se muestra el porcentaje de cada elemento que posee esa formulación (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cantidad de fertilizantes usado en la fórmula Ferticultivo 2-A.

Fertilizantes	Dosis kg/ha	Nutrientes (kg/ha)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Cl
Urea	64	30	0	0	0	0
Sulfato de amonio	29	6	0	0	7	0
Fosfato diamónico (DAP)	87	16	40	0	0	0
Cloruro de potasio (KCl) Granular	14	0	0	9	0	7
Suma de Materiales (kg)	194	51	40	9	7	7
Formula (%)		26	21	4	4	4

2.5. MANEJO DEL CULTIVO

La variedad utilizada en este estudio es Pr-1013, la cual esta sembrada en la finca Sociedad Rosario, el último corte fue el 20 de enero de 2004 (Zafra 2003-2004). El lote utilizado tiene 8 cortes (socas) a la fecha de la realización del experimento. El sistema de riego que se utiliza en el lote es por gravedad, se realizó con un intervalo promedio de 15 días, en el que se aplica una lámina aproximada de 96 mm. La aplicación del fertilizante se realizó con un tractor Same Lasser 100hp, con una fertilizadora hidráulica. La fertilizadora fue calibrada de acuerdo a los requerimientos de cada tratamiento al momento de la aplicación.

2.6. VARIABLES DETERMINADAS

Agronómicas: Los muestreos se realizaron del tercero al séptimo mes de crecimiento, con un intervalo de un mes por muestreo. La muestra consistió en tomar un metro lineal y realizar las medidas correspondientes, se tomaron dos muestras en cada una de las parcelas para disminuir errores en el experimento, para un total de 24 muestras. En los primeros tres muestreos (Tercero a quinto mes de crecimiento) las variables tomadas fueron número de hojas verdes por tallo y número de tallos. En los muestreos posteriores (Sexto y séptimo mes) se midieron: altura hasta el último canuto, número de hojas, número de canutos, número de tallos, diámetro y longitud de los canutos superior, medio e inferior. Todas estas variables forman parte del registro de crecimiento, procedimiento que realiza Tres Valles para el control del cultivo. Los datos presentados en los cuadros finales son el resultado de los promedios del número de plantas encontradas en el metro lineal muestreado para cada una de las variables.

Análisis foliares: Cada una de las parcelas fue muestreada en el séptimo mes de crecimiento, realizando una muestra compuesta por 15 hojas/muestra como lo recomienda Benton *et al.* (1993). Se tomó como muestra la tercera hoja a partir del crecimiento apical. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana donde se determinaron las siguientes propiedades: calcio, potasio, magnesio, cobre, hierro, manganeso y zinc (Método de digestión húmeda con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno, determinado por absorción atómica); fósforo (Determinado por colorimetría); nitrógeno (Determinado por Kjeldahl).

Producción y rendimiento: El muestreo se realizó en el séptimo mes de crecimiento vegetativo. Se hicieron dos muestreos por parcela, para un total de 24 muestras. La muestra consistió en cortar a nivel del suelo las cañas existentes en un metro lineal tomado al azar, las hojas secas fueron eliminadas y se cortó la caña a la altura del cogollo. En el laboratorio de control de calidad del ingenio Tres Valles se midieron posteriormente las siguientes variables: Humedad, Fibra, Brix, Pol, Pureza, Azúcares Reductores (Todas expresadas en porcentaje), Rendimiento (Azúcar comercial, kg/t). La metodología de determinación de los valores fue de acuerdo al manual de procedimientos del laboratorio de control de calidad (CATV 2004), El análisis se realizó en el séptimo mes de crecimiento.

2.7. MATRIZ DE BIODISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

Los datos de los análisis de suelos y foliares fueron interpretados usando la matriz de diagnóstico que integra ambos análisis, la cual fue elaborada por Gauggel (2003). Se compararon los niveles de cada nutriente presente en el suelo y en la hoja, con las cantidades óptimas que establece la literatura, y se realizó la matriz de diagnóstico calificando la biodisponibilidad de cada nutrimento en deficiente, alta, adecuada y baja.

2.8. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado en este estudio es Bloques Completamente al Azar (BCA), el cual tuvo 4 bloques y 3 tratamientos por cada bloque. La unidad experimental consistió en parcelas de 6.5 m de ancho con 100 m de largo para un área de 650 m². Cada parcela contaba de 4 surcos completos a lo largo del lote. En total se utilizaron 12 parcelas experimentales para un área total de 7,800 m². Se tomaron dos muestras por parcela, para un total de 24 muestras para cada una de las variables.

2.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de datos se utilizó el programa estadístico “Statistical Analysis System” (SAS[®]), con el cual se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA). Se realizó una separación de medias mediante la prueba Diferencia Mínima Significativa (LSD) para determinar diferencias significativas entre los tratamientos. Se realizaron correlaciones entre los niveles de nutrientes en el suelo (Análisis de suelo tomado al tercer mes de crecimiento) y los niveles de nutrientes en las plantas (Análisis foliar tomado quinto y séptimo mes de crecimiento) y entre las variables de producción y calidad (Tomadas al séptimo mes de crecimiento) y los niveles de nutrientes en la planta (Análisis foliares tomados al quinto y séptimo mes de crecimiento).

2.10. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para la realización del análisis de rentabilidad se determinaron los egresos, ingresos y la utilidad generada para la finca Sociedad Rosario por hectárea de acuerdo a los tratamientos utilizados. Para obtener el ingreso se obtuvo la cantidad de azúcar que produciría potencialmente el cultivo a los siete meses de edad. Los datos utilizados son los que se obtuvieron del laboratorio de control de calidad de Tres Valles, el cual da un cálculo de la cantidad de azúcar potencial que tiene el cultivo al momento de la prequema y se realiza una reducción del 26% por pérdidas en la quema y la fabricación de azúcar. Los costos fueron tomados de acuerdo a los que incurre la finca Sociedad Rosario en todas sus labores hasta la fecha de la finalización del estudio. No se toman en cuenta los costos de cosecha transporte e industrialización de la caña.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Las barrenaciones indicaron que no hay variación textural en el lote, presentando suelos que se encuentran en la misma categoría (Anexo 3), esto permitió la realización del experimento sin este tipo de variación. Los suelos presentan texturas livianas en los horizontes superficiales (Francos Arenosos, Franco Arcillosos y Franco Arcillo Arenosos) hasta una profundidad máxima de 60 cm y texturas pesadas (Arcillosos) a mayor profundidad. Los colores denotan un contenido medio de materia orgánica. La parte central del lote contiene piedras en la superficie, donde el crecimiento de la caña de azúcar se restringe. El mapa (Anexo 4) explica las distribuciones de las unidades de suelos de acuerdo a las barrenaciones.

En las minicalicatas se describieron de tres a cuatro horizontes maestros los cuales se encuentran detallados en el Anexo 5. El primer horizonte es un Ap, con una profundidad promedio de 14 cm, con colores desde pardos hasta negros y texturas livianas siendo Francos, Franco Arenosos o Franco Limosos. La resistencia a la penetración promedio es de 2.0 kg/cm². El segundo horizonte encontrado fue un 2Ap o Ad si está compactado, con una profundidad promedio de 15 cm con colores pardos muy oscuros y negros con texturas que oscilan entre Francos, Franco Limosos y Franco Arcillosos. En la minicalicata 7, 8 y 11 se encontraron horizontes masivos. La resistencia a la penetración promedio es de 3.2 kg/cm², siendo en los horizontes masivos mayor a 4.5 kg/cm² en donde las raíces eran gruesas y frecuentes. El tercer horizonte es clasificado como un Bw o C el cual tiene un espesor promedio de 16 cm, con texturas Arcillosas o Arcillo Arenosas, con colores pardos grisáceos, pardos rojizos y rojizos. La resistencia a la penetración promedio en las primeras tres minicalicatas es de 3.0 kg/cm², en las siguientes mayor a 4.5 kg/cm² y las últimas cuatro tienen 2.3 kg/cm². El cuarto horizonte predomina la sección Arcillosa del suelo, limitando el desarrollo radicular a los 50 cm y presentando estructuras prismáticas, con colores pardos rojizos. Las minicalicatas permitieron la realización de un mapa con las unidades de suelos en las parcelas donde se ubica el experimento (Anexo 4) y la distribución textural en profundidad se muestra en el anexo 6.

3.2. BIODISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

A partir de los análisis de suelos y foliares (Anexos 7, 8 y 9) se determinó la biodisponibilidad de los todos los elementos (Cuadro 5). El análisis para la clasificación de cada uno de los tratamientos en cuanto a la biodisponibilidad de los elementos se muestra en el anexo 10.

La biodisponibilidad fue similar debido a que el experimento se encuentra en suelos homogéneos. El nitrógeno es el elemento que se encuentra deficiente en todos los tratamientos de acuerdo al nivel en el suelo y foliar. Fósforo y calcio son adecuados en todos los tratamientos, mientras que magnesio resultó adecuado en la formulación Convencional y Alternativa Fraccionada y de baja biodisponibilidad en la Convencional Fraccionada, aunque se encuentra en el límite superior del rango utilizado. El potasio se encuentra en una biodisponibilidad alta en todos los tratamientos. En cuanto a los microelementos, el hierro y el zinc son de baja biodisponibilidad en los tres tratamientos, mientras que el cobre y el manganeso están a niveles adecuados.

Cuadro 5. Biodisponibilidad de nutrientes de acuerdo a los tratamientos.

Tratamientos	Deficiencias	Biodisponibilidad		
		Baja	Adecuada	Alta
Convencional	N	Fe, Zn	P, Ca, Mg, Cu, Mn	K
Alternativa Fraccionada	N	Fe, Zn	P, Ca, Mg, Cu, Mn	K
Convencional Fraccionada	N	Fe, Zn, Mg	P, Ca, Cu, Mn	K

Se obtuvieron correlaciones positivas entre los niveles de nutrientes en suelos y foliares que se tomaron a lo largo del experimento (Cuadro 6). Estas correlaciones fueron positivas ($P < 0.05$). Se consideran correlaciones altas a las que son mayores de 80%, medias a las que se encuentran entre 70% y 79% y bajas a las que son menores de 70%.

Se encontró que a medida que hay un aumento de calcio y magnesio en el suelo aumenta el zinc en el follaje en el quinto mes. Además el calcio esta relacionado con un aumento del manganeso a nivel foliar, como lo demuestra el segundo análisis foliar. También a medida que hay un incremento del manganeso en el suelo aumenta este elemento en el follaje, esto indica que el manganeso se encuentra disponible para la absorción por la planta, a pesar del pH.

Cuadro 6. Correlaciones de los análisis de suelos con foliares.

Correlación &	Análisis Foliares	
	Mes 5	Mes 7
Ca Suelo : Zn Foliar	0.80	-
Mg Suelo : Zn Foliar	0.88	-
Mn Suelo : Mn Foliar	0.74	-
Ca Suelo : Mn Foliar	-	0.75

& Datos tomados a valores mayores a 0.70 y $P < 0.05$

- No se encontraron correlaciones

El muestreo al quinto mes indica un mayor número de correlaciones entre los nutrientes en el suelo y en el follaje, lo que corrobora la relación entre los nutrientes en el suelo y follaje a la forma de muestreo como es utilizado por Benton *et al.* (1991).

3.3. VARIABLES AGRONÓMICAS

Fueron medidas en los meses tres, cuatro y cinco. Se encontraron diferencias ($P<0.05$) únicamente en el tercer mes de crecimiento para la variable número de hojas (Cuadro 7). La formulación Convencional resultó tener 5.3 hojas/tallo siendo diferente ($P<0.05$). Pudo haber un efecto de la fertilización en este tratamiento debido a que en la primera aplicación se aplicó una gran cantidad de nitrógeno. Tanto en el cuarto como en el quinto mes no se encontraron diferencias ($P<0.05$), siendo los valores iguales para ambas variables en los meses cuatro y cinco. La variación de las tendencias en el número de tallos entre tratamientos de un mes a otro indica que la distribución de las plantas no es uniforme y no se puede tomar este parámetro como variable diferencial entre los tratamientos.

Cuadro 7. Variables agronómicas del tercer al quinto mes.

Formulaciones	Mes 3				Mes 4				Mes 5			
	N.H. ^x		N.T. ^y		N.H.		N.T.		N.H.		N.T.	
Convencional	5.3	a ^{&}	45.1	a	5.3	a	44.1	a	5.4	a	28.9	a
Alternativa Fraccionada	4.7	b	32.4	a	4.9	a	36.3	a	6.5	a	42.0	a
Convencional Fraccionada	4.6	b	47.5	a	5.0	a	42.6	a	6.9	a	33.5	a
LSD	0.5		19.9		1.8		25.6		2.0		13.7	
R ²	0.73		0.43		0.47		0.29		0.47		0.60	
CV	9.6		43.8		32.1		57.3		23.3		36.1	

^x Número de hojas

^y Número de tallos

[&] Medias de columnas con la misma letra no son estadísticamente diferentes, $P<0.05$

En el sexto mes de crecimiento se evaluaron mayor número de variables ya que a esta edad la población existente es una aproximación de las que llegaron a su punto de cosecha y el cultivo se encuentra bien desarrollado. En este mes los tratamientos no mostraron diferencias ($P<0.05$) para ninguna de las variables evaluadas (Cuadro 8). El cultivo no respondió a la variación en las aplicaciones de nutrientes que se realizaron, cabe destacar que los mejores promedios para las diferentes variables se encuentran en los tratamientos que tenían aplicaciones fraccionadas, agronómicamente el cultivo parece reaccionar al fraccionamiento, no siendo así estadísticamente.

En el muestreo realizado en el séptimo mes se encontraron diferencias ($P<0.05$) entre algunas variables (Cuadro 9). El número de hojas resultó mayor para la fertilización Convencional Fraccionada con 4.9 hojas/planta. El largo del entrenudo superior resultó mayor para la fertilización Convencional Fraccionada con 11.3 cm. El ancho del entrenudo medio resultó superior en la fertilización Alternativa Fraccionada (2.5 cm), siendo esta una de las características fundamentales para determinar diferencias entre los tratamientos, según Castillo¹, aquí también se demuestra que las mejores características agronómicas las tienen las fertilizaciones fraccionadas.

¹ Castillo, J. 2004. Variables de importancia en caña de azúcar. San Juan de Flores, Compañía Azucarera Tres Valles. Comunicación personal.

Cuadro 8. Variables agronómicas para el sexto mes.

Tratamientos	N.H. ^x	Altura (cm)	N.E. ^y	N.T. ^z	Entrenudo Superior		Entrenudo Medio		Entrenudo Inferior	
					L ^v	D ^w	L	D	L	D
Convencional	4.8	47.0	5.2	15.1	13.0	2.0	11.6	2.3	5.4	2.3
Alternativa Fraccionada	5.0	48.6	5.8	12.5	12.2	2.1	11.7	2.4	6.2	2.5
Convencional Fraccionada	5.2	50.3	5.7	16.3	12.7	2.1	11.3	2.3	5.4	2.4
LSD	0.7	13.1	0.9	5.2	2.3	0.2	3.1	0.2	2.9	0.4
R ²	0.38	0.69	0.46	0.64	0.62	0.26	0.62	0.47	0.43	0.55
CV	11.9	24.8	14.1	32.9	17.0	10.4	24.8	8.4	46.9	14.1

^x Número de hojas^y Número de entrenudos^z Número de tallos^v Longitud^w Diámetro

Cuadro 9. Variables agronómicas para el séptimo mes.

TRT ^σ	N.H. ^x	Altura	N.E. ^y	N.T. ^z	Entrenudo Superior		Entrenudo Medio		Entrenudo Inferior	
					L ^v	D ^w	L	D	L	D
T1 ^τ	4.0 b ^{&}	106.3 a	8.9 a	13.6 a	9.9 ab	1.9 a	14.8 a	2.3 ab	4.9 a	2.3 a
T2 ^ψ	4.2 b	105.1 a	9.3 a	12.6 a	9.4 b	2.0 a	14.1 a	2.5 a	4.9 a	2.5 a
T3 ^ω	4.9 a	113.4 a	9.1 a	12.3 a	11.3 a	1.8 a	15.8 a	2.3 b	5.9 a	2.3 a
LSD	0.5	11.2	0.6	2.7	1.5	0.2	1.8	0.2	1.3	0.3
R ²	0.85	0.95	0.75	0.62	0.83	0.79	0.86	0.74	0.64	0.65
CV	9.9	9.5	6.0	19.2	13.3	10.0	10.9	8.2	22.9	10.0

^x Número de hojas^y Número de entrenudos^z Número de tallos^σ Tratamientos^τ T1, Fertilización Comercial Convencional^ψ T2, Recomendación Alternativa de Fertilización Fraccionada^ω T3, Fertilización Comercial Convencional Fraccionada[&] Medias de columnas con la misma letra no son estadísticamente diferentes, P<0.05^v Longitud^w Diámetro

El estudio en general mostró coeficientes de variación que se encuentran en los rangos permitidos (< 30%), lo que nos indica que el estudio fue bien realizado y que los datos son confiables; además el ajuste de los datos (R²) es cercano a 1.

Las variables agronómicas indicaron diferencias (P<0.05) en el número de hojas, favoreciendo la fertilización Convencional en el tercer mes y la Convencional Fraccionada en el séptimo mes. La gran cantidad de nitrógeno al inicio favorece la fertilización Convencional en el número de hojas, mientras que el fraccionamiento de este mismo tratamiento lo favorece al final, pudiendo haber un efecto al fraccionar el nitrógeno en dos aplicaciones.

Durante el tiempo de realización del experimento (Enero-agosto) en el Valle de Cantarranas se presentó un periodo de sequía, en el cual se registró una precipitación acumulada al mes de agosto de 325 mm. Aquí la disponibilidad de agua por parte del río Choluteca resultó una limitante para realizar los riegos de acuerdo a los requerimientos

del cultivo ya que todas las zonas tenían que ser regadas. La eficiencia en la lámina y frecuencia de riego podría ser un factor determinante en el aprovechamiento de los nutrientes. Los turnos de riego para el lote 16 se realizaron aproximadamente cada 20 días aplicando una lámina de riego de 96 mm². El estrés al que fue sometido el cultivo fue muy alto, prácticamente sólo se aplicaba la cantidad de agua que le permitiera sobrevivir, no la que favoreciera un desarrollo óptimo de las características agronómicas de acuerdo al uso eficiente de los nutrientes aplicados al suelo.

3.4. VARIABLES DE CALIDAD Y PRODUCCIÓN

Las variables más representativas como lo son Brix (Sólidos totales), Pol % en caña, Pureza, producción y rendimiento, según Castillo (2004), no mostraron diferencias ($P < 0.05$) en el último mes de muestreo (Séptimo mes). Brix es el contenido de sólidos totales (Azúcares y no azúcares) en una solución de sacarosa pura; Pol % en caña, es la cantidad de sacarosa en el jugo de caña; Pureza expresa en términos de porcentaje la proporción en que se encuentra la sacarosa o Pol respecto a los sólidos totales en el jugo de caña.

Tanto la distribución del riego durante el ciclo como las condiciones edáficas degradadas afectan los valores que se obtuvieron. Hay que tomar en cuenta que la caña de azúcar acumula la mayor cantidad de azúcares en los tres meses antes de cosecha, los cual no se logró evaluar, ya que el último muestreo se realizó en el séptimo mes del cultivo.

No se encontró diferencia ($P < 0.05$) humedad y fibra. El contenido de Brix es muy importante, ya que a medida que aumenta, también lo hacen los sólidos totales y la sacarosa³. En esta variable no se encontraron diferencias ($P < 0.05$), pero las fertilizaciones Convencional y Alternativa Fraccionada obtuvieron los mejores promedios. En cuanto a Pol (% en caña) no se encontró diferencia ($P < 0.05$), aunque la fertilización Convencional obtuvo el mayor promedio de 10.7 (Cuadro 10).

Cuadro 10. Variables de calidad y rendimiento al séptimo mes.

Tratamientos	Porcentaje (%)						Producción t/ha	Azúcar kg/t	Azúcar kg/ha
	Humedad	Fibra	Brix	Pol	Pureza	Azúcares Reductores			
Convencional	75.9	15.3	13.1	10.7	81.8	1.7	47	107	4952
Alternativa Fraccionada	76.0	16.0	13.1	10.5	79.9	1.7	46	105	4088
Convencional Fraccionada	75.0	16.1	12.2	9.9	80.8	1.7	46	99	4537
LSD	2.4	2.8	0.9	0.9	2.4	0.3	19.0	8.6	1795
R ²	0.65	0.41	0.74	0.70	0.58	0.42	0.66	0.69	0.64
CV	2.9	16.3	6.8	7.7	2.7	16.1	39.0	7.7	36.4

² Díaz, D. 2004. Riego en caña de azúcar. San Juan de Flores, Compañía Azucarera Tres Valles. Comunicación personal.

³ Escalante, K. 2004. Control de calidad en caña de azúcar. San Juan de Flores, Compañía Azucarera Tres Valles. Comunicación personal.

En cuanto a rendimiento y producción se destaca que la fertilización Convencional obtuvo los mejores resultados, con una producción de 47 t/ha de caña y un rendimiento de 107 kg/t de azúcar comercial (Cuadro 10), seguido por la fertilización Convencional Fraccionada con una producción de 46 t/ha de caña y un rendimiento de 99 t/ha, pero estos datos no son diferentes ($P < 0.05$), limitando la validez de la aseveración.

Las variables de control de calidad también mostraron correlaciones ($P < 0.05$) con ciertos elementos. A mayor nivel de potasio a nivel foliar, la humedad de la caña aumenta y a mayor nivel de zinc en la hoja los contenidos de fibra aumentan (Cuadro 11), esto es para el quinto mes del cultivo. Para el séptimo mes se encuentra correlación entre el contenido de zinc a nivel foliar y Brix, así, al obtener niveles altos de zinc en la hoja se puede decir que obtendremos mayor grados Brix.

Cuadro 11. Correlaciones de los análisis de suelos con las variables de calidad.

Correlación *	Análisis Foliares	
	Mes 5	Mes 7
K Foliar : Humedad Caña	0.69	-
Zn Foliar : Fibra Caña	0.74	-
Zn Foliar : Brix Caña	-	0.71

* Datos seleccionados a valores mayores a 0.70 y $P < 0.05$

- No se encontraron correlaciones

3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO

El costo fijo en el que incurre la finca Sociedad Rosario es de 1,100 US\$/ha (Anexo 11), el cual corresponde a las diversas labores realizadas al cultivo. Aquí no se incluye el costo de la aplicación de fertilizante. Se determinó el costo de las formulaciones utilizadas de acuerdo a los anexos 12, 13 y 14. El tratamiento que incurre en mayores costos es la Fertilización Alternativa Fraccionada con 1,382 US\$/ha (Cuadro 12), esto se debe a que la cantidad de sulfato de amonio, como fuente de nitrógeno, es mayor en este tratamiento, además existe un costo adicional por la segunda aplicación realizada por el fraccionamiento. La Fertilización Convencional resultó con el costo más bajo siendo este 1,220 US\$/ha.

Cuadro 12. Costos incurridos en los tratamientos expresados en US\$/ha.

Actividad	Fertilización			
	Convencional	Alternativa Fraccionada		Convencional Fraccionada
		1	2	1 2
Costos Fijos	1100		1100	1100
Carga, descarga fertilizante	0.8	0.8	0.5	0.4 0.3
Transporte fertilizante	1.7	1.7	1.2	1.0 0.7
Aplicación fertilizante	19	19	19	19 19
Costo fertilizante (Suelo)	98	178	60	53 45
Costo/Tratamiento	1220		1382	1239
Costo/Aplicación	120		281	139

Los costos de carga, descarga y transporte de fertilizantes se obtuvieron de acuerdo a la cantidad de kilogramos con los que contaba cada formulación. Los ingresos se determinaron de acuerdo al análisis de calidad realizado en el séptimo mes de crecimiento. La fertilización Convencional es la que tuvo una mayor producción y rendimiento, por lo tanto los ingresos fueron los mayores con 1,727 US\$/ha y el tratamiento con menor ingreso es la fertilización Alternativa Fraccionada con 1,450 US\$/ha (Cuadro 13).

Cuadro 13. Determinación de los ingresos para cada uno de los tratamientos.

Fertilización	Producción (t/ha)	Rendimiento (kg/t)	Azúcar Total (kg/ha)	Azúcar (kg/ha)	Ingresos US\$/ha
Convencional	47	107	5056	3741	1727
Alternativa Fraccionada	41	105	4245	3142	1450
Convencional Fraccionada	46	99	4588	3395	1567

El análisis de rentabilidad se realizó sobre las utilidades obtenidas siendo estas mayores en la Fertilización Convencional con 507 US\$/ha, obteniendo así la mayor rentabilidad, de 29% (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de rentabilidad sobre las utilidades.

Fertilización	Costo Total	Ingreso	Utilidad	Rentabilidad (%)
Convencional	1220	1727	507	29
Alternativa Fraccionada	1382	1450	68	5
Convencional Fraccionada	1239	1567	328	21

4. CONCLUSIONES

No se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre los programas de fertilización al séptimo mes del cultivo para las variables de mayor importancia, por lo que se recurrió al uso de indicadores económicos para definir el mejor tratamiento.

Las condiciones edáficas del horizonte superior de los suelos en los que se llevó a cabo el experimento no presentaron variaciones físicas ni químicas. Se encontraron limitantes físicas en horizontes intermedios debido al alto contenido de arcilla.

La Fertilización Convencional es la que tiene mejor utilidad (507 US\$/ha) y mejor rentabilidad sobre ingresos (29%). Los costos totales en los que incurrió este programa fueron los más bajos (1,220 US\$/ha).

El programa con mejor desempeño bajo las condiciones del experimento es la Fertilización Convencional, esto se determinó con base en los indicadores económicos, ya que son de gran importancia para Tres Valles.

Nutricionalmente la Recomendación Alternativa de Fertilización Fraccionada mejoró los niveles de nutrientes en la planta, basandose en un aumento de los nutrientes a nivel foliar tanto en el quinto como en el séptimo mes del cultivo.

5. RECOMENDACIONES

Tomar los datos en el punto de madurez del cultivo, para determinar los valores finales de las variables evaluadas.

Correlacionar los resultados de la toma de datos al séptimo mes del cultivo, con los resultados reales tomados al final del ciclo, con resultados positivos se podrían realizar predicciones sobre la producción del cultivo.

Repetir el estudio en el ingenio Tres Valles, tomando en cuenta unidades geomorfológicas, sistema de riego, variedad y edad del cultivo representativos de las zonas con las que cuenta el ingenio.

Debido a que el aprovechamiento de las altas dosis de Nitrógeno no fue eficiente por el cultivo, ya que existen limitantes físicas en el suelo y disponibilidad de agua para lograr el máximo consumo por la planta, no se deben aumentar las dosis de elementos al suelo si estas condiciones no son mejoradas.

Evaluar el aprovechamiento de las aplicaciones foliares bajo las condiciones edáficas y climáticas del ingenio Tres Valles.

Mejorar el desempeño de los sistemas de riego y realizar las enmiendas físicas correspondientes para lograr un máximo aprovechamiento de cada programa nutricional.

6. BIBLIOGRAFÍA

AHPPER (Asociación Hondureña de Pequeños Productores de Energía Renovable). 2004. Asociación y Cartera de Proyectos (en línea). Consultado 28 de jul. 2004. Disponible en: http://www.ahpper.hn/sec_02_01.htm.

Benton, J.Jr; Wolf, J.B.; Mills, H.A. 1991. Plant analysis hand book. Micromacro Publishing Inc. 195 p.

Compañía Azucarera Tres Valles (CATV). 2004. Manual de procedimientos de control de calidad (folleto). 26 p.

Fageira, N.K., Baligar, V.C., Jones, C.A. 1997. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. Ed. Marcel Decker. N.Y, U.S.A. 612 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1977. Guía para la descripción de perfiles de suelo. 2 ed. 70 p.

Fauconnier, R.; Bassereau, D. 1975. La Caña de Azúcar. Blume. España. 433 p.

Gauggel, C. 2003. Matriz de diagnóstico para determinar la biodisponibilidad de los nutrientes. Zamorano, Honduras. Inédito. 2 p.

INE (Instituto Nacional de Estadística). 2002. Actualidad del Comercio Exterior (en línea). Consultado 1 oct 2003. Disponible en: <http://www.ine-hn.org/enconomica/pdf/exportacion%20de%20azucar%201997-2001.pdf>.

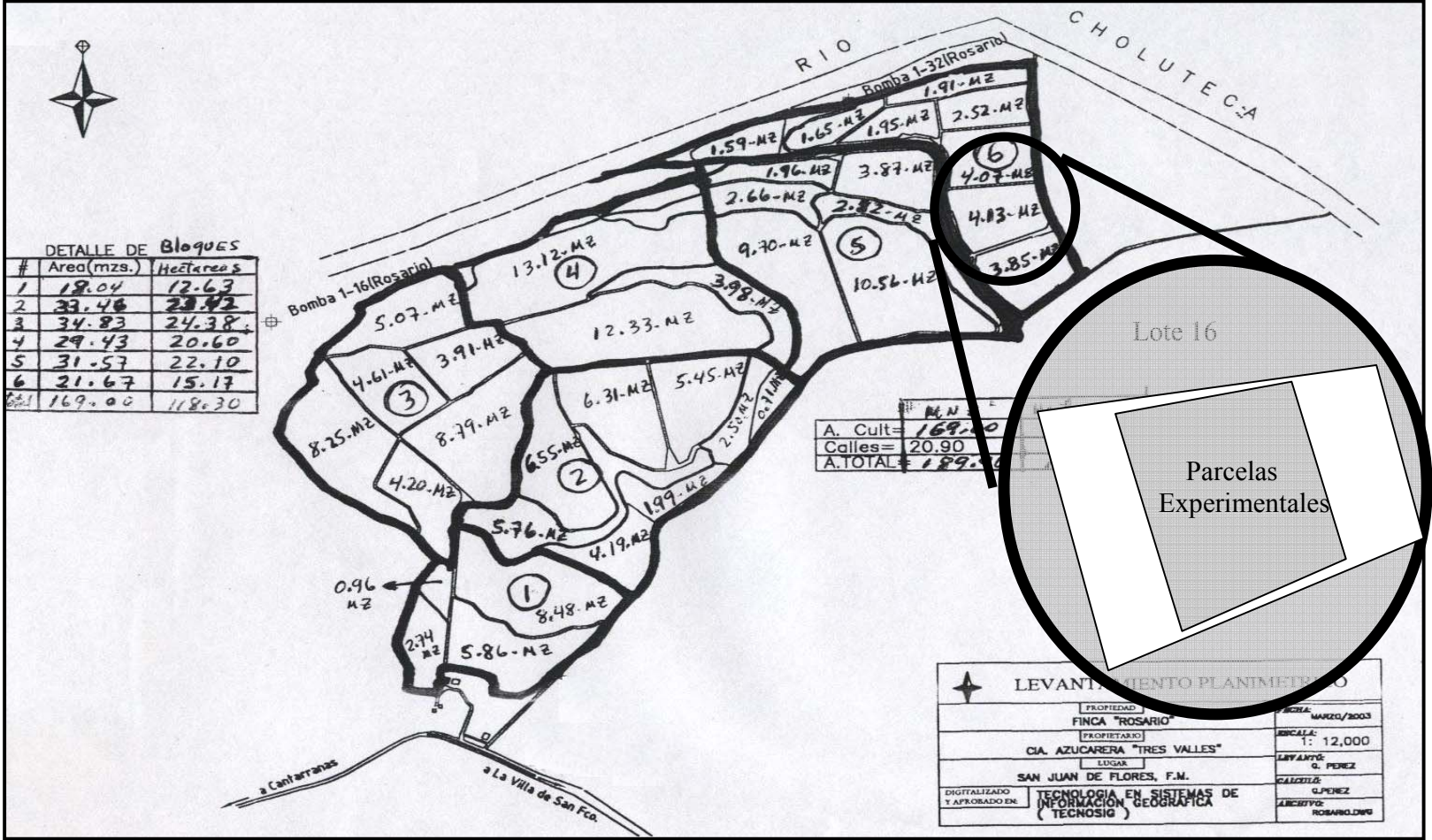
Landon, J.R. 1991. Booker Tropical Soil Manual. Longman Scientific & Technical. pág. 281.

Subiros R, F. 2000. El cultivo de la caña de azúcar. Editorama. San José, C.R. 448 p.

Soil Survey Staff. 1992. Keys to Soil Taxonomy. 5 ed. SMSS technical monograph No. 19. Blacksburg, Virginia: Pocahontas Press, Inc. 556 p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del experimento en la finca Sociedad Rosario



Anexo 2. Porcentaje de elementos en peso de los fertilizantes.

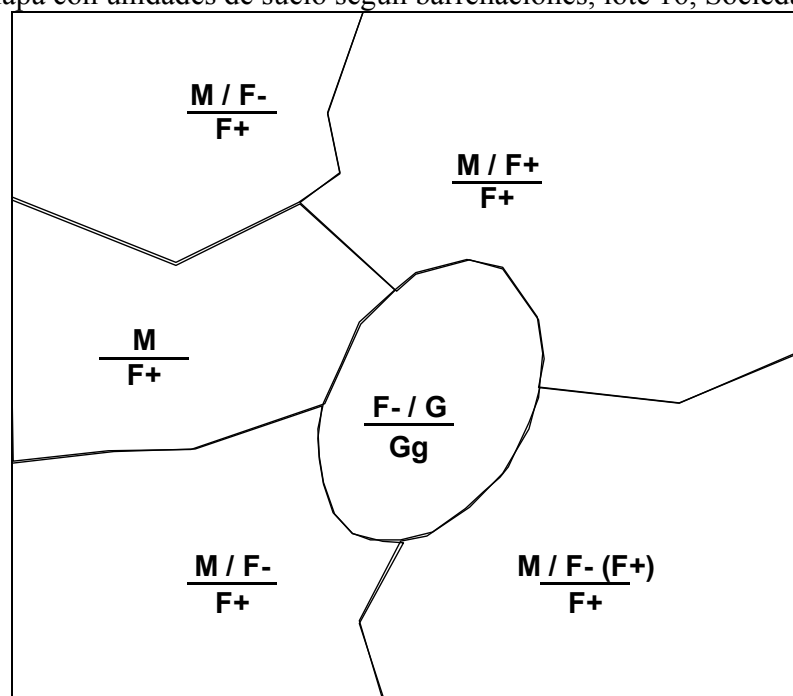
Fertilizantes	Elementos (%)								
	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	Zn	B	S	Cl
Urea	46	0	0	0	0	0	00	0	
Sulfato de Amonio	21	0	0	0	0	0	024	1	
Fosfato monoamónico (MAP)	12	61	20	1	0	0	02	0	
Fosfato diamónico (DAP)	18	46	0	0	0	0	00	0	
Cloruro de potasio Granular	0	0	60	0	0	0	00	47	
Sulfato de Mg Granular	0	0	0	2	11	0	014	0	
Nitrato de calcio Soluble	16	0	0	26	2	0	00	0	
Sulfato de Zn Granular	0	0	0	0	0	22	09	0	
Granubor	0	0	0	0	0	0	210	0	

Anexo 3. Descripción de las barrenaciones realizadas en el lote 16, finca Sociedad Rosario.

Profundidad (cm)	B1		B2		B3	
0 - 5		7.5YR 4/4 Pardo		7.5YR 4/4 Pardo	Franco	7.5YR
5 - 10					Arcilloso	3/3 Pardo
10 - 15					Piedra	
15 - 20	Franco	7.5YR	Franco	7.5YR		
20 - 25	Arenoso	3/1 Gris muy Oscuro	Arenoso	3/3 Pardo Oscuro		
25 - 30						
30 - 35						
35 - 40						
40 - 45	Franco	10YR 2/2		7.5YR		
45 - 50	Arcillo	Pardo		3/4 Pardo		
50 - 55	Arenoso	muy Oscuro		Oscuro		
55 - 60						
60 - 65						
65 - 70		10YR 3/2	Arcilloso			
70 - 75		Pardo		7.5YR		
75 - 80	Arcilloso	muy Oscuro		4/5 Pardo Rojizo		
80 - 85						
85 - 90						
90 - 95		7.5YR				
95 - 100		4/4 Pardo				
Unidades de Suelos	M / F- F+		M / F+ F+		F- / G Gg	

Profundidad (cm)		B4		B5		B6		
0	-	5		Franco Arenoso	7.5YR 3/2 Pardo	Franco Arenoso	10YR 2/1 Negro	
5	-	10						
10	-	15						
15	-	20						
20	-	25						
25	-	30	Franco Arenoso	7.5YR 4/4 Pardo	Franco Arcillo Arenoso	7.5YR 2.5/1 Negro	Franco Arcilloso	7.5YR 4/6 Pardo
30	-	35						
35	-	40						
40	-	45						
45	-	50						
50	-	55						
55	-	60						
60	-	65				Arcilloso	7.5YR 4/2 Pardo	
65	-	70						
70	-	75						
75	-	80	Arcilloso	7.5YR 3/2 Pardo Oscuro	Arcilloso	7.5YR 3/2 Pardo Oscuro		
80	-	85						
85	-	90				Franco Arcillo Arenoso	5YR 5/6 Rojo Amarillento	
90	-	95						
95	-	100						
Unidades de Suelos		<u>M</u> F+		<u>M / F-</u> F+		<u>M / F- (F+)</u> F+		

Anexo 4. Mapa con unidades de suelo según barrenaciones, lote 16, Sociedad Rosario.



Anexo 5. Descripción de minicalicatas realizadas en las doce parcelas experimentales.

U.S.	Cal	Hor	Prof.	Color			Moteo	%	Tex	Estructura			C.H.	R.P.	Poros			Raíces		Límite	
										Tipo	Grado	Clase			Tam	For	Cant	Tam	Cant	Top	Nit
M F-	1	Ap	00-10	10YR 3/3 Pardo Oscuro					FL	ba g	d f	m m	f	1.1	t	t	m	tg	m	p	g
		Ap2	10-25	10YR 3/3 Pardo Oscuro		10YR 2/1 Negro		15	F	bsa	f	m f	f	2.5	m	v	f	tg	m	o	g
		Ad	25-45	10YR 2/1 Negro					FAr	ba	d	m f	f	2.3	m f	t	f	tg	m	i	a
		Bw	45-50X	10YR 3/2 Pardo Oscuro Grisáceo					FAr	bsa	d	m f	f	1.7	f	t	f	m	f		
M F- F+	2	Ap	00-16	7.5YR 2.5/1 Negro		7.5YR 4/4 Pardo		30	F	bsa	d	m f	f	1.0	m f	t	m	tg	m	p	a
		Ap2	16-27	7.5YR 2.5/1 Negro					FAr	bsa	d	m f	f	2.6	m f	v	m	f	m	p	a
		Ap3	27-40	5YR 2.5/1 Negro					FAr	bsa	d	m f	f	1.5	f	t	m	m	m	o	g
		Bw	40-50X	5YR 3/2 Pardo Rojizo oscuro					Ar	p	f	g	mfi	1.3	m f	v	m	f	m		
M F- F+	3	Ap	00-18	10YR 3/2 Pardo muy Oscuro		7.5YR 4/4 Pardo		30	FL	bsa	d	g	f	1.1	m f	p v t	m	tg	m	o	g
		Ap2	08-15	10YR 3/1 Gris muy Oscuro					FL	ba	m	m f	f	2.8	t	t	m	tg	m	o	d
		Ad	15-30	7.5YR 2.5/1 Negro					FAr	ba	m d	g m	f	3.6	g f	t	f	tg	p	o	g
		Bw	30-40	10YR 4/2 Pardo Oscuro Grisáceo					FArA	ba	d	g m	fi	3.0	m f	v	f	m	f	p	g
		2C	40-50X	7.5YR 4/2 Pardo					ArA	p	f	g	p	1.3	f	v	f	f	p		
M F-	7	Ap	00-20	7.5YR 3/2 Pardo Oscuro					F	ba	d	m	f	1.3	g g m	t v	f f	tg	m	p	g
		2Adb	20-35	10YR 2/1 Negro					F		m		fi	4.7	g	t	m	g	f	o	g
		3Bw	35-50X	7.5YR 3/3 Pardo Oscuro					FAr	ba	f	m	f	4.8	f	t	f	g	p		

Anexo 5. (Continuación)

U.S.	Cal	Hor	Prof.	Color	Moteo	%	Tex	Estructura			C.H.	R.P.	Poros			Raíces		Límite	
								Tipo	Grado	Clase			Tam	For	Cant	Tam	Cant	Top	Nit
M F-	8	Ap	00-10	7.5YR 2.5/2 Pardo muy Oscuro			F	bsa	d	m	f	3.8	m f	t	f	tg	m	p	a
		2Ad	10-28	5YR 2.5/2 Pardo Oscuro Rojizo			FA		m		fi	4.5	m f	t	f	m f	p	p	g
		3C	28-50	7.5YR 3/2 Pardo Oscuro			FAr	bsa	d	m	f	4.1	m f	t	p	m	p	p	g
M(F-) F+	10	Ap	00-21	7.5YR 2.5/3 Pardo muy Oscuro			FL	ba	d	m f	f	1.0	t	t	m	tg	m	p	g
		Ap2	21-36	7.5YR 2.5/2 Pardo muy Oscuro			FAr	bsa	f	m	fi	1.0	g f	t r	p m	m f	f	p	g
		2C	36-50X	5YR 4/4 Pardo Rojizo			Ar	ba	d	m	f	2.0	f f	t r	p p	f	p		
M F- M	4	Ap	00-8	7.5YR 2.5/1 Negro			F	ba g	d f	m f	f	2.7	t	p v	t r m	tg	m	p	g
		Ap2	8-18	7.5YR 3/1 Gris muy oscuro			FAr	ba	d	m f	f	2.8	m f	t	m	m f	m	p	g
		Bwd	18-34	5YR 3/1 Pardo muy oscuro			FAr	ba	f	m	f	4.2	f	t	f	g m	f	p	g
		2C	34-47	10 YR 4/2 Pardo grisáceo oscuro			FA	ba		g m	f	1.9	f	t	m	g m	f	p	a
M F- M	6	Ap	00-13	10YR 4/3 Pardo			F	bsa	d	m f	f	2.5	f	p t v	r f	tg	m	p	g
		2Adb	13-34	10YR 3/2 Pardo Oscuro Grisáceo			FAr	bsa	d	m	f	4.8	m f	t	p	tg	f	p	g
		3Cx	34-50X	10YR 4/4 Pardo Amarillento Oscuro	10 YR Pardo	10	FA		m		mfi	4.4	f	t	p	m	f		
F- M F-	5	Ap	00-17	10YR 2/2 Pardo muy Oscuro			FAr	ba g	d	g	f	2.3	f	t	m	tg	m	p	g
		Ad	17-30	10YR 2/1 Negro			FAr	bsa	d	g	f	4.4	f	v	f	tg	m	o	g
		2C	30-40	5YR 3/2 Pardo Rojizo oscuro			FA	ba	f	m	fi	4.8	f	t	f	tg	m	i	p
		3Ab	40-50X	7.5 2.5/2 Pardo muy Oscuro			FAr	ba	f	m f	f	4.7	m f	t	f	m	f		

Anexo 5. (Continuación)

U.S.	Cal	Hor	Prof.	Color	Moteo	%	Tex	Estructura			C.H.	R.P.	Poros			Raíces		Límite	
								Tipo	Grado	Clase			Tam	For	Cant	Tam	Cant	Top	Nit
M F+	9	Ap	00-10	7.5YR 1/3 Pardo			FL	g bsa	d	g	f	1.0	m f g	t v	f m	tg	m	p	a
		2Ap	10-32	7.5YR 2,5/2 Pardo muy Oscuro			F	ba	d	m	f	1.8	g m	t r	p f	g	f	p	a
		3C	32-50	5YR 4/4 Pardo Rojizo	10YR 4/6 Pardo	10	ArA	p	f	g	pg	1.2	m f	t r	m f	f	f		
M F+	12	Ap	00-24	7.5YR 3/2 Pardo Oscuro			FL	ba	d	g m	f	4.1	m	t	p	tg	m	p	g
		Ap2	24-38	7.5YR 3/3 Pardo Oscuro			FA	bsa	d	g m	f	3.6	f	r	f	f	p	p	g
		2C	38-50X	7.5YR 4/3 Pardo	10YR 4/6 Pardo	10	Ar	p	f	g	pg	2.3	g	t	p	g	p		
M	11	Ap	00-15	7.5YR 3/2 Pardo Oscuro			FL	g bsa	d d	m m	f	2.4	m	r	p	tg	m	p	a
		Ap2	15-35	10YR 2/2 Pardo muy Oscuro			F		m		fi	3.2	m f	v t	f p	m g	p	p	a
		2C	35-50X	7.5YR 4/3 Pardo			FA	ba	d	m	f	3.7	f	t	p	m	p		

Abreviaturas: Encabezado: Cal =Calicata, U.S. =Unidad de Suelos; Hor =Horizonte; Prof =Profundidad; Tex =Textura; C.H. =Consistencia en húmedo; R.P. =Resistencia a la penetración; **Poros:** Tam =Tamaño; For =Forma; Cant =Cantidad; **Raíces:** Tam = Tamaño; Cant =Cantidad; **Límite:** Top =Topografía; Nit =Nitidez. **Textura:** A = Arenoso; FA= Franco arenoso; F= Franco; FL= Franco Limoso; L= Limoso; FArA= Franco Arcillo Arenoso; FAr= Franco Arcilloso; FArL= Franco Arcillo Limoso; ArA= Arcillo Arenoso; ArL= Arcillo Limoso; Ar=Arcilloso; AF= Arenoso franco. **Estructura:** **Tipo:** g: granular; ba: bloques angulares; bsa: bloques subangulares; p: prisma; m: masivo; mi: migajosa; la: laminar; c: columnar. **Grado:** d: débil; m: moderado; f: fuerte; **Clase:** mf: muy finos; f: finos; m: medianos; g: gruesos; mg: muy gruesos. **Consistencia:** **En mojado:** npg: no pegajoso; lpg: ligeramente pegajoso; pg: pegajoso; mpg: muy pegajoso. **Plasticidad:** np: no plástico; lp: ligeramente plástico; p: plástico; mp: muy plástico. **En húmedo:** s: suelto; mf: muy friable; f: friable; fi: firme; mfi: muy firme; **En seco:** s: suelto; b: blando; ld: ligeramente duro; d: duro; md: muy duro; ed: extremadamente duro. **Poros:** **Tamaño:** t: todos los tamaños; g: gruesos; m: medianos; f: finos; mf: muy finos; a: ausentes. **Forma:** p: planares; v: vesiculares; t: tubulares; r: reticulares; **Frecuencia:** a: ausentes; p: pocos; f: frecuentes; m: muchos. **Continuidad:** c: conectados; nc: no conectados. **Raíces:** **Tamaño:** tg: todos los grosores; mf: muy finas; f: finas; m: medianas; g: gruesas; mg: muy gruesas. **Cantidad:** a: ausentes; p: pocos; f: frecuentes; m: muchos. **Límite:** **Topografía:** p: plano; o: ondulado; i: irregular; **Nitidez:** a: abrupto; g: gradual; d: difuso.

Anexo 6. Profundidad de horizontes y características texturales de las minicalicatas descritas en las parcelas.

Minicalicatas															
Profundidad (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
0 - 5	M	M	M	M	F-	M	M	M	M	M	M	M			
5 - 10		F-	F-	F-		F-									
10 - 15															
15 - 20	F-			M	F-	M	F-	F+	F+	M	F+				
20 - 25															
25 - 30															
30 - 35	F-	F+	F+	M	F-	M	F-	F-	F+	F+	M	F+			
35 - 40															
40 - 45															
45 - 50															

Unidades de mapeo:
M = Texturas francas (Franco Limoso, Franco Arenoso y Franco)
F- = Texturas con arcillas livianas (Franco Arcilloso, Franco Limoso, Franco Arcillo Arenoso)
F+= Texturas con arcillas pesadas (Arcilloso, Arcilloso Limoso, Arcillo Arenoso)

Anexo 7. Análisis de suelos tomado tercer mes de crecimiento.

TRT ^{&}	Bloque	pH (H ₂ O)	Porcentaje (%)		ppm (Extractable)									
			M.O. ^ε	N total	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
T1	B1	7.8	2	0.09	20	390	3640	270	18	2.4	150	220	4	0.5
T1	B2	7.5	3	0.13	20	404	3130	290	18	2.2	155	201	3	0.6
T1	B3	7.9	2	0.10	26	464	3500	260	20	2.5	153	218	3	0.6
T1	B4	7.9	2	0.11	22	476	3460	290	23	2.7	159	228	4	0.6
T2	B1	7.8	2	0.10	24	488	3860	300	20	2.5	145	223	4	0.6
T2	B2	7.8	2	0.10	26	444	3680	290	17	2.4	164	229	4	0.6
T2	B3	8.2	2	0.09	20	390	4300	300	19	2.6	170	236	5	0.5
T2	B4	7.7	2	0.09	24	518	3500	270	22	2.6	175	246	3	0.5
T3	B1	7.9	2	0.08	18	430	4200	320	20	2.6	151	215	5	0.7
T3	B2	7.8	2	0.11	16	478	3060	270	20	2.5	158	223	2	0.6
T3	B3	7.8	3	0.13	38	652	3300	280	26	2.4	149	212	3	0.7
T3	B4	8.0	2	0.10	26	498	3480	270	21	2.5	173	270	3	0.5
Promedios	T1	7.8	2	0.11	22	434	3433	278	20	2.5	154	217	3	0.59
	T2	7.9	2	0.09	24	460	3835	290	20	2.5	164	234	4	0.58
	T3	7.9	2	0.11	25	515	3510	285	22	2.5	158	230	3	0.65
Rangos	Min	6.0	3	0.10	13	98	800	180	20	0.1	90	60	1	0.5
Adecuados	Max	6.8	4	0.50	20	195	1200	250	30	3.0	100	70	5	8.0

& Tratamientos: **T1:** Fertilización Convencional; **T2:** Recomendación Alternativa de fertilización Fraccionada; **T3:** Fertilización Convencional Fraccionada.

E Materia orgánica

Anexo 8. Análisis foliar tomado el quinto mes de crecimiento.

TRT ^{&}	Bloque	Porcentaje (%)					ppm			
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
T1	B1	1.03	0.18	1.79	0.18	0.08	5	28	40	11
T1	B2	1.09	0.19	1.85	0.21	0.10	5	33	45	12
T1	B3	1.14	0.19	2.27	0.20	0.12	5	37	41	12
T1	B4	1.12	0.15	2.22	0.20	0.12	5	32	46	11
T2	B1	1.31	0.19	1.99	0.22	0.11	5	35	84	19
T2	B2	1.40	0.19	2.07	0.19	0.10	5	35	43	15
T2	B3	1.24	0.19	2.06	0.18	0.11	6	29	41	17
T2	B4	1.41	0.18	2.24	0.19	0.11	5	39	77	12
T3	B1	1.18	0.20	1.89	0.23	0.09	5	31	62	19
T3	B2	1.18	0.17	1.78	0.22	0.09	5	34	40	11
T3	B3	1.19	0.20	2.25	0.19	0.11	6	30	36	13
T3	B4	1.05	0.19	1.95	0.14	0.08	5	29	32	11
Promedios	T1	1.10	0.18	2.03	0.20	0.10	5	32	43	11
	T2	1.34	0.19	2.09	0.19	0.11	5	34	61	16
	T3	1.15	0.19	1.97	0.20	0.09	5	31	42	13
Rangos	Min	2.00	0.18	1.10	0.20	0.10	5	40	25	20
Adecuados	Max	2.60	0.30	1.80	0.50	0.35	15	250	400	100

& Tratamientos: **T1:** Fertilización Convencional; **T2:** Recomendación Alternativa de Fertilización Fraccionada; **T3:** Fertilización Convencional Fraccionada.

Anexo 9. Análisis foliar tomado el séptimo mes del crecimiento.

TRT ^{&}	Bloque	Porcentaje (%)					ppm			
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
T1	B1	0.88	0.14	2.00	0.27	0.12	3	45	61	17
T1	B2	0.83	0.15	1.99	0.25	0.13	3	23	59	17
T1	B3	0.88	0.13	2.11	0.28	0.14	4	32	49	27
T1	B4	0.93	0.14	1.96	0.22	0.11	4	31	38	23
T2	B1	0.98	0.14	1.96	0.29	0.14	2	33	58	17
T2	B2	1.00	0.14	1.99	0.28	0.14	3	36	69	17
T2	B3	0.96	0.14	2.14	0.34	0.18	3	33	103	21
T2	B4	1.01	0.15	1.98	0.26	0.12	4	36	53	13
T3	B1	0.94	0.17	2.19	0.25	0.11	3	32	67	15
T3	B2	0.86	0.16	1.96	0.23	0.11	5	32	41	16
T3	B3	0.95	0.15	2.20	0.27	0.13	3	32	52	16
T3	B4	0.94	0.16	1.82	0.22	0.10	4	39	40	15
Promedios	T1	0.88	0.14	2.01	0.26	0.13	3	32	52	21
	T2	0.99	0.14	2.02	0.29	0.15	3	35	71	17
	T3	0.92	0.16	2.04	0.24	0.12	4	33	50	15
Rangos	Min	2.00	0.18	1.10	0.20	0.10	5	40	25	20
Adecuados	Max	2.60	0.30	1.80	0.50	0.35	15	250	400	100

& Tratamientos: **T1:** Fertilización Convencional; **T2:** Recomendación Alternativa de Fertilización Fraccionada; **T3:** Fertilización Convencional Fraccionada.

Anexo 10. Matriz de nivel de los elementos en el suelo y foliar y biodisponibilidad de cada tratamiento.

		Nivel						Biodisponibilidad [¥]		
		Foliar								
		Mes 5			Mes 7					
Elemento	Suelo	T1 ^{&}	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
N	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	D	D	D
P	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Bajo	Bajo	Bajo	AD	AD	AD
K	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	AL	AL	AL
Ca	Alto	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	AD	AD	AD
Mg	Alto	Óptimo	Óptimo	Bajo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	AD	AD	BA
Cu	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Bajo	Bajo	Bajo	AD	AD	AD
Fe	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	BA	BA	BA
Mn	Alto	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	AD	AD	AD
Zn	Óptimo	Bajo	Bajo	Bajo	Óptimo	Bajo	Bajo	BA	BA	BA

& Tratamientos: **T1:** Fertilización Convencional; **T2:** Recomendación Alternativa de Fertilización Fraccionada; **T3:** Fertilización Convencional Fraccionada. ¥ Biodisponibilidad: **D:** Deficiente; **AD:** Adecuada; **AL:** Alta; **BA:** Baja.

Anexo 11. Costos fijos en los que incurre la finca Sociedad Rosario.

Actividades	L / mz ^ç	US\$ / ha ^{&}
1er riego, agua	1120	87
1er riego agua, Mano de Obra	130	10
Acarrioleo esquilmo	130	10
Desmatone pesado	90	7
Reparación cercos y bodega	210	16
2do riego agua	1120	87
2do riego agua, Mano de Obra	130	10
1er. Aplicación herbicida	130	10
3er riego agua	1120	87
3er riego agua, Mano de Obra	130	10
2a aplicación, herbicida	130	10
4o riego agua	1120	87
4o riego agua, Mano de Obra	130	10
5o riego agua	1120	87
5o riego agua, Mano de Obra	130	10
6o riego agua	1120	87
6o riego agua, Mano de Obra	130	10
7o riego agua	1120	87
7o riego agua, Mano de Obra	130	10
8o riego agua	1120	87
8o riego agua, Mano de Obra	130	10
Drenaje parcelario	22	2
Rondas y calles	130	10
Aplicación fertilizante foliar	130	10
Aplicación regulador crecimiento	188	15
Costo herbicidas	653	51
Costo fertilizante foliar	66	5
Costo regulador crecimiento	366	28
Manejo Integrado Plagas	314	24
Administración Agrícola	1615	125
Total	14174	1100

& Tasa de cambio: 18.4 L/US\$

ç 1 mz = 0.7 ha

Anexo 12. Precio de fertilizantes utilizados en el experimento.

Producto	Unidad	Valor US\$	US\$/kg	L/kg ^{&}
Sulfato de Amonio	qq [¥]	5.35	0.1	2.1
DAP	qq	11.41	0.3	4.6
KCl Granular	qq	7.02	0.2	2.7
Sulfato de Mg Granular	50 kg	15.5	0.3	5.6
Sulfato de Zn Granular	50 kg	24.03	0.4	7.9
Granubor	25 kg	35.8	1.4	25.2
Ferticultivo 2-A	qq	9.9	0.22	3.96

¥ 1 qq = 45 kg & Tasa de cambio: 18.4 L/US\$

Anexo 13. Costo del fertilizante usado en los tratamientos (US\$/ha).

Producto	Convencional	Fertilización			
		Alternativa Fraccionada		Convencional Fraccionada	
		1	2	1	2
Sulfato de Amonio	62	42	47	37	25
DAP	16	0	0	8	8
KCl Granular	20	2	6	8	12
Sulfato de Mg Granular	0	84	0	0	0
Sulfato de Zn Granular	0	3	3	0	0
Granubor	0	5	5	0	0
Ferticultivo 2-A	0	42	0	0	0
Total (US\$/ha)	98	178	60	53	45