

**Desarrollo de curvas de absorción de
nutrientes en el cultivo de caña de azúcar
(*Saccharum officinarum*), variedades CP
722086 y MEX 69290**

**Diego Manuel Mayorga Valladares
Ernesto Miguel Ángel Loáisiga Vallejos**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2015

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Desarrollo de curvas de absorción de
nutrientes en el cultivo de caña de azúcar
(*Saccharum officinarum*), variedades CP
722086 y MEX 69290**

Proyecto especial presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingenieros Agrónomos en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Diego Manuel Mayorga Valladares
Ernesto Miguel Ángel Loáisiga Vallejos**

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2015

Desarrollo de curvas de absorción de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), variedades CP 722086 y MEX 69290

Presentado por

Diego Manuel Mayorga Valladares
Ernesto Miguel Ángel Loáisiga Vallejos

Aprobado:

Gloria Arévalo de Gauggel, Dra.
Asesora Principal

John Jairo Hincapié, Ph.D.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria

Moisés Castellanos, Ing. Agr.
Asesor

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Abelino Pitty, Ph.D.
Asesor

**Desarrollo de curvas de absorción de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar
(*Saccharum officinarum*), variedades CP 722086 y MEX 69290**

**Diego Manuel Mayorga Valladares
Ernesto Miguel Ángel Loáisiga Vallejos**

Resumen. La curva de absorción de nutrientes determina la cantidad de cada elemento que consume un cultivo a lo largo de su ciclo de vida, define los períodos de alta demanda de cada nutriente y en consecuencia el mejor momento para la aplicación de los mismos, aumentando la productividad del cultivo. Los objetivos del estudio fueron: Desarrollar curvas de absorción de nutrientes en caña de azúcar para las variedades CP 722086 y MEX 69290, determinar la cantidad de nutrientes en kilogramos para producir una tonelada de caña. Se estudiaron las propiedades físicas y químicas del suelo para cada una de las fincas. En las raíces, tallos, hojas verdes y secas se determinó N por el método de kjeltec (modificación del método de Kjeldhal). P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn se extrajeron por digestión húmeda con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno y fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica excepto P, cuantificándose por espectrofotometría a través del método de azul de molibdeno. B y S fueron extraídos con una digestión seca, el B se determinó con el método de la curcumina modificado y el S por el método de turbidimetría; ambos cuantificados por espectrofotometría en el rango visible. La variedad CP 722086 absorbió en kilogramos por hectárea: N=274, P=40, K=513, Ca=89, Mg=38, S=102, Fe=37 y en gramos por hectárea: Cu=1030, Mn=7880, Zn=3625, B=1270; la variedad MEX 69290 absorbió en kilogramos por hectárea: N=281, P=38, K=482, Ca=112, Mg=93, S=130, Fe=6 y en gramos por hectárea: Cu=210, Mn=1890, Zn=630, B=140.

Palabras clave: Formulaciones, productividad, requerimientos de nutrientes.

Abstract. The nutrient absorption curve determines the quantity of each element that consumes a crop along its life cycle, defines the high demand periods of each nutrient and therefore the correct time for the application, increasing the productivity of the crop. The objectives of the study were: Develop nutrient absorption curves in sugar cane to the varieties CP 722086 and MEX 69290, determine the amount of nutrient in kg to produce a ton of cane. The physical and chemical properties of the soil were studied for each one of the farms. From the roots, stalks, green and dry leaves, N was determined by kjeltec method (kjeldhal method modification). P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn were extracted by wet digestion with sulfuric acid and hydrogen peroxide and were determined by atomic absorption spectrophotometry except P, quantified by spectrophotometry through molybdenum blue method. B and S were extracted with a dry digestion, B was determined by modify curcumin method and S by turbidimetry method; both quantify by spectrophotometry in the visible range. The variety CP 722086 absorbed in kilograms per

hectare: N=274, P=40, K=513, Ca=89, Mg=38, S=102, Fe=37 and in grams per hectare: Cu=1030, Mn=7880, Zn=3625, B=1270; The variety MEX 69290 absorbed in kilograms per hectare: N=281, P=38, K=482, Ca=112, Mg=93, S=130, Fe=6 and in grams per hectare: Cu=210, Mn=1890, Zn=630, B=140.

Key words: Formulations, nutrient requirements, productivity.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iv
Contenido	v
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
4. CONCLUSIONES	20
5. RECOMENDACIONES	21
6. LITERATURA CITADA.....	23
7. ANEXOS	24

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Disponibilidad de nutrientes en el suelo para la variedad CP 722086 al inicio y al final del cultivo en la finca Entre Ríos (lote 3) en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.	8
2. Disponibilidad de nutrientes en el suelo para la variedad CP 722086 al inicio y al final del cultivo en la finca Granadilla (lote 28) en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.	8
3. Disponibilidad de nutrientes en el suelo para la variedad MEX 69290 al inicio y al final del cultivo en la finca Higüeros 1 (lote 10) en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.	9
4. Disponibilidad de nutrientes en el suelo para la variedad MEX 69290 al inicio y al final del cultivo en la finca Higüeros 2 (lote 53) en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.	9
5. Cantidad de nutrientes aplicados al suelo y extraídos por el cultivo de caña de azúcar en kilogramos por hectárea en el ciclo de cultivo para la variedad CP 722086 en las fincas Entre Ríos (lote 3) y Granadilla (lote 28), ubicadas en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras..	9
6. Cantidad de nutrientes aplicados al suelo y extraídos por el cultivo de caña de azúcar en kilogramos por hectárea en el ciclo de cultivo para la variedad MEX 69290 en las fincas Higüeros 1 (lote 10) e Higüeros 2 (lote 53), ubicadas en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras..	10
7. Cantidad de nutrientes (kg/ha) almacenados por hojas secas y raíces para cada una de las variedades	18
8. Cantidad de nutrientes almacenados en hojas secas y raíces en la variedad CP 722086, expresados en cantidad de fertilizantes y costos de fertilizantes utilizados por la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras..	19
9. Cantidad de nutrientes almacenados en hojas secas y raíces en la variedad MEX 69290, expresados en cantidad de fertilizantes y costos de fertilizantes utilizados por la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.	19
Figuras	Página
1. Ubicación geográfica de fincas del Ingenio Tres Valles, Francisco Morazán, Honduras. 14°14' N, 86° 59' W. Altura 650 msnm.	3
2. Diagrama de un lote de 1 ha del cultivo de caña de azúcar, para determinar densidad poblacional	4

3. Absorción de nitrógeno (N) y potasio (K) acumulado por el cultivo de caña de azúcar, variedad CP 722086, Fincas Entre Ríos y Granadilla, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.	11
4. Porcentaje de nitrógeno (N) y potasio (K) absorbidos por el cultivo de caña de azúcar, variedad CP 722086, Fincas Entre Ríos y Granadilla, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras..	11
5. Absorción de nitrógeno (N) y potasio (K) acumulado por el cultivo de caña de azúcar, variedad MEX 69290, Fincas Higüeros 1 e Higüeros 2, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.	12
6. Porcentaje de nitrógeno (N) y potasio (K) absorbidos por el cultivo de caña de azúcar, variedad MEX 69290, Fincas Higüeros 1 e Higüeros 2, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras	12
7. Absorción de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) acumulado por el cultivo de caña de azúcar, variedad CP 722086, Fincas Entre Ríos y Granadilla, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras	13
8. Porcentaje de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) absorbidos por el cultivo de caña de azúcar, variedad CP 722086, Fincas Entre Ríos y Granadilla, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.	14
9. Absorción de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y azufre (S) acumulado por el cultivo de caña de azúcar, variedad MEX 69290, Fincas Higüeros 1 e Higüeros 2, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.....	14
10. Porcentaje de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y azufre (S) absorbidos por el cultivo de caña de azúcar, variedad MEX 69290, Fincas Higüeros 1 e Higüeros 2, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras..	15
11. Absorción de cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y boro (B) acumulado por el cultivo de caña de azúcar, variedad CP 722086, Fincas Entre Ríos y Granadilla, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.	16
12. Porcentaje de cobre (Cu), manganeso (Mn), Zinc (Zn) y boro (B) absorbidos por el cultivo de caña de azúcar, variedad CP 722086, Fincas Entre Ríos y Granadilla, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.	16
13. Absorción de cobre (Cu), manganeso (Mn), Zinc (Zn) y boro (B) acumulado por el cultivo de caña de azúcar, variedad MEX 69290, Fincas Higüeros 1 e Higüeros 2, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras..	17
14. Porcentaje de cobre (Cu), manganeso (Mn), Zinc (Zn) y boro (B) absorbidos por el cultivo de caña de azúcar, variedad MEX 69290, Fincas Higüeros 1 e Higüeros 2, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras	17

Anexos

Página

1. Mapa de finca La Granadilla, Francisco Morazán, Honduras. Fuente: CATV	24
2. Mapa de finca Entre Ríos, Francisco Morazán, Honduras. Fuente: CATV	25
3. Mapa de finca Los Higueros, Francisco Morazán, Honduras. Fuente: CATV.	25
4. Comparación de relaciones de nutrientes de este estudio con otros realizados para la variedad CP 722086.	26
5. Comparación de relaciones de nutrientes de este estudio con otros realizados para la variedad MEX 69290..	26

1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) de la familia de las gramíneas es una especie originaria de Nueva Guinea. Es conocida como la caña noble, se caracteriza por su alto contenido de sacarosa, tallos gruesos y pesados y con bajos contenidos de fibra. Se presume que esta especie es el resultado de la domesticación de tipos silvestres de *S. robustum*. Los subproductos que se pueden obtener de la caña son: Bagazo, miel, alcohol, panela, energía eléctrica y papel (Subirós 1995).

El crecimiento de la caña de azúcar es influenciada por la temperatura, el rango óptimo del cultivo se ubica entre los 27°C y 33°C. A 20°C el crecimiento disminuye notoriamente y si la temperatura se reduce más, el crecimiento prácticamente se paraliza. Cuando es mayor a los 35°C, decrece la tasa fotosintética, lo que ocasiona una reducción en la acumulación de materia seca. El límite de altura es de aproximadamente 700 msnm en el trópico y se eleva hasta más de 1,000 msnm en el Ecuador (Fauconnier y Bassereau 1975).

La caña de azúcar requiere un suelo profundo, un pH de 6.0 a 7.5, con textura fina a media, el nivel freático debe de estar a una profundidad entre 1.2 a 1.5 m, pero tolera periodos cortos de anegamiento (Alexander 1985).

La curva de absorción de nutrientes determina la cantidad de nutrientes que consume un cultivo a lo largo su ciclo de vida, define los periodos de alta demanda de cada nutriente y en consecuencia, el mejor momento para la aplicación de los mismos. Las curvas de absorción de nutrientes se elaboran a partir de la interacción del peso seco de los tejidos de la planta y las concentraciones de nutrientes presentes en dichos tejidos (Bertsch 2003).

La capacidad de absorción de un cultivo bajo condiciones nutricionales limitantes se reduce. Esta es la razón para que los estudios de absorción deban conducirse bajo condiciones nutricionales óptimas (Bertsch 2005).

Cada variedad de una misma especie puede también presentar características particulares de comportamiento y producción que se pueden expresar en diferente capacidad de absorber nutrientes. Para que los resultados de un estudio de absorción resulten extrapolables a otras situaciones es necesario que se conduzcan bajo condiciones nutricionales óptimas y con variedades definidas (Bertsch 2005).

El desarrollo de este estudio se basó en obtener información de los requerimientos nutricionales de las variedades CP 722086 y MEX 69290 durante un ciclo en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras. Las variedades se siembran según el periodo de zafra y la programación de abastecimiento para el procesamiento de la caña a azúcar en la fábrica de la Compañía Azucarera Tres Valles. Los tercios de siembra y

cosecha son tres periodos del año, el primer tercio comprende desde el primero de noviembre hasta 15 de enero, el segundo tercio del 16 de enero al 15 de marzo y el tercer tercio del 16 de marzo al 30 de mayo, relacionados cada uno con las épocas de corte o zafra de la caña, de acuerdo a la planificación de la Compañía Azucarera Tres Valles.

Los objetivos del estudio fueron: Desarrollar curvas de absorción de nutrientes en caña de azúcar para las variedades CP 722086 y MEX 69290, determinar la cantidad de nutrientes extraídos en kilogramos para producir una tonelada de caña.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Este estudio se desarrolló en cuatro fincas del Ingenio Tres Valles, ubicado en Cantarranas a 45 km de Tegucigalpa, Departamento de Francisco de Morazán, Honduras. La variedad CP 722086 se trabajó en la finca Granadilla, lote 28 (suelos franco arcillosos) y la finca Entre ríos, lote 3 (suelos franco arenosos). La variedad MEX 69290 se trabajó en las fincas Higüeros 1, lote 10 e Higüeros 2, lote 53 (ambas con suelos arcillosos).



Figura 1. Ubicación geográfica de fincas del Ingenio Tres Valles, Francisco Morazán, Honduras. 14°14' N, 86° 59' W. Altura 650 msnm.

Cultivo

El estudio de las dos variedades duró 17 meses, empezando en enero del 2014 finalizando en mayo del 2015. La variedad CP 722086 fue sembrada en la finca Granadilla, en el primer tercio de zafra (en enero 2008) y segundo tercio (en febrero 2009) en la finca Entre Ríos. La variedad MEX 69290 se sembró en el año 2012, en el segundo tercio (febrero) en la finca Higüeros 2 y tercer tercio (junio) en la finca Higüeros 1. El muestreo se inició en la segunda soca en las fincas Higüeros 1 y 2, en la quinta soca en la finca Entre Ríos y sexta soca en la finca Granadilla del año 2014, y duró 12 meses en cada cultivo.

Fase de campo

Este proceso fue adaptado de la metodología desarrollada en un protocolo de la Compañía Azucarera Tres Valles (incisos 1 a 4), y de la metodología propuesta por Bertsch (2003), para realizar curvas de extracción de nutrientes en los cultivos (incisos 5 al 7).

1. Se utilizaron las variedades CP 722086 y Mex 69290 de caña de azúcar.
2. Se seleccionaron los lotes experimentales de acuerdo a los siguientes criterios:
 - Se escogieron los lotes más productivos de la primera soca.

Densidad poblacional del cultivo

- La plantación está establecida en camas de dos surcos separados a 0.4 m, con un distanciamiento de 1.8 m del centro de una cama a otra y con una densidad de 15 plantas por metro. Con una densidad poblacional de 82,918 plantas por hectárea.

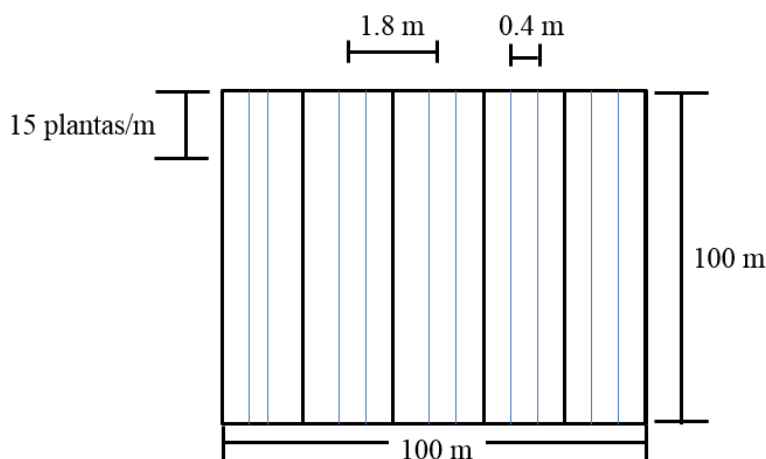


Figura 2. Diagrama de un lote de 1 ha del cultivo de caña de azúcar, para determinar densidad poblacional.

- Inicialmente se ubicaron aleatoriamente cinco sub lotes en cada lote de cultivo. En cada sub-lote se marcó una cama de dos surcos (1.8 m × 10 m de largo), en la cual se contaron la cantidad de plantas a los 30 días.
 - De los cinco sub lotes muestreados se eligió uno, tomando en cuenta que la sumatoria de sus plantas se acercó al promedio de plantas encontradas en los cinco sub-lotes.
 - El área de cada sub-lote correspondió a un círculo de 7 m de radio, correspondiente a 154 m².
 - En el sub-lote seleccionado, se ubicaron al azar y separadas entre sí, 12 parcelas de 1 m de largo y 1.8 m de ancho, correspondiente a dos surcos. Cada parcela equivalente a una unidad experimental.
3. Mensualmente durante 12 meses, se extrajo el total de las plantas de cada parcela o unidad experimental, para determinar las variables, mes a mes durante el ciclo de producción del cultivo.

Peso de materia fresca (t/ha).

4. En cada muestreo se contó el total de plantas en la unidad experimental, luego se extrajo el total de las mismas. Las muestras eran compuestas por raíces, tallos y hojas (verdes y secas). Se midió el peso fresco de cada órgano de la planta en gramos por los 1.8 m² y luego se hizo la conversión a tonelada por hectárea, Ecuación [1].

$$M.F = \frac{mf(kg)}{1.8 m^2} * 10 \quad [1]$$

Ecuación 1. Cálculo de materia fresca en toneladas por hectáreas.

Dónde:

M.F= materia fresca (t/ha)

mf= kilogramos de materia fresca en el área muestreada

1.8 m²= área de cada parcela o unidad experimental

10= factor de conversión a toneladas por hectárea

5. Las raíces fueron lavadas, pesadas en fresco.
6. Los tallos fueron molidos en un molino impulsado por un motor eléctrico. Del material molido se tomó una muestra de aproximadamente 500 g de peso fresco de éste tejido.
7. Las hojas se separaron en verdes y secas, pesando cada fracción, las cuales fueron utilizadas para el análisis de nutrientes.

8. A las hojas secas y a las raíces, se les determinó la cantidad de nutrientes para conocer la cantidad que almacenan estos órganos y aportan al suelo al momento que el ciclo termina.
9. Una vez separados los órganos de las plantas, se entregaron al laboratorio de Suelos de la EAP Zamorano (LSZ).

Fase de laboratorio

Porcentaje de materia seca

10. De cada parte de la planta (en peso fresco) se extrajo una muestra de aproximadamente el 25% de su peso total. Las muestras fueron secadas en un horno de convección forzada a 70°C por un día (hojas y raíces) y por tres días (tallos), esta diferencia de días es debido al contenido de humedad. El porcentaje de materia seca se calculó dividiendo el peso final (seco) entre el peso inicial (fresco) multiplicado por cien para expresarlo a porcentaje, Ecuación [2]. De esta manera también se determinó la cantidad de materia seca de la hoja, tallo y raíz por planta.

$$\%ms = (pF/pI) \times 100 \quad [2]$$

Cálculo del porcentaje de materia seca.

Dónde:

$\%ms$ = porcentaje de materia seca

pF = peso final de la muestra (seca)

pI = peso inicial de la muestra (fresca)

100 = factor para expresar a porcentaje

Cálculo de materia seca. Ecuación [3]

$$M.S = ms\% * M.F \quad [3]$$

Dónde:

$M.S$ = materia seca (t/ha)

$\%ms$ = porcentaje de materia seca

$M.F$ = materia fresca por hectárea

11. Las muestras (secas) se molieron en un molino Wiley especial para muestras foliares.

Análisis de nutrientes

12. En cada fracción de la planta se determinó N por el método de Kjeltex (modificación del método de Kjeldhal). P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn se extrajeron por digestión húmeda con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno, determinados por

espectrofotometría de absorción atómica excepto P, cuantificándose por espectrofotometría a través del método de azul de molibdeno. B y S fueron extraídos con una digestión seca, el B se determinó con el método de la curcumina modificado y el S por el método de turbidimetría; ambos cuantificados por espectrofotometría en el rango visible (Black 1992). Los resultados se expresaron en porcentaje con base a materia seca.

Fase de análisis de datos

13. Usando los resultados de los análisis de nutrientes se calculó la cantidad porcentual de nutrientes encontrados en cada órgano. La cantidad total de nutrientes se calculó mediante la multiplicación del porcentaje, en fracción decimal, de nutriente multiplicado por el peso seco de cada órgano. Este valor se sumó acumulativamente para encontrar el peso total de cada elemento contenido en la unidad de muestreo y posteriormente expresado en kilogramos por metro cuadrado. Este valor corresponde a la cantidad de nutriente acumulada hasta ese mes del cultivo. La acumulación de nutrientes por mes, se determinó restando el último peso del anterior, mes a mes.
14. A las hojas secas y a las raíces, se les determinó la cantidad de nutrientes para conocer la cantidad que almacenan estos órganos y aportan al suelo al momento que el ciclo termina.

Variables determinadas

- Cantidad de nutrientes en kilogramos para producir una tonelada de caña.
Se dividió la cantidad total de cada nutriente absorbida (kg/ha) en todo el ciclo entre el rendimiento de caña (t/ha).
- Cantidad de nutrientes almacenados en las hojas secas y raíces.
Se cuantifico la cantidad total de nutrientes contenido por estos órganos en todo el ciclo del cultivo, luego se expresó cada elemento como fertilizante (**Cuadro 7**) utilizados por la Compañía Azucarera Tres Valles, para determinar el costo (\$/ha).

Diseño experimental

En este estudio no hubo un diseño experimental, ya que no hubo repeticiones, por factores económicos.

Análisis estadístico

Se utilizó estadística descriptiva.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de los suelos

La variedad CP 722086 estuvo en suelos francos arenosos en la finca Entre Ríos y francos arcillosos en la finca Granadilla. La variedad MEX 69290 se ubicó en suelos arcillosos en las fincas, Higüeros 1 (lote 10) e Higüeros 2 (lote 53). Los análisis químicos de los suelos indican que hubo absorción (balance positivo) o almacenamiento de nutrientes en el suelo (balance negativo) durante el ciclo del cultivo (Cuadros 1, 2, 3 y 4). La diferencia: los números sin paréntesis nos indican el excedente de nutrientes y los que están con paréntesis nos indican escasez.

Cuadro 1. Disponibilidad de nutrientes en el suelo para la variedad CP 722086 al inicio y al final del cultivo en la finca Entre Ríos (lote 3) en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

Época de muestreo	N (%)	mg/kg (extractable)										
		P	K	Ca	Mg	Na	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Inicio	0.03	21	308	2470	169	39	7	2.46	145	180	11.60	0.16
Final	0.04	21	316	3065	203	56	2	3.07	165	290	10.55	0.15
Extraído	(0.01)	0	(8)	(595)	(34)	(18)	4	(0.62)	(20)	(110)	1.05	0.00

Cuadro 2. Disponibilidad de nutrientes en el suelo para la variedad CP 722086 al inicio y al final del cultivo en la finca Granadilla (lote 28) en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

Época de muestreo	N (%)	mg/kg (extractable)										
		P	K	Ca	Mg	Na	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Inicio	0.07	25	314	2640	300	180	14	3.10	126.00	295.00	2.80	0.12
Final	0.10	29	325	3987	404	20	12	4.21	94.04	275.78	4.27	0.36
Extraído	(0.03)	(4)	(11)	(1347)	(104)	160	2	(1.11)	31.96	19.22	(1.47)	0.24

Cuadro 3. Disponibilidad de nutrientes en el suelo para la variedad MEX 69290 al inicio y al final del cultivo en la finca Higueros 1 (lote 10) en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

Época de muestreo	mg/kg (extractable)											
	N (%)	P	K	Ca	Mg	Na	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Inicio	0.07	2	86	3857	620	888	62	5.14	200.00	27.95	0.90	0.25
Final	0.11	5	61	3527	316	485	44	3.91	167.81	74.87	2.13	0.28
Extraído	(0.04)	(3)	25	330	304	402	19	1.23	32.19	(46.92)	(1.23)	(0.03)

Cuadro 4. Disponibilidad de nutrientes en el suelo para la variedad MEX 69290 al inicio y al final del cultivo en la finca Higueros 2 (lote 53) en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

Época de muestreo	mg/kg (extractable)											
	N (%)	P	K	Ca	Mg	Na	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Inicio	3.74	0.2	2.24	124	2140	400	93	7.27	3.30	169.88	2.10	0.10
Final	2.56	0.1	1.57	117	1820	524	45	7.45	2.07	56.24	1.68	0.39
Extraído	1.19	0.1	0.67	7	320	(124)	48	(0.18)	1.23	113.64	0.42	(0.29)

Cantidad de nutrientes aplicados al suelo y los extraídos por el cultivo

En los siguientes cuadros (5 y 6) nos indican las cantidades de nutrientes aplicados al suelo y extraídos en el ciclo de cultivo de la caña de azúcar para las variedades CP 722086 Y MEX 69290; la diferencia: los números sin paréntesis nos indican el excedente de nutrientes y los que están con paréntesis nos indican escasez.

Cuadro 5. Cantidad de nutrientes aplicados al suelo y extraídos por el cultivo de caña de azúcar en kilogramos por hectárea en el ciclo de cultivo para la variedad CP 722086 en las fincas Entre Ríos (lote 3) y Granadilla (lote 28), ubicadas en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

Nutrientes	(kg/ ha)										
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Aplicados al suelo	137	51	99	0	6	74	0.468	0.12	1.521	0.36	0.542
Extraído por el cultivo	274	40	513	89	38	102	1.03	37.44	7.88	3.63	1.27
Diferencia	(137)	11	(413)	(89)	(32)	(28)	(1)	(37)	(6)	(3)	(1)

Cuadro 6. Cantidad de nutrientes aplicados al suelo y extraídos por el cultivo de caña de azúcar en kilogramos por hectárea en el ciclo de cultivo para la variedad MEX 69290 en las fincas Higüeros 1 (lote 10) e Higüeros 2 (lote 53), ubicadas en la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

Nutrientes	(kg/ ha) MEX 69290										
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Aplicados en el suelo	135.36	59	108	0	0	53	0.46	0.12	1.48	0.48	0.43
Extraído por el cultivo	280.98	38	482	112	93	130	6.56	5.98	42.07	26.56	4.06
Diferencia	(146)	21	(374)	(112)	(93)	(77.18)	(6.10)	(5.86)	(40.59)	(26)	(3.63)

Curvas de absorción de Nutrientes

Todos los nutrientes (macros y micros) para cada una de estas variedades (CP 722086 y MEX 69290) fueron variables en la cantidad de absorción mes a mes.

Nitrógeno (N) y Potasio (K)

En la variedad CP 722086 se determinó que la acumulación de nitrógeno (N) y potasio (K) fue 274 y 513 kg/ha, respectivamente (Figura 2). Los periodos de mayor absorción de N y K fueron: el 72% del N y el 68% del K fueron absorbidos del cuarto al séptimo mes (Figura 3). Según Melgar *et al* (2012) la cantidad de N y K aplicado en este estudio es muy alto a comparación con sus resultados, en el caso del N fue debido a que los suelos donde se realizó este estudio para esta variedad son muy bajos en materia orgánica, además a medida que aumenta el número de cortes la materia orgánica disminuye su tasa de mineralización. En el caso del K su aumento se le atribuye al aumento en rendimiento de azúcar por tonelada de caña (Melgar *et al* 2012).

Para la variedad MEX 69290 se determinó que la acumulación de N y K fue 281 y 482 kg/ha, respectivamente (Figura 4). Los meses de mayor absorción fueron, el 83% de N y el 79% del K fueron absorbidos del primero al quinto mes (Figura 5). A comparación con el estudio de Mite Cáceres (2005), la cantidad de N y K no presenta diferencia.

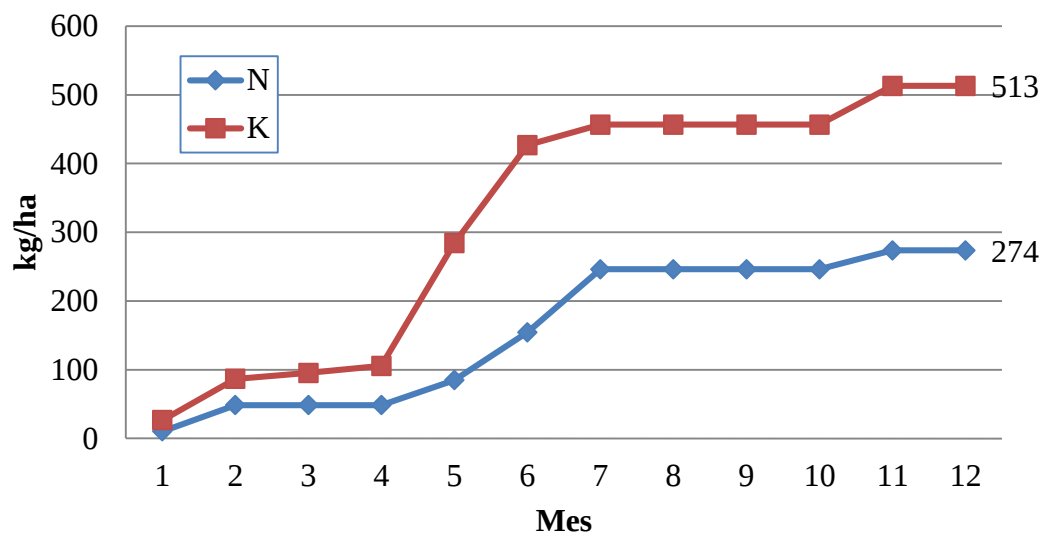


Figura 3. Absorción de nitrógeno (N) y potasio (K) acumulado por el cultivo de caña de azúcar, variedad CP 722086, Fincas Entre Ríos y Granadilla, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

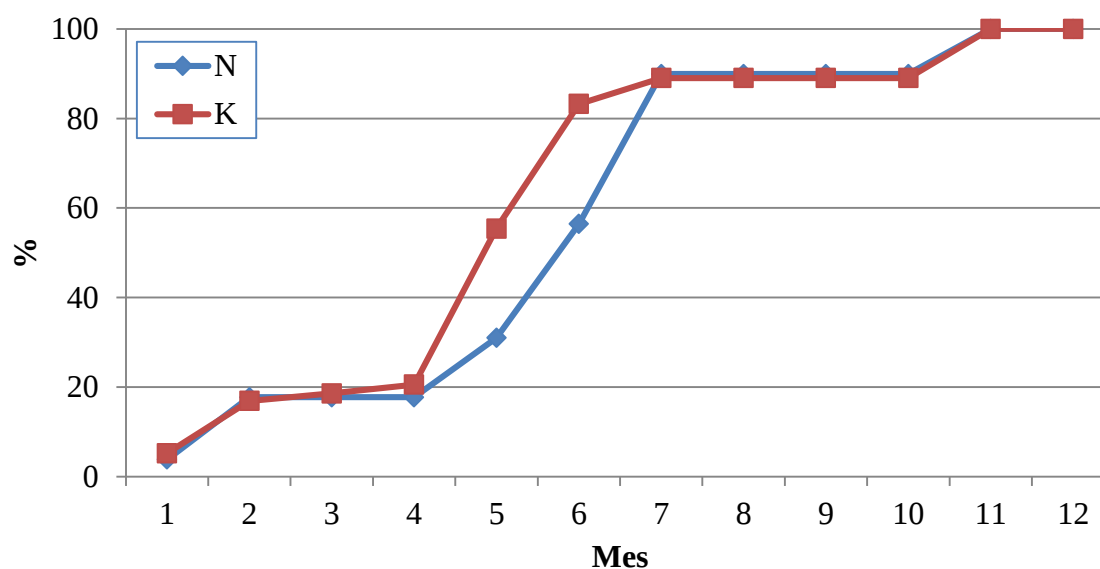


Figura 4. Porcentaje de nitrógeno (N) y potasio (K) absorbidos por el cultivo de caña de azúcar, variedad CP 722086, Fincas Entre Ríos y Granadilla, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

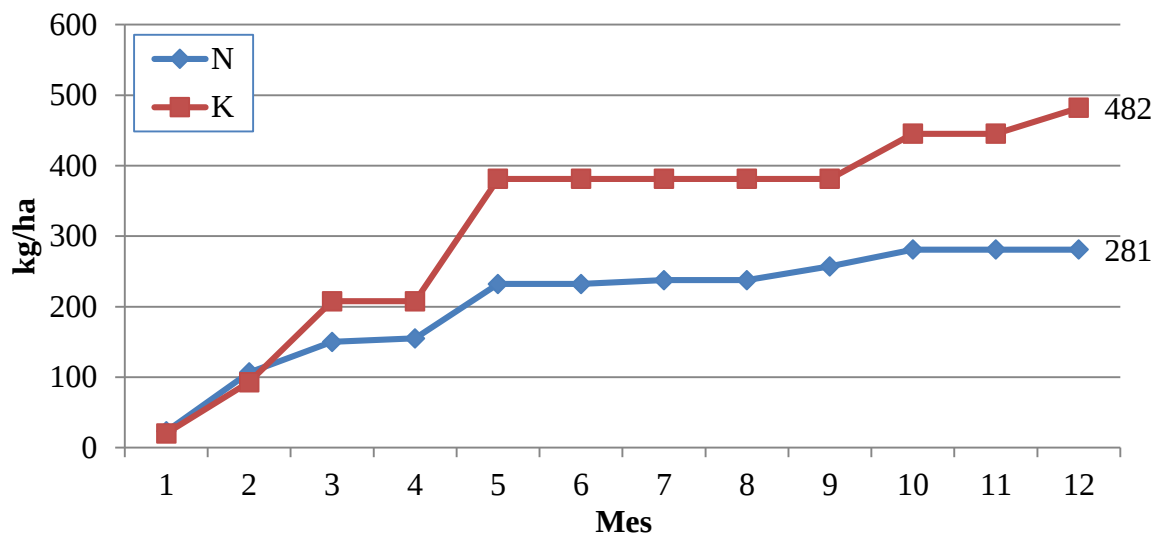


Figura 5. Absorción de nitrógeno (N) y potasio (K) acumulado por el cultivo de caña de azúcar, variedad MEX 69290, Fincas Higüeros 1 e Higüeros 2, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

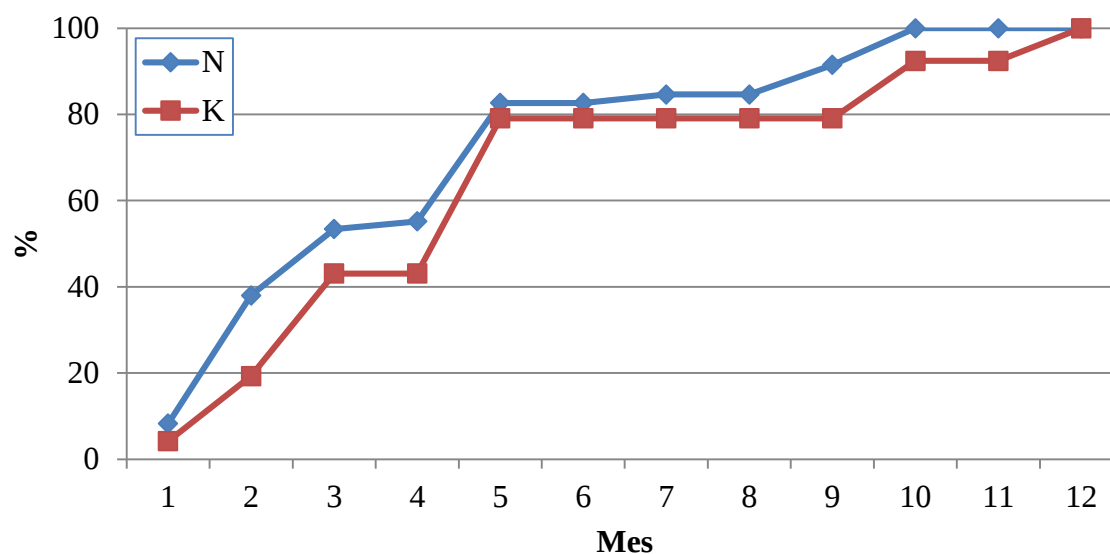


Figura 6. Porcentaje de nitrógeno (N) y potasio (K) absorbidos por el cultivo de caña de azúcar, variedad MEX 69290, Fincas Higüeros 1 e Higüeros 2, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

Fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y hierro (Fe)

En la variedad CP 722086 la acumulación de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y hierro (Fe) fue de 40, 89, 38, 102 y 37 kg/ha, respectivamente (Figura 6). Los periodos de mayor absorción fueron: el 54% del P fue absorbido del cuarto al octavo mes, el 40% del Ca fue absorbido del décimo al doceavo mes, el 47 % de magnesio Mg, el 64 % de S y el 74 % de Fe fueron absorbidos del cuarto al séptimo mes (Figura 7). La cantidad de P no tuvo diferencia en comparación al estudio de Melgar *et al* (2012), pero si hubo un aumento de Ca y Mg. La cantidad de S y Fe en comparación al estudio de Mite (2005), fue mayor. Esto se atribuye a que la mayoría de los fertilizantes utilizados por el la compañía son de fuentes sulfuradas, por lo que hay muchas disposición para el cultivo. En el caso del Fe se debería evaluar nuevamente debido a su alta absorción, no optima según estudios establecidos para esta variedad (Mite Cáceres, 2005 y Melgar *et al*, 2012).

Para la variedad MEX 69290, la acumulación de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y hierro (Fe) fue de 38, 112, 93, 130 y 6 kg/ha, respectivamente (Figura 8). Los periodos de mayor absorción fueron: el 51% de P fue absorbido del noveno a doceavo mes, el 47% de Ca fue absorbido del primer al quinto mes, el 48% de Mg fue absorbido del noveno al doceavo mes, el 48% de S fue absorbido del primer al tercer mes, el 50% de Fe fue absorbido del primer al quinto mes (Figura 9). La cantidad de P en comparación al estudio realizado por Mite Cáceres (2005) no existe diferencia. Ca, Mg y S tuvieron una mayor absorción, esto debido a que la disponibilidad que existe en el suelo y lo aplicado en fertilizantes es muy alto según lo requerido por el cultivo.

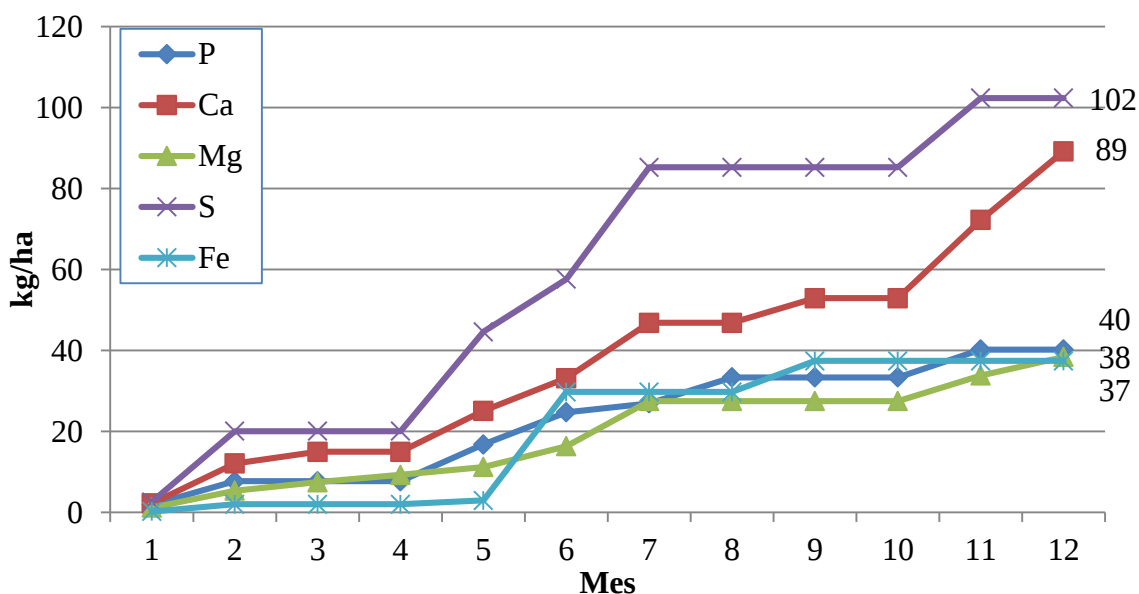


Figura 7. Absorción de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) acumulado por el cultivo de caña de azúcar, variedad CP 722086, Fincas Entre Ríos y Granadilla, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

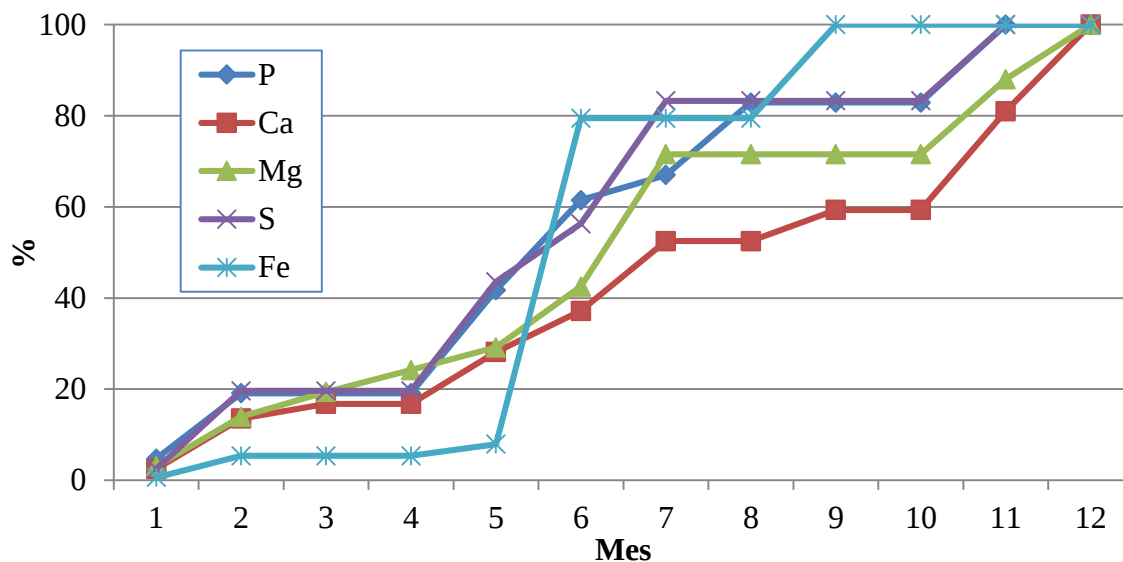


Figura 8. Porcentaje de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) absorbidos por el cultivo de caña de azúcar, variedad CP 722086, Fincas Entre Ríos y Granadilla, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

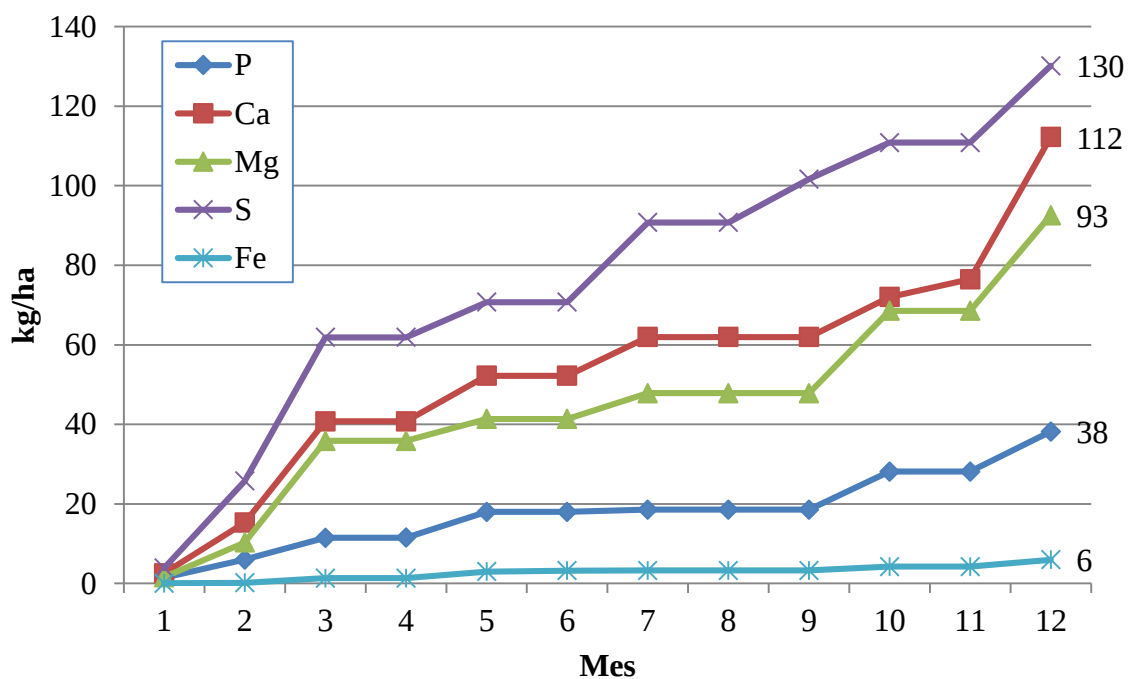


Figura 9. Absorción de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y azufre (S) acumulado por el cultivo de caña de azúcar, variedad MEX 69290, Fincas Higüeros 1 e Higüeros 2, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

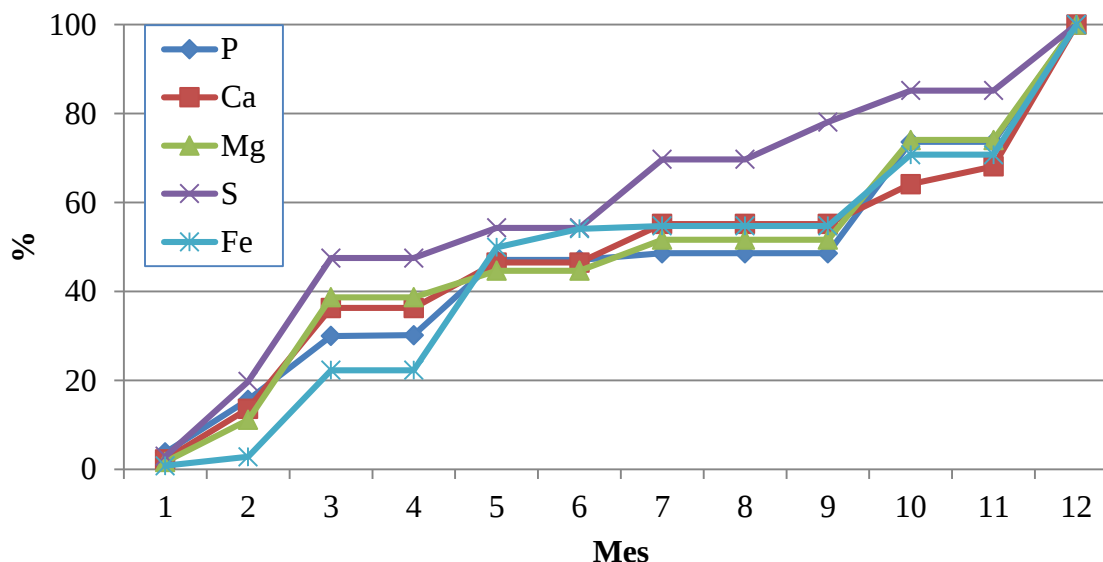


Figura 10. Porcentaje de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y azufre (S) absorbidos por el cultivo de caña de azúcar, variedad MEX 69290, Fincas Higueros 1 e Higueros 2, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

Cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y boro (B)

En la variedad CP 722086 se determinó que la acumulación de cobre (Cu), manganeso (Mn), Zinc (Zn) y boro (B) fueron de 1030, 7880, 3625 y 1270 g/ha, respectivamente (Figura 10). El 37% de Cu y el 38% de B fueron absorbidos del cuarto al sexto mes, el 50% de Mn fue absorbido del cuarto al quinto mes, el 42% del Zn fue absorbido del octavo al noveno mes (Figura 11). La cantidad de estos elementos absorbidos por esta variedad fueron muy altos, se atribuye a que Mite Cáceres (2005) obtuvo un rendimiento 60 ton/ha y es inferior al actual (149 ton/ha).

Para la variedad MEX 69290, se determinó que la acumulación de cobre (Cu), manganeso (Mn), Zinc (Zn) y boro (B) fue de 210, 1890, 630 y 140 g/ha, respectivamente (Figura 12). El 39% de Cu fue absorbido del noveno al onceavo mes, el 41% de Mn fue absorbido del primer al cuarto mes, el 50% de Zn fue absorbido gradualmente del primer al octavo mes, el 51% de B fue absorbido del quinto al décimo mes (Figura 13).

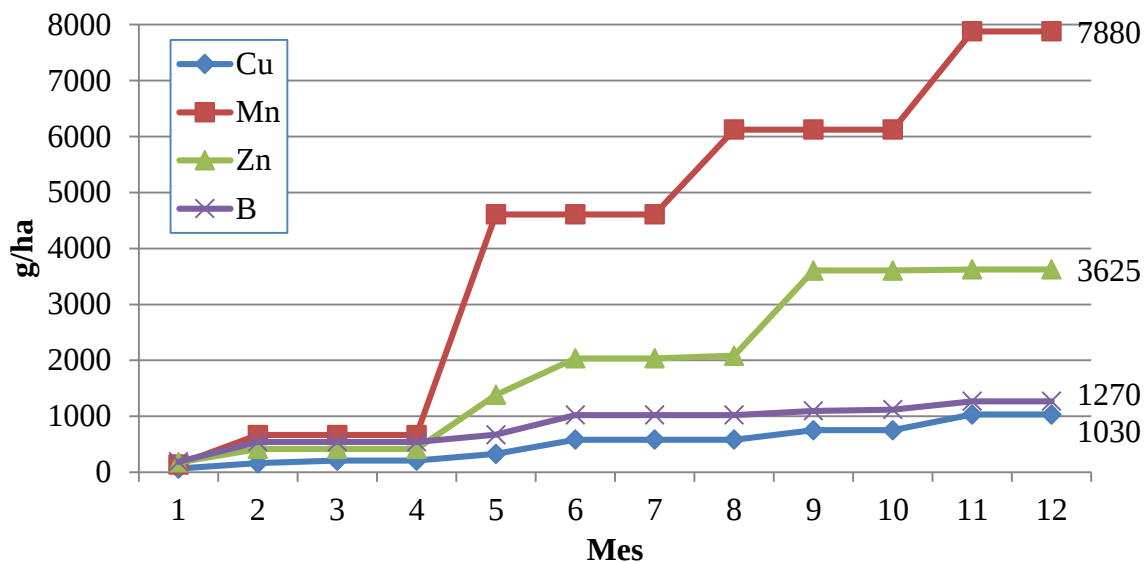


Figura 11. Absorción de cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y boro (B) acumulado por el cultivo de caña de azúcar, variedad CP 722086, Fincas Entre Ríos y Granadilla, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

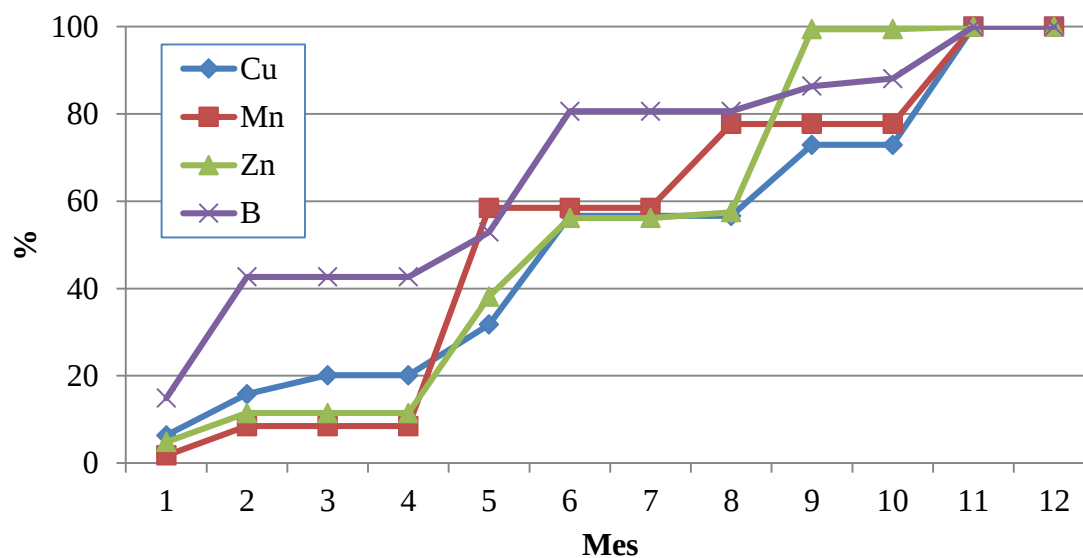


Figura 12. Porcentaje de cobre (Cu), manganeso (Mn), Zinc (Zn) y boro (B) absorbidos por el cultivo de caña de azúcar, variedad CP 722086, Fincas Entre Ríos y Granadilla, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

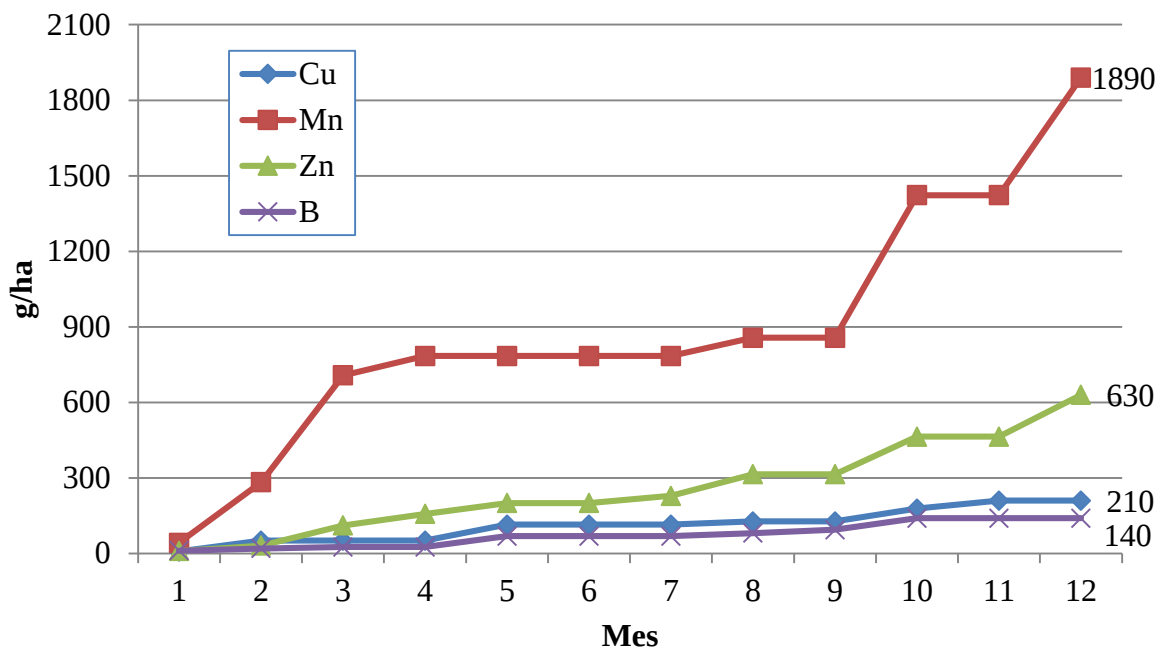


Figura 13. Absorción de cobre (Cu), manganeso (Mn), Zinc (Zn) y boro (B) acumulado por el cultivo de caña de azúcar, variedad MEX 69290, Fincas Higueros 1 e Higueros 2, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

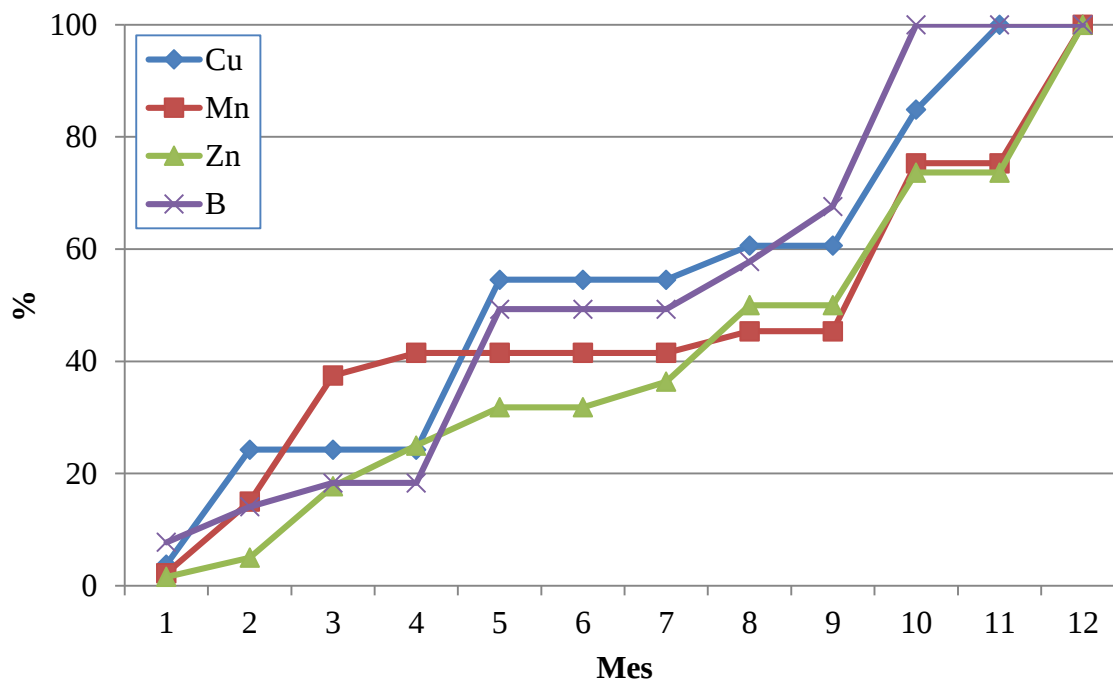


Figura 14. Porcentaje de cobre (Cu), manganeso (Mn), Zinc (Zn) y boro (B) absorbidos por el cultivo de caña de azúcar, variedad MEX 69290, Fincas Higueros 1 e Higueros 2, Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

Nutrientes almacenados por hojas secas y raíces

Se determinó la cantidad de nutrientes de las hojas secas y raíces para conocer la cantidad de nutrientes que almacena el cultivo en el suelo al no ser quemado para su cosecha. En el **Cuadro 7** podremos analizar las cantidades para cada uno de los órganos y la concentración respectiva para cada uno de los nutrientes.

En la variedad CP 722086 se encontró que existe mayor concentración (hasta el doble) de nutrientes en las hojas secas a comparación de las cantidades que contiene la raíz, todo lo contrario con la variedad MEX 69290 de la cual se encontró mayor concentración en las raíces a comparación de sus hojas secas. Todo ese diferencial de concentración se le atribuye a los estudios de nutrición de cultivos por Bertsh (2005), donde explica el comportamiento de absorción y concentración que es muy diferente entre variedades.

Cuadro 7. Cantidad de nutrientes (kg/ha) almacenados por hojas secas y raíces para cada una de las variedades.

Nutriente	Variedad CP 722086		Variedad MEX 69290	
	Hojas secas	Raíces	Hojas secas	Raíces
N	57	25	40	47
P	5	4	4	8
K	110	23	89	17
Ca	59	8	72	46
Mg	14	3	34	7
S	44	10	28	11
Cu	0.53	0.38	0.18	0.10
Fe	3.26	25.92	0.66	20.06
Mn	6.31	2.71	1.24	1.03
Zn	0.48	0.68	0.15	0.18
B	1.03	0.24	0.04	0.02

Cuadro 8. Cantidad de nutrientes almacenados en hojas secas y raíces en la variedad CP 722086, expresados en cantidad de fertilizantes y costos de fertilizantes utilizados por la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

Fertilizantes	Alm. (kg/ha)	\$/kg	Costo Total (\$)
Sulfato de amonio	17	0.09	1.54
MAP	19	0.93	17.37
KCl	221	0.18	38.84
Sulfato de Mg	63	0.23	14.59
Sulfato de Cu	4	2.58	9.34
Sulfato de Mn	30	0.82	24.65
Sulfato de Zn	5	0.77	4.08
Ácido Bórico	7	1.42	10.62
Ahorro por Hectárea			\$121.04
	Total (ha)	\$/ha	
Ahorro total	2098	121.04	\$253,947.42

Cuadro 9. Cantidad de nutrientes almacenados en hojas secas y raíces en la variedad MEX 69290, expresados en cantidad de fertilizantes y costos de fertilizantes utilizados por la Compañía Azucarera Tres Valles, Cantarranas, Honduras.

Fertilizantes	Alm. (kg/ha)	\$/kg	Costo Total
Sulfato de amonio	18	0.09	1.61
MAP	24	0.93	22.64
KCl	177	0.18	31.08
Sulfato de Mg	158	0.23	36.74
Sulfato de Cu	1	2.58	2.93
Sulfato de Mn	8	0.82	6.19
Sulfato de Zn	2	0.77	1.17
Ácido Bórico	0	1.42	0.49
Ahorro por Hectárea			\$102.86
	Total (ha)	\$/ha	
Ahorro total	1965	102.86	\$202,142.57

4. CONCLUSIONES

- Los requerimientos de nutrientes para producir una tonelada de caña de la variedad CP 722086 en kilogramos por hectárea son: N=1.83, P=0.36, K=4.53, Ca=1.05, Mg=0.87, S=1.22 y en gramos por hectárea son: Cu=6.9, Fe=250.8, Mn=52.8, Zn=24.3, B=8.5.
- Los requerimientos de nutrientes para producir una tonelada de caña de la variedad MEX 69290 en kilogramos por hectárea son: N=2.64, P=0.36, K=4.59, Ca=1.06, Mg=0.88, S=1.22 y en gramos por hectárea son: Cu=2, Fe=57, Mn=18, Zn=6, B=1.33.
- La cantidad de nutrientes almacenados por hojas secas y raíces de la variedad CP 722086 en kilogramos por hectárea fue: N=97, P=9, K=199, Ca=131, Mg=48, S=72 y en gramos por hectárea son: Cu=233, Fe=3920, Mn=13860, Zn=630, B=1070.
- La cantidad de nutrientes almacenados por hojas secas y raíces de la variedad MEX 69290 en kilogramos por hectárea fue: N=104, P=13, K=127, Ca=105, Mg=21, S=55 y en gramos por hectárea son: Cu=153, Fe=23320, Mn=7340, Zn=660, B=1050.

5. RECOMENDACIONES

- Aplicar los nutrientes con base a la cantidad total absorbida en kilogramos por hectárea, esta se debe hacer previo a los meses de mayor absorción y para cada elemento.
- Aplicar el porcentaje de cada elemento para la variedad CP 722086 de la siguiente manera:
N y K: el 20% al primer mes, el 10% de N y el 40% de K en el cuarto mes, el 30% de N y el 25% de K al quinto mes, el 30% de nitrógeno y el 5% de K en el sexto mes y el 10% de N y K en el décimo mes.
P, Ca, Mg, S y Fe: el 20 % a excepción del Fe (5%) en el primer mes, el 20% de P, Ca, Mg, S y el 5% de Fe en el cuarto mes, el 10% de P, Ca, Mg, S y el 70% de Fe en el quinto mes, el 10% de P, 20% de Ca y el 25% de Mg y Fe en el sexto mes, el 10% de fosforó en el séptimo mes, el 20% de Fe en el octavo mes, el 30% de P, Ca y el 25% de Mg, S en el décimo mes.
Cu, Mn, Zn y B: el 15 % de Cu, Mn, Zn y el 25% de B en el primer mes, el 10% de Cu, el 50% de Mn, el 30% de Zn y el 10% de B en el cuarto mes, el 20% de Cu, Zn y el 25% de B en el quinto mes, el 20% de Mn en el séptimo mes, el 15% de Cu, el 35% de Zn y el 5% de B en el octavo mes, el 40% de Cu, 15% de Mn y el 30% de B en el décimo mes.
- Aplicar el porcentaje de cada elemento para la variedad MEX 69290 de la siguiente manera:
N y K: aplicar 55% N entre el primer, segundo y tercer mes, 30% el cuarto mes, 15% el octavo mes. Se propone aplicar para K 43% entre el primer y segundo mes, 36% el cuarto mes, 21% el octavo mes.
P, Ca, Mg, S y Fe: P aplicar 30% el primer mes, 19% el cuarto mes, 51% entre el noveno y onceavo mes. Para Ca se propone aplicar 36% entre el primer y segundo mes, 19% entre el cuarto y sexto mes, 45% entre el noveno, décimo y onceavo mes. Mg aplicar el 39% entre el primer y segundo mes, 13% entre el cuarto y sexto mes, 48% entre el noveno y onceavo mes. Para S aplicar el 48% entre el primer y segundo mes, 22% entre el cuarto y sexto mes, 30% entre el octavo y onceavo mes. Fe aplicar 22% entre el primer y segundo mes, 33% entre el cuarto y sexto mes, 45% entre el noveno y onceavo mes.
Cu, Mn, Zn y B: Cu aplicar 24% el primer mes, 37% entre el cuarto y séptimo mes, 39% entre el noveno y décimo mes. Mn aplicar 41% entre el primer, segundo y tercer mes, 34% entre el séptimo y noveno mes, 25% el onceavo mes. Zn aplicar el 32% entre el primero, segundo, tercer y cuarto mes, 18% entre el sexto y séptimo

mes, 50% entre el noveno y onceavo mes. B aplicar el 18% entre el primer, segundo y tercer mes, 31% el cuarto mes, 51% entre el séptimo, octavo y noveno mes.

- Evaluar técnica y económicamente los programas de fertilización mencionados anteriormente.
- Desarrollar un estudio de rentabilidad comparando las variedades CP 722086 Y MEX 69290.
- Evaluar el impacto socio económico que genera la quema del cultivo en relación a cuando se cosecha con maquinaria y los nutrientes de las hojas secas y raíces son almacenados.

6. LITERATURA CITADA

Alexander, A. G. 1985. The energy cane alternative. University of Puerto Rico, Puerto Rico, Elsevier science publishing Company Inc. 509 p.

Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 1 p.

Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica, ACCS. 307 p.

Black, Ch.1982. Methods of soil analysis: Chemical and Microbiological Properties. Second edition. Madison, Wisconsin, USA, American Society of Agronomy, Inc. 1143 p.

Fauconnier, R. y D. Bassereau. 1975. La caña de azúcar: técnicas agrícolas y producciones tropicales. Barcelona, España, Editorial Blume. 433 p.

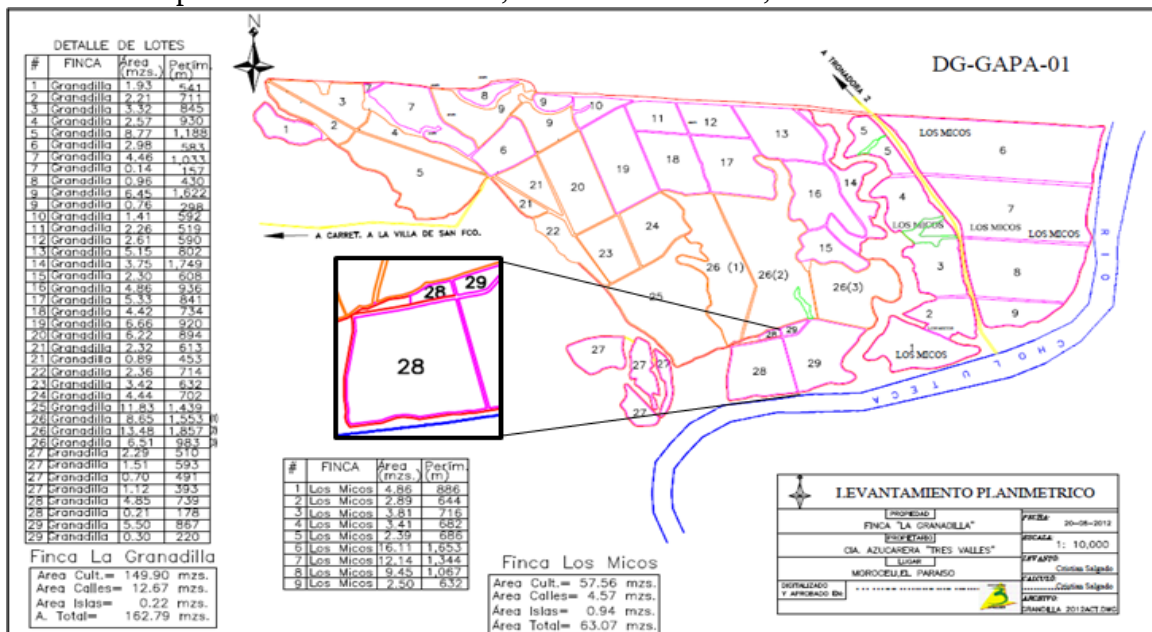
Melgar, M., A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez y R. Espinoza. 2012. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Centro Guatemalteco de investigación y capacitación de la caña de azúcar. Editorial Artemis Edinter. San Cristóbal, Guatemala. 149-167 p.

Mite Cáceres, J. 2005. Curva de Absorción de Nutrientes del Cultivo de Caña de Azúcar en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 30 p.

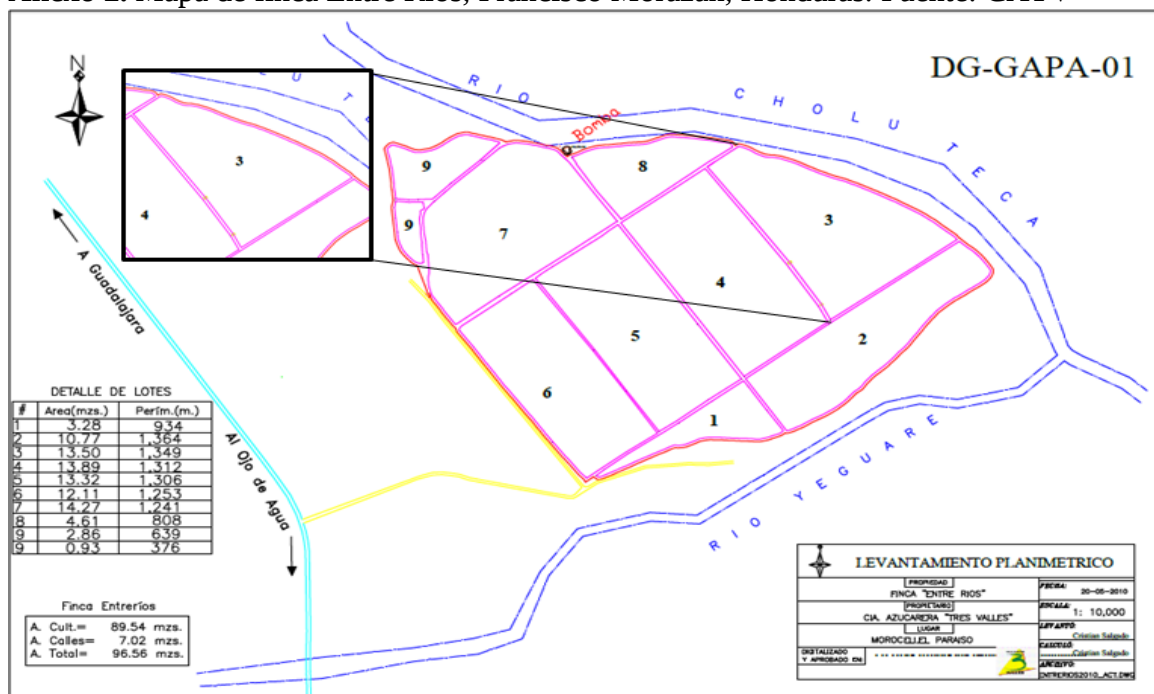
Subirós, F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. San José, Costa Rica, Editorial Universidad Estatal a Distancia. 12, 357 p.

7. ANEXOS

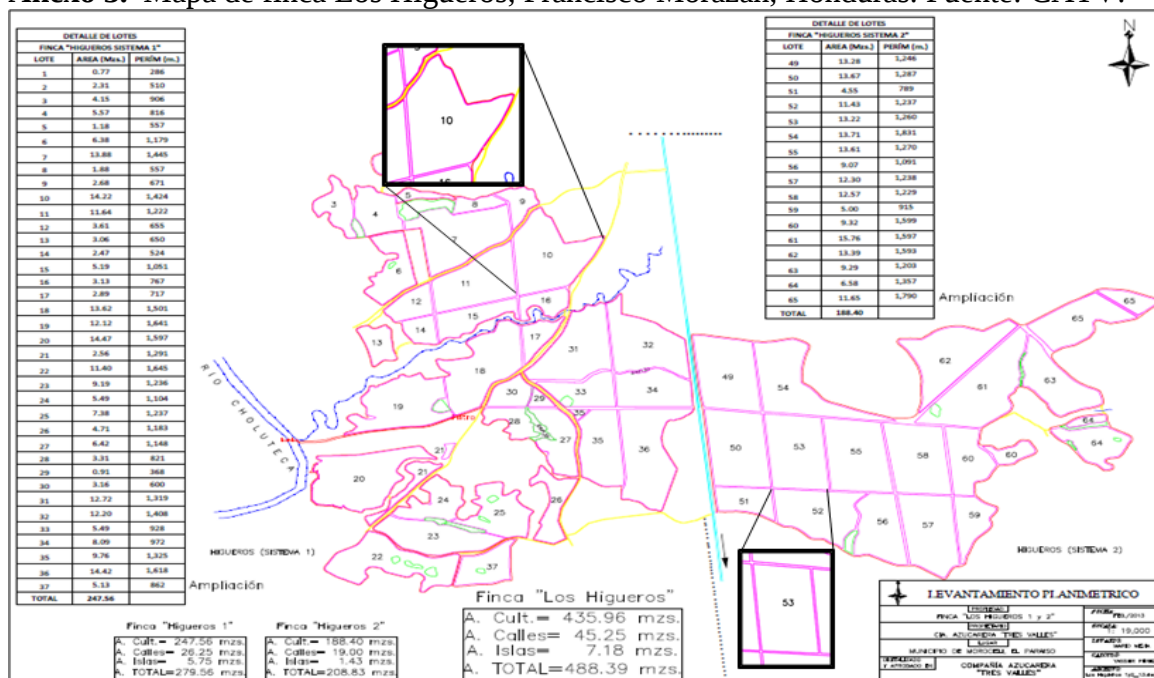
Anexo 1. Mapa de finca La Granadilla, Francisco Morazán, Honduras. Fuente: CATV.



Anexo 2. Mapa de finca Entre Ríos, Francisco Morazán, Honduras. Fuente: CATV



Anexo 3. Mapa de finca Los Higueros, Francisco Morazán, Honduras. Fuente: CATV.



Anexo 4. Comparación de relaciones de nutrientes de este estudio con otros realizados para la variedad CP 722086.

Fuente Producción (t/ha)	CP722086				
	L&M	Mite	F & D	F & D	F & D
	149	60	89	120	89
Relaciones					
N/K	0.5	0.6	0.3	0.3	0.2
K/N	1.9	1.6	3.1	3.0	4.9
N/P	6.9	7.4	3.2	4.8	2.3
Ca/Mg	2.3	1.6	1.6	1.7	1.9
Fe/Mn	4.7	0.5	35088	24851	36

Estudios:

L&M: Loáisiga y Mayorga (2015)

F&D: Flores y Duran (2008)

Anexo 5. Comparación de relaciones de nutrientes de este estudio con otros realizados para la variedad MEX 69290

Fuente Producción (t/ha)	MEX 69290	
	L&M	Mite
	105	60
Relaciones		
N/K	0.6	0.5
K/N	1.7	1.9
N/P	7.4	8.3
Ca/Mg	1.2	1.7
Fe/Mn	3.2	2.1

Estudios:

L&M: Loáisiga y Mayorga (2015)