

**Evaluación de dos programas de fertilización
durante la etapa vegetativa en caña de azúcar
(*Saccharum officinarum*) en el Ingenio
Azucarero-Ser-chumbagua, La Flecha, Santa
Barbará, Honduras.**

Mario Alejandro Echeverry Valle

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2013

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Evaluación de dos programas de fertilización
durante la etapa vegetativa en caña de azúcar
(*Saccharum officinarum*) en el Ingenio
Azucarero-Ser-chumbagua, La Flecha, Santa
Barbará, Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Mario Alejandro Echeverri Valle

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Noviembre, 2013

Evaluación de dos programas de fertilización durante la etapa vegetativa en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el Ingenio Azucarero-Ser-chumbagua, La Flecha, Santa Barbará, Honduras

Presentado por:

Mario Alejandro Echeverry Valle

Aprobado:

Gloria Arévalo M.Sc.
Asesora principal

Renán Pineda, Ph.D.
Director
Departamento de Ciencia y Producción
Agropecuaria

Carlos Gauggel, Ph.D.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Ing. Sergio Ramos
Asesor

Evaluación de dos programas de fertilización durante la etapa vegetativa en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el Ingenio Azucarero-Ser-Chumbagua, La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.

Mario Alejandro Echeverry Valle

Resumen: El cultivo de caña de azúcar ha mostrado un aumento en importancia en Honduras, tanto en producción como en área cosechada. Compañía Azucarera Ser-Chumbagua S.A de C.V es una empresa agroindustrial del sector privado fundada en el año 1948 ubicada en el municipio de La Flecha, Departamento de Santa Bárbara, Honduras. Este experimento consistió en comparar dos programas de fertilización, siendo este la primera de dos fases del estudio. En esta primera fase se analizaron las variables agronómicas de altura número de entrenudo/tallo, diámetro y se calculó la diferencia semanal de cada variable durante 21 semanas, y se estimó la producción a cosecha. Se realizó un muestreo foliar en la hoja número tres a la semana 21 para determinar la concentración de nutrientes. El estudio se realizó entre los meses de Marzo a Septiembre del año 2013, en la variedad CP-722086. Los tratamientos fueron las formulas N-266, P-92, K-44 (convencional) y N-200, P-50, K-175, Mg-75, Zn-20 y B-0.44 (alterna) (kg/ha) aplicadas en la semana dos después de corte. El diseño experimental fue (DCA) Diseño completamente al azar con arreglo factorial con tomas en el tiempo, establecidos en dos lotes, cada uno con texturas diferentes, suelo franco arcillo (33319), suelo de textura arcillosa (33302). En diámetro, crecimiento acumulado de altura de tallo, crecimiento acumulado de número de entrenudos y contenido de nutrientes en la hoja hubo diferencias entre las formulas y suelo, en todas las variables la formula alterna resulto en mejores condiciones en todas las variables y el desempeño de la fertilización es mejor en los suelos de textura franco arcillosa. Hubo diferencia en producción estimada al comparar suelos con texturas diferentes siendo el mejor franco arcilloso.

Palabras Clave: Biodisponibilidad, rendimiento de cosecha.

Abstract: In Honduras the sugar cane crop has shown an increase in production and harvested area. Ser- Chumbagua Sugar Company SA de CV is a private agribusiness company founded in 1948 located in the municipality at La Flecha, Santa Barbara Department , Honduras . The objective of this study was to compare two fertilization programs; this is the first of two phases of the study. In this first phase the agronomic variables analyzed where high number of internode / stem diameter and the difference was calculated for each variable weekly for a period of 21 weeks, and the crop yield was estimated. Foliar sampling was performed on the third leaf at week 21 to determine the concentration of nutrients. The study of the variety CP- 722 086 was conducted between the months of March to September of 2013. The treatments were two formulas (conventional) N- 266, P- 92 , K -44 and (alternative) N-200 , P-50 , K -175 , MG- 75 , Zn -20 and B- 0.44 (AC) (kg/ ha/yr.) applied at the second week after cutting. The experimental design was (DCA) completely randomized design with factorial arrangement with observations through time, divided in two parcels, each with different textures, one with clay loam (33319) and the other with clayey soil (33302). There were no differences between the formulas and soil in diameter, cumulative growth of stem height, cumulative growth of number of internodes and leaf nutrient content in but in alternative formula resulted in better conditions for all variables and performance fertilization is best on clay loam soils. There were differences found in estimated production when comparing different textured soils, clay loam being the best.

Key words: Bioavailability, crop yield.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	2
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	5
4. CONCLUSIONES.....	16
5. RECOMENDACIONES.....	17
6. LITERATURA CITADA.....	18

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
Composición de los fertilizantes usados en cada fórmula aplicada en dos suelos en la Azucarera SER-Chumbagua, La Flecha, Santa Bárbara.	3
Características químicas de los suelos de las fincas 33319 y 33302, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.	5
Características físicas y morfológicas de los suelos en la finca 33319 y 33302 en las parcelas experimentales, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.	6
Crecimiento acumulado a partir de la semana dos del cultivo de caña de azúcar en soca, bajo dos programas de fertilización en suelos franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.	7
Interacción de dos programas de fertilización durante la etapa vegetativa en caña de azúcar. Ingenio -SER- Chumbagua La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.	7
Numero de entrenudos acumulado a partir de la semana dos del cultivo de caña de azúcar en soca, bajo dos programas de fertilización en suelos franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.	8
Interacción de dos programas de fertilización durante la etapa vegetativa en caña de azúcar. Ingenio -SER- Chumbagua La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.	8
Diámetro acumulado a partir de la semana dos del cultivo de caña de azúcar en soca, bajo dos programas de fertilización en suelos franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.	9
Interacción de dos programas de fertilización durante la etapa vegetativa en caña de azúcar. Ingenio -SER- Chumbagua La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.	9
Diferencia de altura a partir de la semana 2 de soca en el cultivo de caña de azúcar, bajo 2 programas de fertilización en suelo franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.	10
Interacción de dos programas de fertilización durante la etapa vegetativa en caña de azúcar. Ingenio -SER- Chumbagua La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.	10
Diferencia de entrenudos por semana a partir de la semana dos del cultivo de caña de azúcar en soca, bajo dos programas de fertilización en suelos franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.	11
Interacción de dos programas de fertilización durante la etapa vegetativa en caña de azúcar. Ingenio -SER- Chumbagua La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.	11
Aumento de diámetro a partir de la semana dos del cultivo de caña de azúcar en soca, bajo dos programas de fertilización en suelos franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.	12
Interacción de dos programas de fertilización durante la etapa vegetativa en caña de azúcar. Ingenio -SER- Chumbagua La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.	12
Numero de tallos/m ² bajo dos programas de fertilización en suelo franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.	13

Estimado de producción de cosecha de caña de azúcar (t/ha) bajo dos programas de fertilización en suelo franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.	13
Concentración de nutrientes en la tercera hoja de caña de azúcar en la semana 21, bajo dos programas de fertilización en suelo franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.	14
Biodisponibilidad de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar en suelo franco arcilloso y arcilloso, bajo dos programas de fertilización. Azucarera Ser-Chumbagua, Honduras.	14

1. INTRODUCCIÓN

La Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) es el cultivo más importante en la producción de azúcar mundial, además representa uno de los rubros más importantes en América con una producción del 47% de la producción total mundial. (Díaz- Portocarrero 2002). En Honduras, esta industria representa el 12.6% de las exportaciones de la industria alimentaria nacional. En el año 2012 se cosecharon 78,000 has con una producción total de 8' 600,000 t (FAOstat 2013).

El cultivo de la caña de azúcar tiene su origen en Nueva Guinea, es perteneciente a la familia de las gramíneas y al género *Saccharum*, del cual se conocen seis especies: *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. barberi*, *S. sinensi*, *S. edule* y *S. officinarum*, siendo esta última, económicamente la más importante, por ser la mayor productora de azúcar. Se estima que el contenido de azúcar (sacarosa) avecina de 8 a 16% (Naturland 2000).

Este cultivo necesita de suelos sueltos, fértiles y profundos, para garantizar un buen rendimiento, sin embargo la planta se desenvuelve bien en diversos tipos de suelo que contemplan una amplia gama textural (Díaz- Portocarrero 2002). Sí a estos requisitos se los acompaña con una buena nutrición y manejo adecuado, se espera mejores resultados de este cultivo. Requiere un suelo profundo, un pH de 6 a 7.5, una 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 nutrición vegetal es un proceso complejo en que se lleva a cabo interacciones entre nutrientes que alimentan a la planta, por este motivo se toma en cuenta, que todos los nutrientes estén presentes en las proporciones adecuadas para favorecer a una producción adecuada (Cháves 1999).

Para este proyecto se evaluó la respuesta a dos planes de fertilización, bajo dos condiciones de suelo en el área de La Flecha, Santa Bárbara, Honduras, propiedad de Raúl Echeverri, (lotes 33,306 con 11.65 ha y lote 33,313 con 7.27 ha), con una producción promedio de 61t/ha.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio se realizó en dos lotes de finca de Raúl Echeverri, manejado por la empresa SER- Chumbagua, ubicada en el Municipio de la Flecha, Departamento de Santa Bárbara, Honduras (Figura 1). En el cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086, soca de primer corte.



Figura 1. Lotes de evaluación Finca Raúl Echeverri, Municipio La Flecha, Departamento Santa Bárbara, Ingenio-SER- Chumbagua, Honduras.

Descripción de la zona de estudio: Geomorfología. Planicie aluvial, con un relieve plano con una pendiente 0-2% de Este a Oeste, a una elevación de 250 msnm.

Clima: Las condiciones climáticas de la zona son óptimas para el crecimiento y desarrollo de la caña, ya que registra temperatura máxima media anual 32.27°C, media anual 26.52°C y mínima media anual 20.77°C. Estos datos fueron obtenidos de la estación climatológica del Ingenio -SER- Chumbagua.

Propiedades físicas del suelo. Se realizaron dos calicatas, para determinar las siguientes propiedades físicas: horizontes, profundidad, color (Tabla Munsell), textura, estructura, consistencia, resistencia a la penetración (penetrometro de bolsillo), poros, raíces y límites de acuerdo a los parámetros establecidos (FAO 2009).

Propiedades químicas del suelo: Se realizaron dos muestreos de suelos, uno en cada lote, obtenida a partir de la sub-muestras de toda el área de los bloques, a una profundidad de 0-20cm. Estas muestras fueron sometidas a análisis químico en el laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana donde se determinaron las siguientes características químicas: Contenido de Potasio, Calcio, Magnesio, Cobre, Hierro, Manganeseo y Zinc extraídos con Solución extractora Mehlich 3 determinados por espectrofotometría de absorción atómica; Fosforo: Solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetría; % M.O: Método de Walkley & Black; % N total: 5% de Materia orgánica (M.O).; pH: Relación suelo: agua; 1:1; Boro, Azufre: Solución extractora fosfato de calcio, determinados por colorimetría; Textura: Método de Bouyoucus (Arévalo y Gauggel 2011).

Análisis foliar: Se realizó un muestreo foliar en la semana 21 del experimento en diez plantas por repetición. Las muestras se analizaron en el laboratorio de suelos de Zamorano y se evaluó los siguientes nutrientes: N determinado por el Método de Kjeldahl; K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn por digestión húmeda con H_2SO_4 y H_2O_2 , determinados por absorción atómica; P por digestión húmeda con H_2SO_4 y H_2O_2 , determinado por espectrofotometría (colorimetría); B, S extraídos con fosforo de Ca, determinados por espectrofotometría (colorimetría) (Arévalo y Gauggel 2011).

Fertilización: Se realizó la primera y única fertilización en la segunda semana después de corte. La fertilización se realizó manualmente en banda se cubrió con azadón para evitar las perdidas por volatilización y escorrentía; se aplicaron los fertilizantes según los tratamientos.

Variables determinadas

Agronómicas: Durante 21 semanas y cada dos, se determinó altura de tallo, diámetro promedio de tallo y número de entrenudos por tallo.

Altura de tallo: se midió cada dos semanas con 10 mediciones. Se midió desde la última lígula visible hasta el suelo con un metro, se determinó el promedio en base a todas mediciones tomadas.

Diámetro promedio de los tallos: se promediaron tres entrenudos por tallo (basal, medio y apical), determinado con un pie de rey como medidor, cada dos semanas.

Número entrenudos: Se realizaron conteos de los entrenudos visibles por tallo.

Crecimiento semanal: Para unificar las medidas se calculó la diferencia de altura, diámetro y número de entrenudos del tallo por semana y se denominó a estas variables como variable de crecimiento.

Cantidad de nutrientes en la hoja: en la semana 21 se realizó un análisis foliar para determinar la absorción de los nutrientes por planta.

Estimación de producción a cosecha: Se cortaron 10 tallos al azar en cada unidad experimental, se pesaron, expresados en t/ha.

Tratamientos

T1: Formula Convencional N-200, P₂O₅- 59, K₂O- 77 Kg/ha/año.

T2: Formula Alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O -210, MgO-107, Zn-20; B-0.44 Kg/ha/año.

La Fórmula Convencional, se refiere a la fórmula que usa el ingenio Ser-Chumbagua. La Fórmula Alterna, se refiere a la formula recomendada por el Ph.D. Carlos Gauggel. Las fórmulas se aplicaron en dos suelos: Franco arcilloso (Finca 33319) y Arcilloso (Finca 33302).

Diseño Experimental. El diseño principal del ensayo fue un Diseño Completamente al Azar, (DCA) con arreglo factorial con medidas tomadas en el tiempo, dos fórmulas × dos suelos. Las parcelas midieron 10 m × 10 m lo que da un área por unidad experimental de 100 m² teniendo dos parcelas: una con suelo franco arcilloso y otra con arcilloso. En cada una se establecieron los tratamientos, seis con cada fórmula en cada parcela.

Los tratamientos en cada parcela fueron asignados totalmente al azar. Entre cada parcela se dejó un surco y dos metros de espacio para evitar el cierre completo de las sub-parcelas. En cada sub-parcela se tomaron 12 surcos, de los cuales tres de cada extremo no se tomaron datos para evitar efecto borde.

Análisis estadístico. Se utilizó el programa Statistycal Analysis System (SAS) en el cual, para las variables agronómicas, se hizo una separación de medias mediante la prueba Duncan con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo: Física. Se encontraron suelos con profundidades de 70cm a 120cm. La textura predominante en la finca 33319 fue franco arcilloso en todos los horizontes, con buen drenaje. En los primeros horizontes destacan las estructuras bloques sub-angulares, la resistencia a la penetración fue baja se encontraron poros finos, vesiculares en el primer horizonte y el resto tubulares. En el lote 33302 se encontraba masificado, sin estructura lo que limita el crecimiento radicular, mal drenaje, y la textura predominante es arcilla de naturaleza expandible (montmorillonita) (Cuadro 1), muchos de estos suelos son vertisoles ya que se observan grietas amplias y profundas durante el periodo seco. Estos suelos cubren 335 millones de hectáreas en todo el mundo. Se estima que 150 millones de hectáreas es el potencial de tierras de cultivo. Vertisoles en los trópicos cubren unos 200 millones de hectáreas y una cuarta parte de esto es considerada tierra útil (Llorente Sánchez 2004).

Condición Química. Las texturas fueron: franco arcilloso en lote 33319 y arcilloso en el lote 33302. pH 8 y pH 6.76 respectivamente. La materia orgánica está dentro de los niveles normales (2-5%). Se obtuvieron valores bajos de N, K, Mg, S, Zinc, B además valores altos en Cu, Mn, Fe, Ca (cuadro 1).

Cuadro 1. Características químicas de los suelos de las fincas 33319 y 33302, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.

Muestra	Textura	%			pH (H ₂ O)	%		mg/Kg (extractable)										
		Arena	Limo	Arcilla		M.O.	N _{total}	P	K	Ca	Mg	Na	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
lote 33319	Franco Arcilloso	22	42	36	8.00	2.78	0.14	18	232	9268	160	17	7	4.4	158.2	216	3.1	0.3
lote 33302	Arcillosa	36	22	42	6.76	2.72	0.14	6	112	4148	340	77	8	2.8	152.2	109	0.8	0.1
Rango Medio						2.00 4.00	0.20 0.50	13 30	Por: Saturación de bases				20 80	1.7 3.4	56 112	28 112	1.7 3.4	0.5 80

Cuadro 2. Características físicas y morfológicas de los suelos de las fincas 33319 y 33302, en las parcelas experimentales, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.

Finca	Ho ¹	Prof (cm)	Color	Textura	Estructura			R.P. (Kg/cm2)	Poros			Raíces		Límite	
					Tipo	Grado	Clase		Tam	For	Cant	Tam	Cant	Top	Nit
33319	Ap	00-08	7.5YR 3/2 Pardo Muy Oscuro	FAr	G	D	mf	2.16	Fn	V	Fr	TT	Fr	Pla	Ab
	2Ab	.08 - 54	7.5YR 3/1 Gris Muy Oscuro	FAr	Bsa	Mo	G	2.43	Fn	T	Fr	Fn	Fr		
	2C	54-70+	7.5YR 3/2 Pardo Muy Oscuro	FAr	Bsa	Mo	G	1.6	Fn	T	Fr	Fn	Fr		
Mollic Fluvaquent															
33302	Ap	00-67	7.5 YR 3/1 Gris Muy Oscuro (Seco)	Ar	G	D	M	2.1	TT	T	Fr	Fn	Po	Pla	Di
	Css	67-78	5 YR 2.5/1 Negro (húmedo)	Ar	M	F	G	3	Fn	V	Po	Fn	A		
	Cg	78-96	10YR 6/2 Gris Parduzco Claro	Ar	M	F	G	3	Fn	V	Po	A	A		
	C2	96-120	5YR 5/3 Pardo Rojizo	Ar	M	F	G	2.66	Fn	V	A	A	A		
Typic Calciaquent															

Ho:Horizonte. Prof: Profundidad. Textura; FArL: Franco Arcillo Limoso, FAr: Franco Arcilloso, Ar: Arcilloso, FL: Franco Limoso. Estructura; Tipo; Bsa: Bloques Sub-angulares, P: Prismática, BA: Bloques Angulares, M: Masivo, sin estructura. Grado; D: Débil, Mo: Moderado, F: Firme. Clase; M: Medianos, G: Gruesos, mf: muy fino. C.H: Consistencia en húmedo; F: Friable, MF: Muy Friable. C.M: Consistencia en mojado; lpg: ligeramente pegajoso, pl: plástico, pg: pegajoso, lp: ligeramente pegajoso, mpg: muy pegajoso, mpl: muy plástico. RP: Resistencia a la Penetración. Tam: tamaño; TT: Todos los Tamaños, Fn: Finos, For: Forma; V: Vesiculares, T: tubulares, Cant: Cantidad, m: muchos, Fr: Frecuentes. Raíces; Tam: Tamaño; Fn: Finas, M: Medianas, mf: muy finas, Cant: Cantidad; Po: Pocas, A: Ausentes, Fr: Frecuentes. Limite; Top: Topografía; Pla: Plano, O: Ondulado, Nit: Nitidez; Gr: Gradual, Di: Difuso, Ab: Abrupto.

Variables agronómicas

Altura del tallo. Hay diferencia significativa ($P<0.05$) favorable al suelo Franco arcilloso (lote 33319) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Altura del tallo partir de la semana dos del cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086 en soca, bajo dos programas de fertilización en suelos franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.

Fórmula	Suelo	Altura (m)									
		2	4	6	8	10	12	15	17	19	21
Convencional [£]	Ar [£]	0.4 c	0.56 b	0.6 c	0.7 b	0.86 c	1.01 b	1.13 d	1.13 c	1.3 c	1.5 c
Alterna	Ar	0.48 b	0.6 a	0.68 b	0.81 a	1.1 a	1.21 b	1.26 c	1.38 b	1.61 b	1.81 b
Convencional	FAr	0.55 a	0.69 a	0.74 a	0.85 a	0.97 a	1.18 b	1.48 a	1.63 a	1.78 a	1.98 a
Alterna	FAr	0.56 a	0.69 a	0.75 a	0.93 a	1.18 a	1.33 a	1.37 b	1.67 a	1.92 a	2.12 a

[£]Ar: Arcilloso.

[£]FAr: Franco arcilloso.

Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí ($P<0.05$).

[£]Convencional N-200, P₂O₅-59, K₂O-77 kg/ha/año, alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44 kg/ha/año.

Interacción en altura. En suelo arcilloso presentó menor altura que en franco arcilloso por las condiciones del suelo. El efecto de las dos fórmulas en la altura de la planta es similar. La caña en suelo franco arcilloso presentó mayor altura con ambas fórmulas convencional y alterna (Cuadro 4).

Cuadro 4. Interacción de dos programas de fertilización en la variable altura del tallo durante la etapa vegetativa en caña de azúcar variedad CP-722086. Ingenio -SER-Chumbagua La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.

Chamúsca La Peña, Santa Bárbara, Honduras.			
Suelo		Media	Valor P
Arcilloso (Ar)		0.9b [¥]	<.0001
Franco arcilloso (FAr)		1.2a	
Fórmula		Media	
Alterna		1.1a	<.0001
Convencional		1.2a	
Fórmula	Suelo	Diferencia de altura cm	
Convencional ^f	Ar	0.9b	
Alterna	Ar	1.1a	
Convencional	FAr	1.2a	
Alterna	FAr	1.3a	

[¥]Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí ($P<0.05$).

Hay diferencia significativas ($p<0.05$) en suelo, formula, suelo $\times$ formula.

[£]Convencional N-200, P₂O₅-59, K₂O-77, alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44.

Número de entrenudos. En el suelo Franco arcilloso (lote 33319) se presentaron diferencias (P<0.05) en todas las semanas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Número de entrenudos por tallo a partir de la semana dos del cultivo de caña de azúcar en soca, bajo dos programas de fertilización en suelos franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.

Fórmula	Suelo	Entrenudos (No./tallo)									
		2	4	6	8	10	12	15	17	19	21
Convencional [£]	Ar [£]	7.25 b	7.4 c	7.50	7.65 b	7.9 b	8.4 b	9 c	10.88 c	11.41 c	11.91 c
Alterna	Ar	7.61 a	7.78 b	7.93	8.08 a	8.48 a	8.98 a	9.58 b	13.36 b	13.96 b	14.46 b
Convencional	FAr	7.73 a	7.91 b	7.99	8.15 a	8.36 a	8.9 a	9.5 b	13.37 b	13.92 b	14.41 b
Alterna	FAr	8.09 a	8.16 a	8.41	8.58 a	8.98 a	9.48 a	10.8 a	14.85 a	15.45 a	15.95 a

[£]Ar: Arcilloso.

[∞]FAr: Franco arcilloso.

Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

[£]Convencional N-200, P₂O₅-59, K₂O-77 kg/ha/año, alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44 kg/ha/año.

Interacción de número de entrenudos. En el suelo arcilloso presentó menor número de entrenudos por las condiciones de compactación del suelo, en franco arcilloso presento mayor número de entrenudos con la formula alterna, la formula alterna en arcilloso y convencional en franco arcilloso presentaron diferencias entre sí (Cuadro 6).

Cuadro 6. Interacción de dos programas de fertilización en el número de entrenudos por tallo durante la etapa vegetativa en caña de azúcar variedad CP-722086. Ingenio -SER-Chumbagua La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.

Suelo		Media	Valor P
Arcilloso (Ar)		9.4b [¥]	<.0001
Franco arcilloso (FAr)		10a	
Fórmula		Media	
Alterna		10 a	<.0001
Convencional		9.4 b	
Fórmula	Suelo	Entrenudos/tallo	
Convencional [£]	Ar	8.9c	<.0001
Alterna	Ar	10 b	
Convencional	FAr	10 b	
Alterna	FAr	11 a	

[¥]Valores en columna con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

Hay diferencia significativa (P<0.05) en suelo, fórmula, suelo × fórmula

[£]Convencional N-200, P₂O₅-59, K₂O-77 kg/ha/año, alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44 kg/ha/año.

Diámetro Promedio del tallo. En el suelo franco arcilloso con la fórmula alterna (lote 33319), se presentó el mayor diámetro promedio por tallo durante la evaluación 21 semanas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Diámetro promedio del tallo a partir de la semana dos del cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086 en soca, bajo dos programas de fertilización en suelos franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.

Fórmula	Suelo	Diámetro de tallo (cm)									
		2	4	6	8	10	12	15	17	19	21
Convencional [£]	Ar [€]	1.13 b	1.16 b	1.21 b	1.26 b	1.26 b	1.36 b	1.56 a	1.53 b	1.7 b	2 b
Alterna	Ar	1.25 b	1.3 b	1.35 b	1.4 b	1.4 b	1.7 a	2.1 a	2.26 a	2.36 b	2.4 b
Convencional	FAr	1.53 a	1.57 a	1.61 a	1.65 a	1.67 a	1.77 a	1.97 a	2.02 a	2.18 b	2.4 b
Alterna	FAr	1.54 a ²	1.59 a	1.63 a	1.68 a	1.72 a	2.02 a	2.42 a	3.08 a	3.13 a	3.2 a

[€]Ar: Arcilloso.

[∞]FAr: Franco arcilloso.

Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

[£]Convencional N-200, P₂O₅-59, K₂O-77 kg/ha/año, alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44 kg/ha/año.

Interacción de diámetro promedio del tallo. En suelo arcilloso la fórmula convencional presentó menor diámetro de tallo por las condiciones de compactación del suelo; la fórmula alterna en suelo arcilloso presentó mayor crecimiento que la convencional, en suelo franco arcillosos presentó mayor crecimiento en ambas fórmulas convencional y alterna. El suelo franco arcilloso mantiene un diámetro promedio de tallo y mayor que en suelo arcilloso. La fórmula alterna genera un mayor diámetro de tallo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Interacción de dos programas de fertilización en diámetro promedio de tallo durante la etapa vegetativa en caña de azúcar. Ingenio -SER- Chumbagua La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.

Santa Bárbara, Honduras.			
Suelo		Media	Valor P
Arcilloso (Ar)		1.5 b [¥]	<.0001
Franco arcilloso (FAr)		2.1 a	
Fórmula		Media	
Alterna		1.9 a	<.0001
Convencional		1.6 b	
Fórmula	Suelo	Diámetro de tallo (cm)	
Convencional ^f	Ar	1.4 b	<0.3
Alterna	Ar	1.8 a	
Convencional	FAr	1.8 a	
Alterna	FAr	2.2 1	

[¥]Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

Hay diferencia significativa ($P<0.05$) en suelo, formula, formula $\times$ semana no presento diferencia.

^fConvencional N-200, P₂O₅-59, K₂O-77, alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44.

Crecimiento en altura por semana. En la semana 4, 19,21 no se presentaron diferencias en esta variable. Solamente la fórmula convencional en suelo arcilloso fue inferior en crecimiento en todas las semanas ($P<0.05$) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Diferencia de altura a partir de la semana dos de soca en el cultivo de caña de azúcar variedad CP 722086, bajo 2 programas de fertilización en suelo franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.

Fórmula	Suelo	Diferencia de altura (cm/semana)									
		2	4	6	8	10	12	15	17	19	21
Convencional ^f	Ar ^e	6.7	2.0	5.5 b	7.5 b	9.3 a	0 c	5.41 b	7.5 b	10.0	0.0
Alterna	Ar	4.0	2.3	8.75 a	12.5 a	7.5 b	0 c	12.64 a	12.5 a	10.0	0.0
Convencional	FAr	7.5	2.0	5.5 b	6.25 c	10.5 a	15.8 a	5.41 b	7.5 b	10.0	0.0
Alterna	FAr	6.9	2.9	8.75 a	12.5 a	7.5 b	1.8 b	12.64 a	12.5 a	10.0	0.0

^eAr: Arcilloso.

^fFAr: Franco arcilloso.

Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí ($P<0.05$).

^fConvencional N-200, P₂O₅-59, K₂O-77 kg/ha/año, alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44kg/ha/año.

Interacción crecimiento en altura por semana. En suelo franco arcilloso el crecimiento semanal fue mayor significativamente (7.2cm/semana) que en suelo arcilloso (6.3cm/semana). La fórmula alterna hace crecer más que la convencional ($P\leq 0.05$). La fórmula alterna fue mejor en los dos suelos (franco arcilloso y arcilloso); la fórmula convencional es mejor en el suelo franco arcilloso pero genera menor crecimiento que la fórmula alterna (Cuadro 10).

Cuadro 10. Interacción en crecimiento en altura de dos programas de fertilización durante la etapa vegetativa en caña de azúcar variedad CP- 722086. Ingenio -SER- Chumbagua La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.

Suelo	Media	Valor P
Arcilloso (Ar)	6.3 b [¥]	<.0001
Franco arcilloso (FAr)	7.2 a	
Fórmula	Media	
Alternativa	7.4 a	<.0001
Convencional	6.1 b	
Fórmula	Suelo	Diametro de tallo (cm)
Convencional [£]	Ar	5.3 c
Alternativa	Ar	7.4 ab
Convencional	FAr	6.7 b
Alternativa	FAr	7.5 a

[¥]Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05)

Diferencia de altura Interacción en suelo, formula, suelo × formula no presento diferencia.

[£]Convencional N-200, P₂O₅-59, K₂O-77 kg/ha/año, alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44 kg/ha/año.

Diferencia de entrenudos por tallo por semana. Solamente en las semanas 2 y 17 hubo efecto de los tratamientos en esta variable siendo mejor la fórmula alterna en suelo franco arcilloso, no se presentaron diferencias (P<0.05) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Diferencia de entrenudos por semana a partir de la semana dos del cultivo de caña de azúcar variedad CP722086 en soca, bajo dos programas de fertilización en suelos franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.

Fórmula	Suelo	Diferencia de entrenudos/tallo/semana									
		2	4	6	8	10	12	15	17	19	21
Convencional [£]	Ar [€]	0 b	0.06	0.04	0.08	0.12	0.25	0.21	0.93 d	0.27	0.25
Alternativa	Ar	0 b	0.09	0.06	0.09	0.20	0.25	0.21	1.88 c	0.30	0.25
Convencional	FAr	0 b	0.09	0.04	0.08	0.10	0.27	0.21	1.93 b	0.27	0.25
Alternativa	FAr	0.68 a	0.08	0.11	0.09	0.20	0.25	0.21	2.38 a	0.30	0.25

[€]Ar: Arcilloso.

[∞]FAr: Franco arcilloso.

Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05)

[£]Convencional N-200, P₂O₅-59, K₂O-77 kg/ha/año, alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44 kg/ha/año.

Interacción en diferencia de entrenudos por semana. En el suelo arcilloso la fórmula convencional presentó menor diferencias de entrenudos por las condiciones de compactación del suelo, en suelo franco arcilloso la formula alterna presentó mayor diferencia de entrenudos. La alterna es menor lo cual es satisfactorio ya que se espera menos entrenudos por tallo. En cuanto a la fórmula alterna en suelo arcilloso y convencional en franco arcilloso no presentaron diferencias entre sí (Cuadro 12).

Aumento diámetro del tallo mm por semana. Aunque hubo diferencia entre los tratamientos, en esta variable, no hay una tendencia clara acerca de cuál tratamiento

favorece esta variable. En la semana 4,6 no se presentaron diferencias ($P<0.05$) (Cuadro 13).

Interacción diámetro mm por semana. En el suelo arcilloso la formula alterna presentó menor diámetro por semana por las condiciones de compactación del suelo, en suelo franco arcilloso la fórmula alterna presento mayor diámetro. En cuanto a la fórmula alterna en suelo arcilloso y convencional en franco arcilloso no presentaron diferencias entre sí (Cuadro 14).

Cuadro 12. Interacción en diferencia de nudos por semana de dos programas de fertilización durante la etapa vegetativa en caña de azúcar. Ingenio -SER- Chumbagua La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.

Suelo	Media	Valor P
Arcilloso (Ar)	0.2 b [¥]	0.002
Franco arcilloso (FAr)	0.3 a	
Fórmula	Media	
Alterna	0.3a	0.001
Convencional	0.2b	

Fórmula	Suelo	Diferencia entrenudos/tallo	
Convencional [£]	Ar	0.3 b	0.7
Alterna	Ar	0.2 c	
Convencional	FAr	0.5 a	
Alterna	FAr	0.3 b	

[¥]Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí ($P<0.05$).

Hay diferencia significativa ($P<0.05$) en suelo, formula, suelo $\times$ formula no presento diferencia.

[£]Convencional N-200, P₂O₅-59, K₂O-77 kg/ha/año, alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44 kg/ha/año.

Cuadro 13. Aumento de diámetro a partir de la semana dos del cultivo de caña de azúcar variedad CP- 722086 en soca, bajo dos programas de fertilización en suelos franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras

Fórmula	Suelo	Aumento diámetro (mm/semana)									
		2	4	6	8	10	12	15	17	19	21
Convencional ^f	Ar ^e	0 b	0.28	0.72	0.95 b	1.05 a	0.25 b	1.26 b	0.54 b	1.85 a	1.25 a
Alterna	Ar	0 b	0.26	0.37	0.43 b	0.23 c	1.25 a	1.63 a	0.76 b	0.45 b	0.2 b
Convencional	FAr	0 b	0.22	0.17	0.2 b	0.1 c	0.52 b	0.72 b	0.41 b	0.82 b	1.25 a
Alterna	FAr	1.42 a	0.54	1.07	1.48 a	0.97 b	1.48 a	2.7 a	4.51 a	1.29 a	0.2 b

^eAr: Arcilloso.

^fFAr: Franco arcilloso.

Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

^fConvencional N-200, P₂O₅-59, K₂O-77 kg/ha/año, alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44 kg/ha/año.

Cuadro 14. Interacción en diámetro de dos programas de fertilización durante la etapa vegetativa en caña de azúcar variedad CP-722086. Ingenio -SER- Chumbagua La Flecha, Santa Bárbara, Honduras.

Suelo			Media	Valor P
Arcilloso (Ar)			0.6 b [¥]	0.0004
Franco arcilloso (FAr)			1.0 a	
Fórmula			Media	
Alterna			1.0 a	<0.001
Convencional			0.6 b	
Fórmula	Suelo	Diferencia de diametro (mm)		
Convencional [£]	Ar	0.6 c		
Alterna	Ar	0.8 b		
Convencional	FAr	1.6 a		
Alterna	FAr	0.4 c		

[¥]Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P≤0.05).

Hay diferencias significativa (P<0.05) en formula, suelo × formula suelo no presento diferencia.

^fConvencional N-200, P₂O₅-59, K₂O-77 kg/ha/año, alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44 kg/ha/año.

Numero de tallos/m². Se presentaron diferencias significativas en suelo y fórmula (cuadro 15), hubo mayor número de tallos en el suelo franco arcilloso independientemente de la fórmula, ya que esta variable no depende de la fertilización sino del estado del suelo.

Cuadro 15. Número de tallos/m² en caña de azúcar variedad CP-722086 bajo dos programas de fertilización en suelo franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.

Fórmula	Suelo	Tallos/m ²	Tallos/ha	Valor P		
				Suelo	Fórmula	Suelo × Fórmula
Convencional	Ar	20.0 b	199,500 b	<.0001	<.0001	<0.26
Alternativa	Ar	20.6 b	206,000 b			
Convencional	FAr	20.7 a	207,400 a			
Alternativa	FAr	21.6 a	215,600 a			

^εAr: Arcilloso.

[∞]FAr: Franco arcilloso.

Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

Estimado de cosecha. Se presentaron diferencias (P<0.05) entre suelo y fórmula. La mayor producción ocurre en el suelo franco arcilloso y en suelo es mejor franco arcilloso. En el suelo arcilloso hubo diferencias siendo más bajos la estimación de cosecha de producción, este resultado se debe a la compactación del suelo y a la alta capacidad de retención de nutrientes de las arcillas, que los mantienen como no disponibles para la planta (Cuadro 16) (FAO 2002).

Cuadro 16. Estimado de producción de cosecha de caña de azúcar variedad CP-722086 (t/ha) bajo dos programas de fertilización en suelo franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.

Fórmula	Suelo	Media
Alternativa	Ar	76.8 c
Convencional	Ar	63.9 d
Alternativa	FAr	115.3 a
Convencional	FAr	101.7 b

^εAr: Arcilloso.

[∞]FAr: Franco arcilloso

Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

Contenido de nutrientes foliar. El nivel foliar de nutrientes no alcanzó el rango adecuado en N, P, S, de los macro-elementos, B no alcanzó el rango adecuado en la fórmula alterna y convencional en suelo franco arcilloso, la única diferencia significativa a P<0.05 que se encontró fue en nitrógeno que alcanzó un nivel más alto con la fórmula alterna en suelos Franco arcillosos (Cuadro 17), lo cual deja en evidencia que la planta no responde necesariamente a altas dosis de este elemento, pero si a un balance con otros elementos especialmente con potasio. De igual manera la absorción de nitrógeno estimula la absorción de fósforo.

Cuadro 17. Concentración de nutrientes en la tercera hoja de caña de azúcar variedad CP-722086 en la semana 21, bajo dos programas de fertilización en suelo franco arcilloso y arcilloso, Azucarera Ser-Chumbagua, Santa Bárbara, Honduras.

Fórmula	Cantidad de nutrientes										
	%						kg/mg				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Alterna FAr	1.53 a	0.16a	1.11	0.50	0.11	0.12	6.7 c	75 a	24 a	23	2.3 b
Convencional	1.36 b	0.14b	1.08	0.58	0.11	0.12	6.47 b	67 b	28 a	25	3.4
Alterna Ar	1.35 b	0.13b	1.05	0.54	0.13	0.12	8.93 a	64 c	62 b	22	4.6 a
Convencional Ar	1.19 b	0.11c	1.04	0.58	0.12	0.12	6.19 b	55 d	57 b	23	4.4 a
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Rango Medio	2.00- 2.6	0.18- 0.3	1.10- 1.8	0.20- 0.5	0.10- 0.35	0.14- 0.2	5- 15	40- 250	25- 400	20- 100	4- 30

[∞]Ar: Arcilloso.

[∞]FAr: Franco arcilloso.

Biodisponibilidad. Nitrógeno y boro mostraron deficiencias en los dos tipos de suelo, hay baja biodisponibilidad de potasio con la fórmula convencional, boro y magnesio en la alterna (cuadro 18). El calcio es alto en el suelo y es absorbido en altas cantidades por la planta independiente de la textura y de la fertilización que se aplique .

Cuadro 18. Biodisponibilidad de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar en suelo franco arcilloso y arcilloso, bajo dos programas de fertilización. Azucarera Ser-Chumbagua, Honduras.

Fórmula	Deficiencias	Biodisponibilidad		
		Baja	Adecuada	Alta
Convencional Ar	N	K,Mg,S	P,Cu,Fe,Mn,Zn,B	Ca,
Alterna Ar	N	K	P,Mg,S,Cu,Fe,Mn,Zn,B	Ca
Convencional FA	N	B	P,K,Mg,S,Cu,Fe,Mn,Zn	Ca
Alterna FAr	B	B,Mn	P,K,Mg,S,Cu,Fe,Mn,Zn,B	Ca

4. CONCLUSIONES

- Hay una mejor respuesta del cultivo a la fórmula alterna (N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44) en suelos de textura franco arcillosa y arcillosa
- La fórmula completa genera mayores rendimientos y condiciones del cultivo de caña de azúcar en la etapa vegetativa (7 meses).
- En suelos arcillosos compactados la respuesta a la fertilización es menor que en suelos franco arcillosos.
- En suelos calcáreos la absorción de calcio por la planta es alta.
- El boro limita la absorción en suelos arcillosos y calcáreos.

5. RECOMENDACIONES

- Aplicar fórmula alterna N-150, P₂O₅-116; K₂O-210, MgO-107, Zn-20; B-0.44 bajo condiciones de los suelos estudiados.
- Determinar si existen diferencias entre los tratamientos en la variables de producción y de calidad, tales como grado brix, pol, solidos totales, azucares reductores y tonelada de caña por hectárea y libras de azúcar por tonelada.
- Realizar un análisis económico para determinar el mejor programa.
- Mejorar las condiciones físicas y morfológicas de los suelos ya que son un factor limitante para la absorción de nutrientes y rendimientos.

6. LITERATURA CITADA

Alexander, A. 1985. The Energy Cane Alternative. Sugar Series No. 6. Elsevier. USA, 530 p.

Arévalo, G. y Gauggel, C. 2011. Manual de prácticas. Séptima edición, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 77 p.

Cháves M. 1999. Nutrición y fertilización de la Caña de Azúcar en Costa Rica. XI Congreso Nacional Agronómico/ III Congreso Nacional de Suelos. Costa Rica.

Diaz – Portocarrero. 2002. Manual de Producción de Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum* L.), Honduras. Consultado en línea en <http://www.fao.org/hn/l/>

FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2012 | 11 September 2012.

FAO. 2013. FAOSTAT – Sugarcane 2012. (en línea). Consultado 19 de agosto del 2013. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD>

FAO. 2002. Los fertilizantes y su uso. Cuarta edición. Roma, Italia. 77 p.

FAO, 2009. Guía para la descripción de suelos. Trad. Vargas, R. Cuarta Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 11p.

Llorente Sánchez, Mireia. 2004. Caracterización física y química de vertisoles del noreste de México sometidos a distintas formas de manejo. Tesis M. Sc. Ciencias Forestales. Nuevo León, México. 73 p. (en línea). Consultado el 30 de agosto del 2013. Disponible en: <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020150225.PDF>

Mills, H.A., Jones, Jr., Benton, J., Wolf, B. 1991. Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing, Inc., Athens, Georgia. 213 p.

Naturland e.V. 1era Edición. 2000. Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico, Caña de Azúcar. Gräfelfing, Alemania. 20 p