

**Efecto de cuatro programas de fertilización y  
tres tipos de suelos en variables  
agroindustriales en caña de azúcar  
(*Saccharum officinarum*) var. Mex 79-431 en  
la Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras**

**Cesar Escobar Lobo  
Miriam Nicole Gutierrez Rodriguez**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras  
Noviembre, 2013**

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA

**Efecto de cuatro programas de fertilización y  
tres tipos de suelos en variables  
agroindustriales en caña de azúcar  
(*Saccharum officinarum*) var. Mex 79-431 en  
la Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras**

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

Presentado por

**Cesar Escobar Lobo  
Miriam Nicole Gutierrez Rodriguez**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2013

**Efecto de cuatro programas de fertilización y tres tipos de suelos en variables agroindustriales en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) var. Mex 79-431 en Choluteca, Honduras.**

**Cesar Escobar Lobo y Miriam Nicole Gutierrez Rodriguez**

**Resumen.** La caña de azúcar ha incrementado su producción e importancia a nivel mundial. La Azucarera Choluteca S.A. de C.V., ubicada en Choluteca, Honduras, es una empresa de 47 años dedicada a la producción de azúcar refinada. El experimento comparó cuatro programas de fertilización en tres suelos: franco limoso, franco arcillo limoso y arcilloso. Los tratamientos fueron los programas de fertilización: 114-36-59-S2-Zn4 (convencional) y 172-57-143-MgO43-S36-Zn14-B6 (alterno) con aplicación total de dos programas a los 2.5 meses del cultivo y fraccionados en dos aplicaciones a los 2.5 y 3.5 meses. Los objetivos de este estudio fueron determinar la respuesta del cultivo de caña de azúcar con cuatro programas de fertilización y tres tipos de suelos y evaluar el efecto de estos en la producción de caña y azúcar. Bajo las condiciones de este estudio, no se encontraron diferencias significativas entre los programas de fertilización evaluados. Hubo una respuesta diferencial del cultivo según la textura del suelo, siendo mayor la producción (t/ha) y azúcar (kg/ha) en suelos de textura franco limosa. Se encontró baja biodisponibilidad de azufre en suelos franco arcillo limosos y boro en arcillosos. Nitrógeno y potasio se encontraron en niveles bajos en el suelo y en nivel adecuado en la planta. En suelos arcillosos, se obtuvieron valores superiores en grados Brix y pol. En suelos franco limosos se obtuvo mayor pureza y menor cantidad de azúcares reductores.

**Palabras clave:** Biodisponibilidad, calidad, fraccionamiento, rendimiento, textura.

**Abstract:** The production and importance of sugar cane has increased in the worldwide. Azucarera Choluteca S.A. de C.V., located in Choluteca, Honduras, is a company of 47 years dedicated to the production of refined sugar. This experiment compared four fertilization programs in three types of soils: silt loam, clay silty loam and clay. The treatments were the fertilization programs: 114-36-59-S2-Zn4 (conventional) y 172-57-143-MgO43-S36-Zn14-B6 (alternative) with total application of two programs at the 2.5 months and other two fractioned in two applications at 2.5 and 3.5 months. The objectives of this study were to determine the response of the crop of sugar cane to the four programs of fertilization and three types of soil and evaluate the effect in production of cane and sugar. Under the conditions of this study no significative differences were found among the programs of fertilization evaluated. There was a differential response of the crop according to soil texture, the major production (t/ha) and sugar (kg/ha) were found in clay silty loam. Low biodisponibility of sulfur was found in clay silty loam soil and boron in clay soil. Nitrogen and potassium were found in low levels in soil and adequate levels in the plant. In clay soil, superior values of Brix and pol were obtained. In silty loam soils more purity and less quantity of reducing sugars.

**Key words:** Biodisponibility, quality, fractionating, yield, texture.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>4 CONCLUSIONES .....</b>	<b>22</b>
<b>5 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>23</b>
<b>6 LITERATURA CITADA.....</b>	<b>24</b>
<b>7 ANEXOS .....</b>	<b>27</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Características físicas y morfológicas de suelos de las fincas Semilleros 12, Tigra 5 y Rancho Alegre 50, en las parcelas experimentales, Azucarera Choluteca, Marcovia, Honduras (Castellanos Rojas y Gutierrez Rodriguez 2012). ....	7
2. Fórmulas de fertilización recomendadas para el cultivo de caña de azúcar, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras (Castellanos Rojas y Gutierrez Rodriguez 2012). ....	8
3. Composición de fertilizantes utilizados en la evaluación de dos fórmulas de fertilizantes, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras, 2012. ....	8
4. Cantidad de nutrientes aportada con las fórmulas de fertilización recomendadas para caña de azúcar, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras, 2012. ....	8
5. Características químicas de suelos franco limosos en la finca Semilleros 12, bajo cuatro programas de fertilización a las 40 semanas después de siembra, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	10
6. Concentración de bases de suelos franco limosos en la finca Semilleros 12, bajo cuatro programas de fertilización a las 40 semanas después de siembra, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	11
7. Características químicas de suelos franco arcillo limosos en la finca La Tigra 5, bajo cuatro programas de fertilización a las 40 semanas después de siembra, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	11
8. Concentración de bases de suelos franco arcillo limosos en la finca La Tigra 5, bajo cuatro programas de fertilización a las 40 semanas después de siembra, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	12
9. Características químicas de suelos arcillosos en la finca Rancho Alegre 50, bajo cuatro programas de fertilización, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	12
10. Concentración de bases de suelos arcillosos en la finca Rancho Alegre 50, bajo cuatro programas de fertilización, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	13
11. Contenido nutricional del tejido de la tercera hoja de caña de azúcar en la semana 40 después de siembra, bajo cuatro programas de fertilización, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	14
12. Biodisponibilidad de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar en suelo franco limoso, bajo cuatro programas de fertilización, Finca Semilleros 12, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	15

13. Biodisponibilidad de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar en suelos franco arcillo limosos (La Tigra 5) bajo cuatro programas de fertilización, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	15
14. Biodisponibilidad de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar en suelos arcillosos (Rancho Alegre 50) bajo cuatro programas de fertilización, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	15
15. Porcentaje de jugo de caña durante cosecha de caña de azúcar, bajo cuatro programas de fertilización, en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	16
16. Grados Brix durante cosecha de caña de azúcar, bajo cuatro programas de fertilización, en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	16
17. Pol durante cosecha de caña de azúcar, bajo cuatro programas de fertilización, en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	17
18. Porcentaje de pureza durante cosecha de caña de azúcar, bajo cuatro programas de fertilización, en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	17
19. Concentraciones de azúcares reductores durante cosecha caña de azúcar, bajo cuatro programas de fertilización en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	18
20. Datos de producción (t/ha) de caña de azúcar bajo cuatro programas de fertilización en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	18
21. Producción estimada y real (t/ha) de caña de azúcar, a 25 y 48 semanas después de siembra del cultivo, bajo cuatro programas de fertilización, en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	19
22. Kilogramos de azúcar por tonelada de caña de azúcar bajo cuatro programas de fertilización en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	19
23. Producción de azúcar (kg/ha) en el cultivo de caña de azúcar bajo cuatro tratamientos en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	20
24. Correlaciones de producción (t/ha) y kilogramos de azúcar por tonelada con nutrientes del análisis foliar a 40 semanas después de siembra del cultivo de caña de azúcar, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	21

Figuras

Página

1. Distribución de la precipitación desde marzo 2012 (siembra del cultivo de caña) hasta marzo 2013 (cosecha) registradas en el pluviómetro de Queiebrapata, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	3
---	---

1. Matrices de biodisponibilidad en suelos franco limosos (Semilleros 12) para cuatro programas de fertilización en el cultivo de caña de azúcar, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	27
2. Matrices de biodisponibilidad en suelos franco arcillo limosos (La Tigra 5) para cuatro programas de fertilización en el cultivo de caña de azúcar, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	28
3. Matrices de biodisponibilidad en suelos arcillosos (Rancho Alegre 50) para cuatro programas de fertilización en el cultivo de caña de azúcar, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. ....	29

## 1. INTRODUCCIÓN

En el 2012, Honduras registró una zafra azucarera de 10.3 millones quintales, pese a las adversidades climatológicas. La elevada producción significó 200,000 empleos directos e indirectos. Actualmente la industria azucarera la conforman siete ingenios y 10,000 familias de productores independientes (La Tribuna 2012). Honduras registró 78,000 hectáreas cosechadas y 8,600,000 toneladas en el año 2012 (FAO 2013).

Temperaturas tropicales cálidas están relacionadas directamente con el crecimiento de este cultivo. La temperatura óptima de germinación de los esquejes es de 32°C a 38°C (NETAFIM s.f.). También, altos niveles de humedad en el suelo favorecen el desarrollo vegetativo; por otra parte el ambiente seco y caliente promueve la maduración de la planta (De Geus 1967). Este cultivo tiene mejores rendimientos en suelos francos o franco arcillosos, bien drenados y profundos (Quintero Durán 1995). La caña de azúcar es un cultivo con un ciclo vegetativo muy variable, cuya duración depende básicamente de las características del material genético utilizado (Chaves 1999).

La cantidad de nutrimentos que extrae un cultivo es diferente de acuerdo con la variedad, el tipo de suelo, las condiciones del clima y el manejo del cultivo (Quintero Duran 1995). El conocimiento adquirido por medio de estudios de fertilización ayuda a ser más precisos a la hora de nutrir el cultivo. Muchos ingenios azucareros, por ejemplo la Azucarera Choluteca S.A., están invirtiendo en investigación para ser más efectivos en el campo.

La fibra, es todo lo que queda después de quitar el jugo a la caña; la concentración de sólidos solubles en el jugo son denominados grados Brix y se expresan en porcentaje. El porcentaje de sacarosa en el jugo, en relación a los grados Brix se conoce como pureza del jugo. La sacarosa expresada como porcentaje en peso se denomina “pol”. Los sólidos solubles, diferentes a la sacarosa, que incluyen azúcares reductores (no son sacarosa) y otras sustancias orgánicas, se denominan “no-pol” o no sacarosa. Estos “no-pol” son la diferencia entre grados Brix y el pol expresado en porcentaje y se conocen como azúcares reductores (Larrahondo 1995).

La Azucarera Choluteca S.A. (ACHSA), fundada en 1968, se encuentra ubicada en el municipio de Marcovia, departamento de Choluteca. Choluteca es un lugar cálido con temperaturas que oscilan entre 25 y 34 °C (WeatherOnline s.f.) y con sequías muy marcadas que, a pesar de que se da riego, puede afectar al rendimiento del cultivo. Se buscan variedades tolerantes a las sequías, de maduración rápida y buena concentración de azúcares. Un ejemplo de una variedad tolerante es la Mex 79-431; es de color verde –

blancuzca; es rustica, se desarrolla bien en suelos pobres y con restricciones de agua. Durante su ciclo de crecimiento el porcentaje de sacarosa en caña puede oscilar entre 13 y 14 (INIFAP s.f.). Para la producción de azúcar se busca que las concentraciones porcentuales de sacarosa sean lo más alto posibles para que posteriormente puedan cristalizarse y formar el azúcar común.

### **Antecedentes.**

Este estudio correspondió a la fase final de la evaluación de cuatro programas de fertilización en caña de azúcar en la Azucarera Choluteca. La primera fase correspondió a la evaluación agronómica que se estableció en marzo del 2012. Se realizó en tres fincas de diferentes texturas: franco limoso (Semilleros 12), franco arcillo limoso (Tigra 5) y arcilloso (Rancho Alegre 50). La caracterización y descripción de los suelos se realizó mediante calicatas en cada uno de los lotes. Se delimitaron doce unidades experimentales en cada una de las fincas y se prosiguió con la preparación de suelos.

La preparación del suelo consistió en un pase de arado y luego un pase de rastra pesada. La siembra fue realizada los días 19, 20 y 22 de Marzo del 2012, se utilizó la variedad MEX 79-431. Se sembraron esquejes con 18 yemas por cada metro, obteniendo una densidad de 112,500 yemas por hectárea. Al momento de la siembra se aplicó una dosis de 194.8 kg/ha de fosfato di amónico (18-46-0) en el fondo del surco, luego se colocó esquejes de 60 centímetros de largo de la variedad MEX 79-431.

Como parte de la fertilización se utilizaron cuatro programas, dos que correspondieron a una aplicación total y dos en las que se fraccionó. En la semana diez después de siembra se realizó la fertilización completa de dos programas y la mitad de las otras dos. En la semana catorce del cultivo se completaron los programas fraccionados (Castellanos Rojas y Gutiérrez Rodríguez 2012)

Los objetivos de esta fase del estudio fueron:

- Determinar la respuesta del cultivo de caña de azúcar a cuatro programas de fertilización y tres tipos de suelos.
- Evaluar el efecto de cuatro programas de fertilización en la producción de caña.
- Determinar el efecto de cuatro programas de fertilización en producción de azúcar en el cultivo de caña.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Ubicación.** Las parcelas experimentales fueron establecidas en la empresa Azucarera Choluteca S.A. de C.V. ubicada en el municipio de Marcovia, departamento de Choluteca, Honduras.

**Clima.** Choluteca presentó en el 2012 valores de temperatura media anual 30.1 °C, siendo 35 °C máxima y 23.9 °C mínima (TuTiempo 2012). Estas temperaturas son propicias para el establecimiento de caña de azúcar (Castellanos Rojas y Gutierrez Rodriguez 2012). La precipitación registrada durante el tiempo de investigación fue de 1,772 milímetros, distribuidos en dos periodos, de abril a julio y de agosto a octubre (Figura 1).

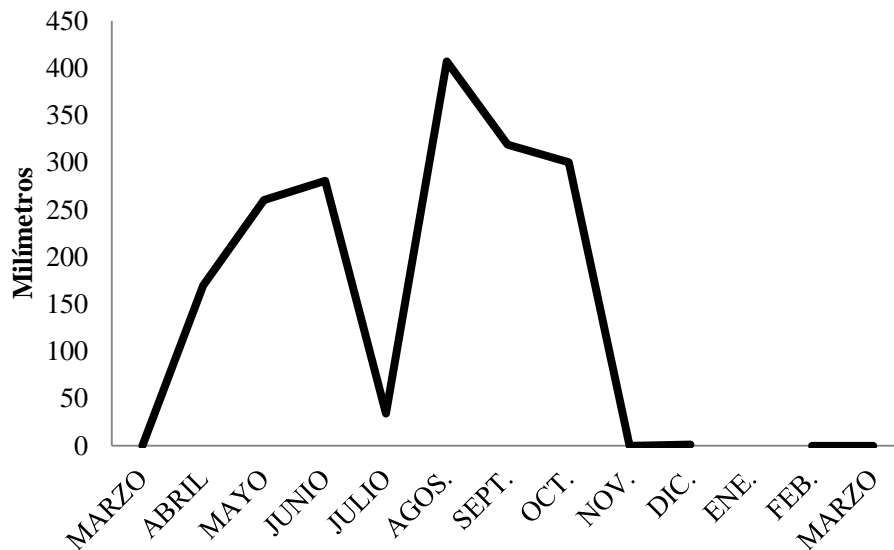


Figura 1. Distribución de la precipitación desde marzo 2012 (siembra del cultivo de caña) hasta marzo 2013 (cosecha) registradas en el pluviómetro de Quiebrapata, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

**Descripción de la zona de estudio.** Planicie aluvial activa, con una elevación de 15 msnm y con un relieve plano con pendiente de 0-1% de Este a Oeste.

**Condición física y morfológica del suelo.** En los tres suelos, los primeros horizontes mostraron estructuras de bloques subangulares y angulares y los siguientes horizontes mostraron estructuras de tipo prismática con grado débil, lo que indica que son suelos jóvenes por ser parte de una planicie aluvial activa. La estructura prismática hace que la circulación de agua y el drenaje se dificulten (FAO s.f.), por otra parte, colores grises indican condiciones de mal drenaje ya que se dan cuando el suelo se satura con agua (Ovalles Viani 2003). Los suelos franco limosos (Semilleros 12) y arcilloso (Rancho Alegre 50), presentaron colores grises en sus primeros horizontes, y los tres tipos de suelos destacaron estructuras de tipo prismática a partir del segundo horizonte, lo que evidencia condición de mal drenaje en estos suelos.

La resistencia a la penetración fue baja excepto en el segundo horizonte de los suelos franco limosos (Semilleros 12) con un valor superior a  $2.75 \text{ kg/cm}^2$ . La cantidad de raíces fue baja en todos los horizontes debido a la reciente preparación mecánica que se había hecho. La estructura diferente en los suelos, entre el primer horizonte y los demás evidencia que las preparaciones de suelos no fueron profundas, generando un contraste estructural en los diferentes horizontes, lo que repercute en la distribución de raíces (Cuadro1).

**Manejo del cultivo.** Como parte inicial de la segunda y última fase de la investigación, durante el noveno mes del cultivo, se inspeccionaron las tres fincas para determinar las necesidades hídricas. La medición de humedad del suelo se llevó a cabo por medio del medidor de humedad Aquaterr® (Aquaterr Instruments 2008). Se realizaron cinco mediciones a dos profundidades (15 y 30 cm) en cada unidad experimental. Las mediciones proyectaron resultados menores a 63% a 15 cm y 76% a 30 cm, siendo Semilleros 12 la finca con mejores niveles de humedad. Basado en los resultados, se aplicó una lámina de 176 mm por cada riego en el noveno y décimo mes del cultivo. No se realizaron aplicaciones de madurantes ya que el propósito de la investigación se basó únicamente en determinar el efecto de los programas de fertilización.

**Análisis del suelo.** En el décimo mes del cultivo se realizó un muestreo de cada una de las unidades experimentales. El muestreo del suelo consistió en la obtención de sub muestras a una profundidad de 0 a 20 cm. Luego se hizo una homogenización y se obtuvo así una muestra. En el análisis químico se obtuvieron resultados de las siguientes propiedades químicas: contenido de potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, manganeso y zinc extraídos con solución extractora Mehlich 3 determinados por espectrofotometría de absorción atómica; fósforo: extraído con la solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetría; boro, azufre: extraídos con la solución extractora fosfato de calcio, determinados por colorimetría. El porcentaje de materia orgánica se obtuvo mediante el método de Walkley & Black, el porcentaje de nitrógeno total fue inferido de la materia orgánica, el cinco por ciento esta. Para determinar el pH se utilizó la relación suelo: agua; 1:1. La interpretación de los resultados se basó en los rangos utilizados por laboratorio de

suelos de la EAP. Las bases potasio, sodio, magnesio y calcio se interpretaron por saturación (Black *et al.* 1965).

**En el cultivo.** Análisis foliar: se seleccionó la tercera hoja contada desde la parte superior (Jones *et al.* 1991) y se tomaron 10 hojas en cada parcela para formar una muestra. El muestreo fue hecho en el décimo mes del cultivo (semana 40). Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de suelos de Zamorano donde se evaluaron los siguientes nutrientes: N 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 por digestión seca con  $MgNO_3$ , determinados por espectrofotometría (Wolf 1982).

**Matriz de Biodisponibilidad.** Se realizó una matriz de biodisponibilidad para cada finca para establecer la absorción de nutrientes y la relación suelo-planta (Arévalo y Gauggel 2011). Mediante los análisis de suelo y foliares se clasificaron los niveles de los nutrientes en alto, medio y bajo. Se prosiguió a comparar los niveles para cada nutriente en suelo y planta.

**Análisis de calidad.** La metodología utilizada para obtener los resultados de variables de calidad es la misma que utiliza convencionalmente el laboratorio de control de calidad de la Azucarera Choluteca. Durante el proceso inicial, las muestras se picaron, luego se homogenizaron. Se pesaron 1,000 gramos de caña molida y se extrajo el jugo con una prensa de 2,000 libras de presión.

Porcentaje de jugo de caña: Inicialmente las cañas obtenidas en el muestreo pasaron por una picadora de material vegetal luego el resultado de esto fue mezclado. Se pesaron 1000 g de fibra de la caña y se extrajo parte del jugo mediante el proceso de prensado. La otra parte del jugo se obtuvo al secar totalmente una muestra de caña de azúcar (peso muestra menos peso seco). El porcentaje de jugo de caña se obtiene sumando el jugo extraído y el jugo en torta, la suma se divide entre 1,000 g y se traduce a porcentaje multiplicando por 100. Se asumió que el jugo tiene densidad de 1 g/ml.

Brix: se colocó jugo de caña de azúcar en un beaker, este fue agitado. Luego se extrajo la muestra con un gotero, la muestra fue colocada en el refractómetro proporcionando así la lectura de los grados Brix.

Pol: Se pesó 26 g de jugo, luego se mezcló en un matraz de capacidad de 100 ml y se completó con agua destilada. Se agregó media cucharada de agente clarificador, octapol. Se mezcló la solución hasta disolver el octapol y se filtró con papel whatman de 19 cm. Se pasó la solución obtenida por un polarímetro para así tomar la lectura de pol.

Pureza: este dato es obtenido mediante la división de pol entre Brix, expresado en porcentaje.

Azúcares reductores: Se extrajo una muestra de 80 g de jugo de caña a la cual se le agregaron 200 ml de agua destilada y octapol (agente clarificador). Luego de ser filtrada la muestra se ubicó en una bureta de 50 ml a la cual se le agregó 5 ml de fehling-a y fehling-b (reactivos para determinación de azúcares reductores). El contenido, fue pasado a un beaker de 125 ml, se agitó para luego ser calentado de acuerdo al criterio establecido por el laboratorio. Seguidamente se midió y se agregó jugo hasta completar lo que ya se había evaporado.

**Cosecha.** Para determinar el momento óptimo para la cosecha se realizaron tres muestreos pre-cosecha a partir del décimo mes del cultivo (enero 2013) hasta finales del onceavo mes del cultivo (febrero 2013). La metodología consistió en cortar cinco cañas del área de evaluación en cada una de las parcelas de los tres diferentes lotes e identificarlas con la fecha del muestreo, número de lote, variedad de caña, edad y ciclo. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de control de calidad de la Azucarera Choluteca.

Se evaluaron los rendimientos de peso total de cada parcela. El corte de la caña se hizo en verde, no hubo quema. El pesado de la cosecha en cada unidad experimental se hizo por separado en la báscula del Ingenio Los Mangos en la Azucarera Choluteca. Al obtener los resultados de peso en los 307 m<sup>2</sup> de cada unidad experimental, se realizaron cálculos para extrapolar a una hectárea. Se comparó la producción estimada en la semana 25 del cultivo y la producción real. La estimación se realizó en la fase inicial de la investigación, la metodología utilizada consistió en promediar el peso de 10 cañas en cada parcela y multiplicarlo por la densidad inicial calculada manualmente (Castellanos Rojas y Gutierrez Rodriguez 2012). En el doceavo mes del cultivo se realizó el cuarto y último muestreo de variables de calidad, donde se obtuvieron datos de rendimiento en campo (kg de azúcar/t de caña). Se realizaron extrapolaciones para obtener kg de azúcar en una hectárea (marzo 2013).

**Variables Determinadas.** Se evaluaron tres aspectos de producción: variables de campo, producción y calidad. Las variables de campo se obtuvieron mediante los análisis de suelo y foliares. Los elementos evaluados fueron N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, S, Zn y B. En suelo también se mido pH y materia orgánica. Las variables de producción fueron peso de los tallos de caña (t/ha) y rendimiento (kg de azúcar/ha). Las variables de calidad fueron grados Brix, pol, azúcares reductores, porcentaje de jugo de caña y pureza.

Cuadro 1. Características físicas y morfológicas de suelos de las fincas Semilleros 12, Tigra 5 y Rancho Alegre 50, en las parcelas experimentales, Azucarera Choluteca, Marcovia, Honduras (Castellanos Rojas y Gutierrez Rodriguez 2012).

Finca	Ho <sup>1</sup>	Prof (cm)	Color	Textura	Estructura			C.H.	C.M.	R.P. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Poros			Raíces		Límite	
					Tipo	Grado	Clase				Tam	For	Cant	Tam	Cant	Top	Nit
Semilleros 12	Ap	0-42	10YR 3/2 Pardo Grisáceo muy Oscuro	FL	BA	D	M	MF	lpg	0.5	Fn	V	Fr	TT	Fr	Pla	Ab
	C	42-88+	10YR 4/3 Pardo	Ar	P	Mo	mf	MF	pg, lp	2.8	TT	T	Fr	TT	Fr		
Tigra 5	Ap	0-28	10YR 2/2 Pardo Muy Oscuro	FArL	Bsa	D	M	F	lpg,pl	0.45	TT	V y T	m	Fn, M	Po	Pla	Di
	2C <sub>1</sub>	28-63	5YR 2.5/2 Negro	FAr	P	D	M	MF	pg,lp	1.50	TT	T	m	M	Po	Pla	Gr
	2C <sub>2</sub>	63-79	5YR 2.5/2 Pardo Rojizo Oscuro	FAr	P	D	M	F	lpg,pl	1.35	TT	T	m	Fn	Po	Pla	Di
	C <sub>3</sub>	79-101+	7.5YR 3/3 Pardo Oscuro	FAr	P	D	M	F	mpg,mpl	1.25	TT	V y T	m		A		
Rancho Alegre 50	Ap	0-34	5YR 3/1 Gris Muy Oscuro	Ar	Bsa	D	M	MF	mpg,mpl	0.75	TT	T	Fr	mf	Fr	O	Gr
	2A	34-67	2.5YR 2.5/1 Negro	FAr	P	D	M	MF	mpg,mpl	1.50	TT	T	m	Fn	Po	Pla	Gr
	C3	67-97+	7.5YR 3/4 Pardo Oscuro	FAr	P	F	G	F	pg,lp	1.65	TT	T	m	Fn	Fr		

<sup>1</sup>Ho: Horizonte. Prof: Profundidad. Textura; FArL: Franco Arcillo Limoso, FAr: Franco Arcilloso, Ar: Arcilloso, FL: Franco Limoso. Estructura; Tipo; Bsa: Bloques Subangulares, P: Prismática, BA: Bloques Angulares. Grado; D: Débil, Mo: Moderado, F: Fuerte. 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. R.P.: 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.

**Tratamientos.** Fueron dos fórmulas de fertilización con dos frecuencias de aplicación (total y fraccionada). Los programas de fertilización fueron propuestos por FHIA<sup>1</sup> y Dr. Carlos Gauggel Ph.D.<sup>2</sup>, en esta investigación se refirió a estas propuestas como fórmula convencional y alterna, respectivamente (Cuadro 2). Se realizó un análisis de fertilizantes en el laboratorio de suelos de EAP Zamorano para obtener datos precisos en cuanto a la aplicación de las fórmulas. La humedad del fertilizante no se tomó en cuenta para el cálculo de nutriente aplicado (Cuadro 3). Se realizaron cálculos de los nutrientes para ajustar las fórmulas recomendadas y la composición de los fertilizantes (Cuadro 4).

Cuadro 2. Fórmulas de fertilización recomendadas para el cultivo de caña de azúcar, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras (Castellanos Rojas y Gutierrez Rodriguez 2012).

Fórmulas	kg/ha						
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S	Zn	B
Convencional <sup>‡</sup>	106	35	69	0	30	1	0
Alterna <sup>*</sup>	171	45	152	45	97	21	4

<sup>‡</sup> Convencional: fórmula recomendada por FHIA

<sup>\*</sup> Alterna: fórmula recomendada por Carlos Gauggel Ph.D.

Cuadro 3. Composición de fertilizantes utilizados en la evaluación de dos fórmulas de fertilizantes, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras, 2012.

Fertilizante utilizado en la fórmula	%						
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S	Zn	B
Convencional <sup>‡</sup>	23.3	7.6	15.2	0.2	6.6	0.2	0
Alterna <sup>*</sup>	18.9	4.9	16.7	4.9	10.7	2.3	0.4

<sup>‡</sup> Convencional: fórmula recomendada por FHIA

<sup>\*</sup> Alterna: fórmula recomendada por Carlos Gauggel Ph.D.

Cuadro 4. Cantidad de nutrientes aportada con las fórmulas de fertilización recomendadas para caña de azúcar, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras, 2012.

Fórmulas	kg/ha						
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S	Zn	B
Convencional <sup>‡</sup>	114	36	59	0	2	4	0
Alterna <sup>*</sup>	172	57	143	43	36	14	6

<sup>‡</sup> Convencional: fórmula recomendada por FHIA

<sup>\*</sup> Alterna: fórmula recomendada por Carlos Gauggel Ph.D.

<sup>1</sup> FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola), Honduras.

<sup>2</sup> Gauggel, C. Ph.D., consultor de Azucarera Choluteca S.A. de C.V.

A los 2.5 meses de edad del cultivo se realizó la aplicación total de fertilizantes en los programas sin fraccionamiento y la mitad de la dosis para los programas de fertilización fraccionados. A los 3.5 meses de edad del cultivo se aplicó la otra mitad para completar los programas de fertilización fraccionados. La dosis para la fórmula convencional y alterna fue de 450 kg/ha y 900 kg/ha respectivamente.

**Diseño Experimental.** Cada finca fue dividida en doce parcelas (unidades experimentales); el espaciamiento entre estas fue de dos metros a lo ancho y tres metros a lo largo con el fin de delimitar estas y evitar un cierre por el crecimiento de la caña de azúcar. Las unidades experimentales midieron 19.2 metros de ancho por 16 metros de largo (307 m<sup>2</sup>) y constaron de 12 surcos y el área de evaluación ubicada dentro de cada unidad fue conformada por los surcos centrales (surcos número cuatro al nueve).

**Análisis Estadístico.** Se utilizó el programa “Statistical Analysis System” (SAS versión 9.1<sup>®</sup>) en el cual, para las variables agronómicas, se hizo una separación de medias mediante la prueba Duncan con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$ .

Para las variables agroindustriales, se introdujeron los datos como un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial  $3 \times 4$  (3 tipos de suelos y 4 tratamientos) en el que los factores que se tomaron en cuenta fueron el suelo, los programas de fertilización y la interacción de suelo y el programa ( $S \times P$ ), se hizo una separación de medias mediante la prueba LSmeans con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$ .

Se hicieron correlaciones entre fósforo, potasio, magnesio, azufre y boro con producción de caña de azúcar (t/ha) y azúcar (kg/t), esto se obtuvo mediante la prueba de correlación “corr”.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Condición química de los suelos.** Los análisis de suelos realizados en cada finca y tratamiento en la semana 40 después de siembra dieron a conocer que los suelos franco arcillo limosos (La Tigra 5) y suelos arcillosos (Rancho Alegre 50) bajaron sus niveles de fósforo casi a la mitad desde el análisis realizado previa a la siembra. En la finca con textura franco limosa (Semilleros 12) se encontraron diferencias estadísticas en zinc, boro y potasio, los cuales se encontraron en mayor concentración con el programa de fertilización alterno fraccionado. Magnesio se encontró en niveles adecuados; nitrógeno, azufre y potasio estuvieron en niveles bajos. La causa de los niveles bajos encontrados en el suelo se puede atribuir a que el cultivo estaba en su etapa final y ya se había dado la mayor absorción de nutrientes. Fósforo, calcio, cobre, hierro, manganeso y zinc estuvieron en niveles altos (Cuadros 5 y 6).

En suelos con textura franco arcillo limosa (La Tigra 5) se encontraron diferencias significativas en materia orgánica, nitrógeno y azufre; los programas de fertilización convencional y convencional fraccionada fueron los que tuvieron mayor cantidad de materia orgánica y nitrógeno, pero los otros dos programas tuvieron mayores niveles de azufre. Cobre, hierro y manganeso se encontraban sobre el rango óptimo y nitrógeno, boro y azufre estaban debajo del rango. El sodio se encontró en niveles bajos, menores a 7 PSI (porcentaje de sodio intercambiable) lo cual es lo ideal (Arévalo y Gauggel 2012) (Cuadros 7 y 8)

Cuadro 5. Características químicas de suelos franco limosos en la finca Semilleros 12, bajo cuatro programas de fertilización a las 40 semanas después de siembra, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programas de fertilización	pH	%		mg/kg (extractable)						
	(H <sub>2</sub> O)	M.O.	N <sub>total</sub>	P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Convencional <sup>‡</sup>	6.7	1.7	0.1	32	6.8	5.0	296	267	6.6 b <sup>‡</sup>	0.16 c
Convencional (fraccionado)	7.0	1.9	0.1	32	10.3	5.2	297	279	6.3 b	0.23 bc
Alterno <sup>‡</sup>	6.9	1.7	0.1	30	14.3	5.0	295	262	7.2 b	0.47 ab
Alterno (fraccionado)	6.8	1.8	0.1	32	17.0	5.1	298	266	12.6 a	0.67 a
Coefficiente de variación	2	8	6	9	72	4	11	7	33	37
Rango óptimo	6.0	2	0.2	13	20	1.7	56	28	1.7	0.5
	6.5	4	0.5	30	80	3.4	112	112	3.4	8.0

<sup>‡</sup> Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí según la prueba Duncan (P<0.05).

<sup>‡</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>‡</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6

Cuadro 6. Concentración de bases de suelos franco limosos en la finca Semilleros 12, bajo cuatro programas de fertilización a las 40 semanas después de siembra, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programas de fertilización	cmol/kg				Por saturación de bases			
	K	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na
Convencional <sup>£</sup>	0.5 ab <sup>¥</sup>	21.7	4.7	0.5	1.9 a	79	17.2	1.9
Convencional (fraccionado)	0.4 b	22.6	4.8	0.7	1.5 b	79	16.8	2.3
Alterno <sup>∩</sup>	0.5 ab	22.1	4.8	0.6	1.7 ab	79	17.1	2.3
Alterno (fraccionado)	0.6 a	22.1	4.8	0.6	2.0 a	79	17.2	2.2
Coefficiente de variación	12	3	1	21	10	1	3	16
Rango óptimo					3	75	15	<7
					7	100	20	

<sup>¥</sup> Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí según la prueba Duncan (P<0.05).

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>∩</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6.

Cuadro 7. Características químicas de suelos franco arcillo limosos en la finca La Tigra 5, bajo cuatro programas de fertilización a las 40 semanas después de siembra, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programas de fertilización	pH	%		mg/kg (extractable)						
	(H <sub>2</sub> O)	M.O.	N <sub>total</sub>	P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Convencional <sup>£</sup>	6.5	2.4 a <sup>¥</sup>	0.12 a	14	4.9 b	5.3	261	226	3.2	0.2
Convencional (fraccionado)	6.5	2.5 a	0.12 a	15	5.2 b	5.4	250	235	3.3	0.1
Alterno <sup>∩</sup>	6.5	2.3 ab	0.12 ab	14	7.8 ab	5.2	242	231	5.0	0.3
Alterno (fraccionado)	6.3	2.2 b	0.11 b	23	10.5 a	5.0	237	229	6.3	0.3
Coefficiente de variación	3	3	3	37	21	4	6	4	50	28
Rango óptimo	6.0	2	0.2	13	20	1.7	56	28	1.7	0.5
	6.5	4	0.5	30	80	3.4	112	112	3.4	8.0

<sup>¥</sup> Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí según la prueba Duncan (P<0.05).

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>∩</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6

Cuadro 8. Concentración de bases de suelos franco arcillo limosos en la finca La Tigra 5, bajo cuatro programas de fertilización a las 40 semanas después de siembra, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programas de fertilización	cmol/kg				Por saturación de bases			
	K	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na
Convencional <sup>‡</sup>	1.0	20.7	5.9	0.6	3.7	73	20.9	2.2
Convencional (fraccionado)	1.1	21.0	5.8	0.6	3.9	74	20.3	2.0
Alternativo <sup>‡</sup>	1.0	20.7	5.9	0.6	3.6	73	21.1	2.1
Alternativo (fraccionado)	1.0	20.4	5.6	0.6	3.7	74	20.3	2.1
Coefficiente de variación	8	2	5	5	8	1	3	7
Rango óptimo					3	75	15	<7
					7	100	20	

<sup>‡</sup> Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí según la prueba Duncan (P<0.05).

<sup>‡</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>‡</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6.

En suelos con textura arcillosa (Rancho Alegre 50) se encontraron diferencias significativas en boro. El programa alternativo fraccionado obtuvo mayores niveles de este nutriente debido a que hay mayor adsorción de boro cuando hay incremento de pH y alto contenido de arcillas en el suelo (Havlin *et al.* 2005).

Existieron niveles apropiados en cuanto a magnesio y calcio; niveles altos de fósforo, cobre, hierro, manganeso y zinc. Nitrógeno, potasio, azufre y boro estuvieron por debajo del nivel adecuado. Las concentraciones de sodio fueron menores a 7 PSI (Cuadros 9 y 10).

Cuadro 9. Características químicas de suelos arcillosos en la finca Rancho Alegre 50, bajo cuatro programas de fertilización, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programas de fertilización	pH	%		mg/kg (extractable)						
	(H2O)	M.O.	N <sub>total</sub>	P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Convencional <sup>‡</sup>	6.7	2.5	0.1	36	7.1	5.8	226	261	4.2	0.1 b <sup>‡</sup>
Convencional (fraccionado)	6.7	2.6	0.1	34	6.9	5.7	237	244	4.3	0.1 b
Alternativo <sup>‡</sup>	6.6	2.5	0.1	33	10.9	5.9	246	245	5.8	0.3 ab
Alternativo (fraccionado)	6.8	2.3	0.1	40	11.1	5.6	223	247	6.9	0.5 a
Coefficiente de variación	1	6	7	29	37	7	9	6	30	60
Rango óptimo	6.0	2	0.2	13	20	1.7	56	28	1.7	0.5
	6.5	4	0.5	30	80	3.4	112	112	3.4	8.0

<sup>‡</sup> Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí según la prueba Duncan (P<0.05).

<sup>‡</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>‡</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6.

Cuadro 10. Concentración de bases de suelos arcillosos en la finca Rancho Alegre 50, bajo cuatro programas de fertilización, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programas de fertilización	cmol/kg				Por saturación de bases			
	K	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na
Convencional <sup>ε</sup>	0.29	21.8	5.3	0.9	1.0	76.9	18.8	3.3
Convencional (fraccionado)	0.32	21.5	5.2	0.8	1.1	77.2	18.7	2.9
Alterno <sup>ϖ</sup>	0.36	21.4	5.4	0.8	1.3	76.5	19.3	2.9
Alterno (fraccionado)	0.33	21.1	5.3	0.9	1.2	76.4	19.3	3.1
Coefficiente de variación	19	5	7	12	16	2	6	13
Rango óptimo					3	75	15	<7
					7	100	20	

<sup>ϕ</sup> Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí según la prueba Duncan (P<0.05).

<sup>ε</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>ϖ</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6.

**Análisis del material vegetal a 40 semanas después de siembra.** Se encontraron diferencias significativas en fósforo en suelos franco arcillo limoso (La Tigra) con el programa de fertilización convencional. Con el programa alterno fraccionado se encontraron diferencias en potasio en suelos franco arcillo limosos y magnesio y boro en suelos arcillosos (Rancho Alegre 50). Hubo diferencia significativa para azufre en suelos arcillosos con el programa alterno sin fraccionar. No se clasificaron los nutrientes en alto, bajo o medio ya que no hay rangos óptimos para la semana 40 (Cuadro 11). Ya que se encontró diferencia significativa en fósforo, potasio, magnesio, azufre y boro se propone utilizar rangos de acuerdo a los resultados obtenidos: 0.15 a 0.17 % fósforo, 1.04 a 1.41% potasio, 0.12 a 0.16% magnesio, 0.5 a 0.13% en azufre y 6 a 11 % boro.

**Biodisponibilidad.** Nitrógeno, fósforo y potasio se encontraron en biodisponibilidad adecuada para los tres tipos de suelo. Nitrógeno y potasio se encontraron en nivel bajo en todos los suelos, sin embargo la planta absorbió lo que necesitaba. Fósforo se encontró en concentraciones altas en los suelos arcillosos, sin embargo los niveles en la planta eran adecuados. Las propiedades físicas y químicas de los suelos tienen una alta incidencia en cuanto a la solubilidad y absorción del fósforo, consecuentemente suelos con mayor contenido de arcillas retienen más fósforo que suelos con bajo contenido de arcilla (Havlin *et al.* 2005). Había baja biodisponibilidad de zinc y boro en suelos franco limosos con el programa convencional. En suelos franco arcillo limosos y arcillosos hubo baja biodisponibilidad de azufre y boro respectivamente (Cuadros 12, 13 y 14). El nutriente que se encontró frecuentemente deficiente en tejidos y en suelo fue el boro, esta deficiencia se puede asociar al carente suministro de boro en los programas de fertilización y baja humedad en el suelo (Havlin *et al.* 2005).

Cuadro 11. Contenido nutricional del tejido de la tercera hoja de caña de azúcar en la semana 40 después de siembra, bajo cuatro programas de fertilización, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programas de fertilización	Textura del suelo	Finca	%						ppm				
			N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Convencional <sup>£</sup>	Franco limosa	Semilleros 12	1.43	0.16 abc <sup>¥</sup>	1.19 abc	0.40	0.10 d	0.12 ab	10.6	103.7 bc	44.7 ab	26	5.6 b
	Franco arcillo limosa	La Tigra 5	1.46	0.18 a	1.35 ab	0.38	0.14 bc	0.05 b	11.0	82.0 cde	42.7 ab	28	8.6 b
	Arcillosa	Rancho Alegre 50	1.48	0.16 abc	1.02 c	0.42	0.15 b	0.12 ab	11.6	86.7 cde	48.7 ab	30	7.6 b
Convencional (fraccionado)	Franco limosa	Semilleros 12	1.45	0.16 abc	1.33 ab	0.35	0.12 cd	0.11 ab	9.6	99.7 bc	37.7 ab	24	6.0 b
	Franco arcillo limosa	La Tigra 5	1.37	0.17 ab	1.40 ab	0.34	0.15 bc	0.08 ab	15.0	98.3 bcd	46.0 ab	28	8.0 b
	Arcillosa	Rancho Alegre 50	1.35	0.16 abc	1.04 c	0.40	0.16 b	0.09 ab	14.5	99.7 bc	55.7 ab	28	7.6 b
Alterno <sup>∩</sup>	Franco limosa	Semilleros 12	1.51	0.14 c	1.16 bc	0.45	0.12 cd	0.12 ab	10.0	127.7 a	46.7 ab	25	7.0 b
	Franco arcillo limosa	La Tigra 5	1.40	0.17 ab	1.41 ab	0.40	0.15 b	0.10 ab	8.0	85.3 cde	51.3 ab	26	10.0 b
	Arcillosa	Rancho Alegre 50	1.48	0.16 abc	1.14 bc	0.39	0.15 b	0.16 a	11.0	80.0 cde	52.7 ab	26	11.0 b
Alterno (fraccionado)	Franco limosa	Semilleros 12	1.51	0.16 abc	1.35 ab	0.36	0.11 d	0.13 ab	15.6	11.7 ab	33.3 b	33	7.6 b
	Franco arcillo limosa	La Tigra 5	1.47	0.17 ab	1.46 a	0.34	0.14 bc	0.08 ab	16.6	74.0 de	40.3 ab	38	8.6 b
	Arcillosa	Rancho Alegre 50	1.43	0.15 bc	1.25 abc	0.43	0.18 a	0.08 ab	11.0	71.3 e	57.0 a	31	17.3 a
Coeficiente de variación			6	6	12	17	11	38	38	14	25	30	41

<sup>¥</sup> Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí según la prueba Duncan (P<0.05).

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>∩</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6.

Cuadro 12. Biodisponibilidad de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar en suelos franco limoso, bajo cuatro programas de fertilización, Finca Semilleros 12, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Biodisponibilidad	Programa de fertilización			
	Convencional <sup>£</sup>	Convencional (fraccionado)	Alterno <sup>⊖</sup>	Alterno (fraccionado)
Adecuada	N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn	N, P, K, Ca, Mg, Cu, S, Fe, Mn, Zn, B	N, P, Ca, Mg, K, S, Cu, Fe, Mn, Zn, B	N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, B
Baja	Zn, B			

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>⊖</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6.

Cuadro 13. Biodisponibilidad de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar en suelos franco arcillo limosos (La Tigra 5) bajo cuatro programas de fertilización, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Biodisponibilidad	Programa de fertilización			
	Convencional <sup>£</sup>	Convencional (fraccionado)	Alterno <sup>⊖</sup>	Alterno (fraccionado)
Adecuada	N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, B	N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn	N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, B	N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, B
Baja	S	S, B	S	S

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>⊖</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6.

Cuadro 14. Biodisponibilidad de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar en suelos arcillosos (Rancho Alegre 50) bajo cuatro programas de fertilización, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Biodisponibilidad	Programas de fertilización			
	114-36-59-0-S2-Zn4	114-36-59-0-S2-Zn4 (fraccionada)	172-57-143-4-3-36-Zn14-B6	172-57-143-4-3-36-Zn14-B6 (fraccionada)
Adecuada	N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn	N,P,K,Ca,Mg,Cu,S,Fe,Mn,Zn	N,P,K,Ca,Mg,S,Cu,Fe,Mn,Zn	N,P,K,Ca,Mg,S,Cu,Fe,Mn,Zn
Baja	B	B	B	B

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>⊖</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6.

### Variables de calidad.

**Porcentaje de jugo de caña.** La caña de azúcar durante, la madurez fisiológica, debe tener entre 85-90% de jugo (Tonatto *et al.* 2012). Ninguno de los programas presentó niveles dentro del rango óptimo. El suelo, los programas de fertilización y la interacción de estos (S × P) no fueron significantes ( $P \leq 0.05$ ) (Cuadro 15).

**Grados Brix.** Son los sólidos solubles que se encuentran en el jugo de la caña. Todos los tratamientos se encontraron entre 15-22 grados Brix, lo cual indica que las plantas alcanzaron la madurez adecuada para cosecha (Tonatto *et al.* 2012). No se encontró diferencia significativa entre programas de fertilización ni en su interacción con el suelo. Se encontró diferencia significativa entre tipo de suelo, siendo mayor en los arcillosos (Cuadro 16) esto se puede atribuir a que los suelos arcillosos retienen más nutrientes, los cuales se vuelven menos disponibles para la planta (FAO 2002) y estos suelos presentaron condiciones que provocaron estrés dando como resultado mayor concentración de sacarosa (Saldarriaga 1996).

Cuadro 15. Porcentaje de jugo de caña durante cosecha de caña de azúcar, bajo cuatro programas de fertilización, en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programa de fertilización	Suelo			Valor P		
	Franco Limoso (Semilleros 12)	Franco Arcillo Limoso (La Tigra 5)	Arcilloso (Rancho Alegre 50)	Suelo	Programa	S×P <sup>¥</sup>
Convencional <sup>£</sup>	71.2	72.6	70.9			
Convencional (fraccionado)	72.7	72.4	72.3			
Alterno <sup>∩</sup>	73.1	71.6	71.0	0.19	0.6682	0.7657
Alterno (fraccionado)	72.9	73.5	70.9			
Promedio	72.5	72.5	71.3			
Coefficiente de variación	2.5	2.5	2.5			

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>∩</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6. <sup>¥</sup> Interacción suelo por programa.

Cuadro 16. Grados Brix durante cosecha de caña de azúcar, bajo cuatro programas de fertilización, en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programa de fertilización	Suelo			Valor P		
	Franco Limoso (Semilleros 12)	Franco Arcillo Limoso (La Tigra 5)	Arcilloso (Rancho Alegre 50)	Suelo	Programa	S×P <sup>¥</sup>
Convencional <sup>£</sup>	20.0	21.1	21.5			
Convencional (fraccionado)	20.6	21.6	22.1			
Alterno <sup>∩</sup>	21.3	21.1	21.7	0.0012	0.1959	0.6239
Alterno (fraccionado)	20.4	20.9	21.6			
Promedio	20.6	21.2	21.7			
Coefficiente de variación	3.1	3.1	3.1			

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>∩</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6. <sup>¥</sup> Interacción suelo por programa.

**Pol.** Los niveles esperados son 11 a 18% (Tonatto *et al.* 2012) la mayor parte de los resultados fueron superiores a 18% de sacarosa. Se encontraron diferencias significativas

únicamente entre tipo de suelo, obteniendo valores mayores en suelos arcillosos (Cuadro 17).

Cuadro 17. Pol durante cosecha de caña de azúcar, bajo cuatro programas de fertilización, en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programa de fertilización	Suelo			Valor P		
	Franco Limoso (Semilleros 12)	Franco Arcillo Limoso (La Tigra 5)	Arcilloso (Rancho Alegre 50)	Suelo	Programa	S×P <sup>¥</sup>
Convencional <sup>£</sup>	17.5	17.8	18.5			
Convencional (fraccionado)	18.3	18.4	18.9			
Alterno <sup>∩</sup>	18.7	17.7	18.7	0.0448	0.2831	0.6944
Alterno (fraccionado)	18.2	17.2	18.3			
Promedio	18.2	17.8	18.6			
Coefficiente de variación	4.3	4.3	4.3			

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>∩</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6. <sup>¥</sup> Interacción suelo por programa.

**Pureza.** No existieron diferencias significativas entre los programas de fertilización ni en la interacción suelo-programa sin embargo si hubo diferencia significativa entre tipos de suelos (Cuadro 18).

Cuadro 18. Porcentaje de pureza durante cosecha de caña de azúcar, bajo cuatro programas de fertilización, en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programa de fertilización	Suelo			Valor P		
	Franco Limoso (Semilleros 12)	Franco Arcillo Limoso (La Tigra 5)	Arcilloso (Rancho Alegre 50)	Suelo	Programa	S×P <sup>¥</sup>
Convencional <sup>£</sup>	88	84	86			
Convencional (fraccionado)	89	85	86			
Alterno <sup>∩</sup>	88	84	86	<.0001	0.67	0.5352
Alterno (fraccionado)	89	82	85			
Promedio	88	84	86			
Coefficiente de variación	2.1	2.1	2.1			

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>∩</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6. <sup>¥</sup> Interacción suelo por programa.

**Azúcares reductores.** Si existe baja concentración de azúcares reductores el contenido de sacarosa aumenta (Larrahondo 1995). Todas las concentraciones de azúcares reductores se encontraron por debajo del 5%, lo cual es ideal. No se encontraron diferencias significativas entre programas de fertilización sin embargo si existió diferencia significativa entre suelos (Cuadro 19).

Cuadro 19. Concentraciones de azúcares reductores durante la cosecha de caña de azúcar, bajo cuatro programas de fertilización en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programa de fertilización	Suelo			Valor P		
	Franco Limoso (Semilleros 12)	Franco Arcillo Limoso (La Tigra 5)	Arcilloso (Rancho Alegre 50)	Suelo	Programa	S×P <sup>‡</sup>
Convencional <sup>£</sup>	0.2	0.4	0.6			
Convencional (fraccionado)	0.2	0.6	0.5			
Alternativo <sup>⊔</sup>	0.3	0.6	0.5	<.0001	0.9006	0.6778
Alternativo (fraccionado)	0.2	0.6	0.5			
Promedio	0.2	0.5	0.5			
Coefficiente de variación	28.3	28.3	28.3			

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>⊔</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6. <sup>‡</sup> Interacción suelo por programa.

**Producción de toneladas de azúcar por hectárea.** No se encontraron diferencias significativas entre programas de fertilización sin embargo hubo diferencia significativa entre los tipos de suelo, obteniendo mayor producción los suelos franco limosos (Cuadro 20).

Cuadro 20. Producción (t/ha) de caña de azúcar bajo cuatro programas de fertilización en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programa de fertilización	Suelo			Valor P		
	Franco Limoso (Semilleros 12)	Franco Arcillo Limoso (La Tigra 5)	Arcilloso (Rancho Alegre 50)	Suelo	Programa	S×P <sup>‡</sup>
Convencional <sup>£</sup>	119.0	107.2	96.8			
Convencional (fraccionado)	117.4	103.2	93.7			
Alternativo <sup>⊔</sup>	114.2	108.5	99.7	<.0001	0.6491	0.7517
Alternativo (fraccionado)	118.4	94.8	95.2			
Promedio	117.3	103.4	96.3			
Coefficiente de variación	8.8	8.8	8.8			

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>⊔</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6. <sup>‡</sup> Interacción suelo por programa.

**Comparación de producción real y estimada.** Es de destacar que los suelos arcillosos tuvieron producciones mucho más altas que las estimadas en la semana 25 (Castellanos Rojas y Gutierrez Rodriguez 2012) (Cuadro 21), lo que muestra que el potencial de producción en estos suelos es más alto a pesar que la densidad de población y el peso a la semana 25, comparativamente, fue menor que en suelos de otras texturas, en especial con la fórmula convencional.

**Kilogramos de azúcar por tonelada.** No se encontraron diferencias significativas entre programa de fertilización, tipos de suelos ni en la interacción de estos. Esto se puede atribuir a las condiciones físicas limitantes en las cuales se encontraban los suelos (Havlin *et al.* 2005) (Cuadro 22).

**Producción de azúcar (kg/ha).** Se encontraron diferencias significativas por tipo de suelo siendo los suelos franco limosos los que tuvieron mayor producción de caña de azúcar (Cuadro 23). El cultivo de caña de azúcar obtiene mayores rendimientos en suelos francos (Quintero Durán 1995).

Cuadro 21. Producción estimada y real (t/ha) de caña de azúcar, a 25 y 48 semanas después de siembra del cultivo, bajo cuatro programas de fertilización, en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programas de fertilización	Franco Limoso (Semilleros 12)			Franco Arcillo Limoso (La Tigra 5)			Arcilloso (Rancho Alegre 50)		
	25 SDS <sup>1</sup>	48 SDS	Diferencia	25 SDS	48 SDS	Diferencia	25 SDS	48 SDS	Diferencia
	Estimada	Real		Estimada	Real		Estimada	Real	
Convencional	124	119.0	-4%	105.0	107.2	2%	60.0	96.8	61%
Convencional fraccionado	126	117.4	-7%	93.8	103.2	10%	52.5	93.7	78%
Alternativo	128	114.2	-11%	114.4	108.5	-5%	69.4	99.7	44%
Alternativo fraccionado	133	118.4	-11%	112.5	94.8	-16%	69.4	95.2	37%

<sup>1</sup> Semanas después de siembra

Fuente: Castellanos Rojas y Gutierrez Rodriguez (2012), complementada por los autores.

Cuadro 22. Rendimiento de azúcar (kg/t) de caña de azúcar bajo cuatro programas de fertilización en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programa de fertilización	Suelo			Valor P		
	Franco Limoso (Semilleros 12)	Franco Arcillo Limoso (La Tigra 5)	Arcilloso (Rancho Alegre 50)	Suelo	Programa	S×P <sup>¥</sup>
Convencional <sup>£</sup>	139	145	144			
Convencional (fraccionado)	143	149	150			
Alternativo <sup>∩</sup>	143	144	145	0.3036	0.326	0.88
Alternativo (fraccionado)	143	142	144			
Promedio	142	145	146			
Coefficiente de variación	4.1	4.1	4.1			

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>∩</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6. <sup>¥</sup> Interacción suelo por programa.

Cuadro 23. Producción de azúcar (kg/ha) en el cultivo de caña de azúcar bajo cuatro tratamientos en suelos con diferentes texturas, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programa de fertilización	Suelo			Valor P		
	Franco Limoso (Semilleros 12)	Franco Arcillo Limoso (La Tigra 5)	Arcilloso (Rancho Alegre 50)	Suelo	Programa	S×P <sup>¥</sup>
Convencional <sup>£</sup>	16,541	15,562	13,999			
Convencional (fraccionado)	16,774	15,425	14,129			
Alternativo <sup>Ⓞ</sup>	16,371	15,654	14,410	0.0006	0.5962	0.7002
Alternativo (fraccionado)	16,992	13,460	13,573			
Promedio	16,670	15,025	14,028			
Coefficiente de variación	9.3	9.3	9.3			

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4; <sup>Ⓞ</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14-B6. <sup>¥</sup> Interacción suelo por programa.

**Correlaciones de variables de producción y nutrientes.** El fósforo presentó correlación negativa significativa ( $P < 0.05$ ) en producción (t/ha) con los resultados del análisis foliar en suelos arcillosos (Rancho Alegre 50). Los suelos arcillosos (Rancho Alegre 50) mostraron concentraciones mayores al rango óptimo de fósforo (Cuadro 9). Niveles excesivos de fósforo disponible, puede alterar la producción de biomasa (Marschner 1995). El potasio mostró correlaciones variables siendo negativo con producción (t/ha) y positivo en kilogramos de azúcar pero sin ninguna probabilidad significativa. El magnesio fue independiente a la producción o kilogramos de azúcar por tonelada en la mayoría de los casos. El azufre presentó correlaciones significativas en producción pero siendo negativa en suelos franco limosos y positiva en suelos franco arcillo limosos. El boro tuvo correlaciones variables y sin significancia (Cuadro 24).

**Nutrientes y producción.** El fósforo es un constituyente importante de adenosin trifosfato (ATP) el cual está íntimamente relacionado con la formación de sacarosa; por otra parte, exceso de este nutrimento puede perjudicar el crecimiento de las plantas, ya que induce deficiencias de micronutrientes (Quintero Durán 1995). Como se mencionó en materiales y métodos, se aplicó una dosis de 194.8 kg/ha de fosfato di amónico (18-46-0) al momento de la siembra como complemento de los programas de fertilización. Se encontraron correlaciones negativas de fósforo con producción (t/ha) y kilogramos de azúcar por hectárea lo que indica que la aplicación de este nutrimento fue excesiva. Deficiencias de potasio, reducen el porcentaje de sacarosa y los niveles de azúcares reductores se incrementan (Larrahondo 1995).

Zinc está involucrado en muchas actividades enzimáticas, cumple funciones estructurales (crecimiento celular), es importante en la síntesis de proteínas necesarias para la producción de hormonas de crecimiento (auxinas), está ligada al crecimiento normal de la planta (Havlin *et al.* 2005). El programa de fertilización alterno fue el que tuvo mayores

niveles de zinc en suelos arcillosos (Cuadro 13) y también fue el que obtuvo mayor producción de biomasa (t/ha) y azúcar (kg/ha) en los mismos suelos (Cuadros 20 y 24).

Es de notar que los niveles de boro que se encontraron con el análisis foliar en la semana 40 con los tratamientos en los cuales se aplicó boro (alterno entero y fraccionado) (Cuadro 11) fueron más altos y estos fueron los que mayor producción de azúcar (kg/ha) tuvieron. Las funciones primarias de boro en la planta es que contribuye en la integridad estructural de las paredes celulares, es esencial para el transporte normal de azúcares, agua, nutrientes, compuestos orgánicos y fotosintéticos a los meristemos apicales; también para el transporte de estos a las raíces, hojas y otros órganos de la planta (Havlin *et al.* 2005).

Cuadro 24. Correlaciones de producción (t/ha) y azúcar (kg/t), con nutrientes del análisis foliar a 40 semanas después de siembra del cultivo de caña de azúcar, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Finca	Tipo de suelo	Nutriente	t/ha		kg de azúcar/t	
			Coefficiente de Pearson	Valor P	Coefficiente de Pearson	Valor P
Semilleros 12	Franco limoso	N	0.34	0.28	0.18	0.58
		P	0.06	0.86	-0.31	0.33
		K	-0.32	0.31	0.12	0.71
		Mg	0.04	0.91	0.27	0.39
		S	-0.65	0.02	0.31	0.33
		B	0.27	0.40	0.23	0.48
La Tigra 5	Franco arcillo	N	0.05	0.89	-0.39	0.21
		P	-0.05	0.87	-0.17	0.59
		K	-0.02	0.95	0.24	0.45
		Mg	0.02	0.99	0.09	0.78
		S	0.61	0.04	0.20	0.52
		B	0.11	0.72	-0.31	0.33
Rancho Alegre 50	Arcilloso	N	0.19	0.55	-0.39	0.21
		P	-0.62	0.03	0.48	0.11
		K	0.00	1.00	0.31	0.32
		Mg	0.28	0.38	-0.45	0.14
		S	0.37	0.24	0.01	0.98
		B	-0.12	0.71	-0.25	0.43

## 4. CONCLUSIONES

- No se encontraron diferencias significativas entre los programas de fertilización para las variables analizadas.
- Se encontraron diferencias significativas entre tipos de suelo siendo los suelos arcillosos los que obtuvieron valores mayores en grados Brix, pol y producción de azúcar (kg/t). Suelos franco limosos presentaron los mejores valores en azúcares reductores, porcentaje de pureza, producción de caña de azúcar (t/ha) y producción de azúcar (kg/ha).
- En suelos franco arcillo limosos, se encontró en baja biodisponibilidad el boro y azufre. Nitrógeno y potasio se encontraron en niveles bajos en el suelo y en nivel adecuado en la planta.

## 5. RECOMENDACIONES

- Mejorar las condiciones físicas y morfológicas de los suelos ya que son un factor limitante para la absorción de nutrientes y rendimientos, además, que pueden enmascarar los resultados esperados de la fertilización.
- Se recomienda fraccionar las fórmulas de fertilización dependiendo del tipo de suelo.
- Utilizar los datos de fósforo, potasio, magnesio, azufre y boro, obtenidos en el análisis foliar a la semana 40 del cultivo, como rangos para interpretación de niveles para estos nutrientes a esa edad para la variedad Mex 79-431.
- Analizar la factibilidad de implementar más riegos al cultivo, ya que los suelos arcillosos presentaron mayor potencial de producción de lo que se estimó.
- Regular la aplicación de fósforo ya que altas concentraciones de este nutrimento disminuyen la producción. No aplicar DAP a la siembra o bajar los niveles de este nutrimento en los programas de fertilización.
- Ajustar los programas de fertilización en base a lo que se encuentra en el suelo y las necesidades de la planta.
- Se recomienda fraccionar las fórmulas de fertilización dependiendo del tipo de suelo.

## 6. LITERATURA CITADA

Aquaterr Instruments & Automation, LLC. 2008. Data Sheet. (en línea). Consultado 27 de mayo del 2013. Disponible en: <http://aquaterr.net/PDF/Aquaterr-Series300PSP.pdf>

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

Black, C. A., Evans, D. D., White J. L., Ensminger, L. E. y Clark, F. E. (Editores), 1965. Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy. Inc. Madison. Wisconsin. United States. 1572 p.

Castellanos Rojas J. y Gutierrez, F. 2012. Evaluación del Impacto de Cuatro Programas de Fertilización en el Crecimiento Vegetativo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en la Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras. Proyecto especial de graduación. Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 28 p.

Chaves, M. 1999. Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar en Costa Rica. (en línea). Consultado 11 de mayo del 2013. Disponible en: [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_xi/a50-6907-III\\_193.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_193.pdf)

De Geus, J. 1967. Fertilizer guide for tropical and subtropical farming. Centre d'Etude de l'Azote, Zurich. 727 p.

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

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

FAO. s.f. 7. Estructura del suelo (en línea). Consultado el 29 de agosto del 2013. Disponible en: [ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s07.htm](ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm)

INIFAP. s.f. Tecnología de Producción para el cultivo de la Caña de Azúcar en Temporal en San Luis Potosí. Tecnología. (en línea). Consultado 15 de mayo de 2013. Disponible en: <http://www.campopotosino.gob.mx/modulos/tecnologiasdesc.php?id=95>

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

Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S y Nelson, W. 2005. Soil Fertility and Fertilizers – An Introduction to Nutrient Management. 7th ed. Pearson Education Inc. Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A. 515 p.

La Tribuna. 2012. Este mes concluye la zafra azucarera en tres ingenios. Consultado 11 de mayo de 2013. (en línea). Disponible en: <http://www.latribuna.hn/2012/04/22/este-mes-concluye-la-zafra-azucarera-en-tres-ingenios/>

Larrahondo, J. 1995. Calidad de la caña de azúcar. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA. p. 337-354.

Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. London, England. 674 p.

NETAFIM. s.f. Clima (en línea). Consultado 25 de mayo de 2013. Disponible en: <http://www.sugarcane crops.com/s/climate/>

Ovalles Viani, Francisco. 2003. El Color del Suelo: definiciones e interpretación, en: CENIAP HOY no. 3, septiembre-diciembre 2003. Maracay, Aragua, Venezuela (en línea). Consultado el 30 de agosto del 2013. Disponible en: [www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n3/texto/fovalles.htm](http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n3/texto/fovalles.htm)

Quintero Durán, R. 1995. Fertilización y nutrición. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA. p. 153-177.

Saldarriaga, S. 1996. Efecto de los Maduradores Químicos Sobre los Rendimientos de Caña, Azúcar Recuperable y Calidad de la Caña de Azúcar. En: Seminarios Interamericanos de la caña de azúcar. Miami, Florida. Memorias 1996. Vol II. Versión en español. 349 p.

TuTiempo s.f. Clima en Choluteca el tiempo en 2012. (en línea). Consultado 7 de agosto de 2013. Disponible en: <http://www.tutiempo.net/clima/Choluteca/2012/787240.htm>

Tonatto, M. J., Romero, E. R., Leggio Neme, M. F., Digonzelli, P. A., Casen, S. D., Giardina, J. A., Alonso, L. G. P., Scandaliaris, J. y Fernández de Ullivarri, J. 2012. Capítulo 15 - Mejora de la calidad de materia prima. Consultado 13 de agosto de 2013.

WeatherOnline. s.f. Choluteca, Clima. (en línea). Consultado 24 de mayo de 2013.

Disponible en:

<http://www.woespana.es/weather/maps/city?LANG=es&UP=0&WMO=78724&CONT=mamk&NOREGION=1&CEL=C&ART=tab&LEVEL=161&R=161>

Wolf, B. 1982. A comprehensive system of leaf analysis and its use for diagnosing crop nutrients status. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 13:1035-1059.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Matrices de biodisponibilidad en suelos franco limosos (Semilleros 12) para cuatro programas de fertilización en el cultivo de caña de azúcar, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programa de Fertilización	Nutriente	Nivel		Biodisponibilidad
		Suelo	Foliar	
Convencional <sup>£</sup>	N	b <sup>U</sup>	m <sup>Y</sup>	m
	P	a <sup>€</sup>	m	m
	K	b	m	m
	Ca	a	m	m
	Mg	m	m	m
	S	m	m	m
	Cu	a	m	m
	Fe	a	m	m
	Mn	a	m	m
	Zn	a	b	b
B	m	b	b	

Programa de Fertilización	Nutriente	Nivel		Biodisponibilidad
		Suelo	Foliar	
Convencional (fraccionada)	N	b <sup>U</sup>	m <sup>Y</sup>	m
	P	a <sup>€</sup>	m	m
	K	b	m	m
	Ca	a	m	m
	Mg	m	m	m
	S	m	m	m
	Cu	a	m	m
	Fe	a	m	m
	Mn	a	m	m
	Zn	a	m	m
B	m	m	m	

Programa de Fertilización	Nutriente	Nivel		Biodisponibilidad
		Suelo	Foliar	
Alternativo <sup>Y</sup>	N	b <sup>U</sup>	m <sup>Y</sup>	m
	P	a <sup>€</sup>	m	m
	K	b	m	m
	Ca	a	m	m
	Mg	m	m	m
	S	m	m	m
	Cu	a	m	m
	Fe	a	m	m
	Mn	a	m	m
	Zn	a	b	b
B	m	m	b	

Programa de Fertilización	Nutriente	Nivel		Biodisponibilidad
		Suelo	Foliar	
Alternativo (fraccionada)	N	b <sup>U</sup>	m <sup>Y</sup>	m
	P	a <sup>€</sup>	m	m
	K	b	m	m
	Ca	a	m	m
	Mg	m	m	m
	S	m	m	m
	Cu	a	m	m
	Fe	a	m	m
	Mn	a	m	m
	Zn	a	m	m
B	b	m	m	

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4

<sup>Y</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14

<sup>€</sup> Nivel alto

<sup>Y</sup> Nivel medio (adecuado)

<sup>U</sup> Nivel bajo

Anexo 2. Matrices de biodisponibilidad en suelos franco arcillo limosos (La Tigra 5) para cuatro programas de fertilización en el cultivo de caña de azúcar, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programa de Fertilización	Nutriente	Nivel		Biodisponibilidad
		Suelo	Foliar	
Convencional <sup>£</sup>	N	b	m	m
	P	m	m	m
	K	b	m	m
	Ca	m	m	m
	Mg	m	m	m
	S	b	b	b
	Cu	a	m	m
	Fe	a	m	m
	Mn	a	m	m
	Zn	m	m	m
	B	b	m	m

Programa de Fertilización	Nutriente	Nivel		Biodisponibilidad
		Suelo	Foliar	
Convencional (fraccionada)	N	b <sup>Ü</sup>	m	m
	P	m <sup>Y</sup>	m	m
	K	b	m	m
	Ca	m	m	m
	Mg	m	m	m
	S	b	b	b
	Cu	a <sup>€</sup>	m	m
	Fe	a	m	m
	Mn	a	m	m
	Zn	m	m	m
	B	b	b	b

Programa de Fertilización	Nutriente	Nivel		Biodisponibilidad
		Suelo	Foliar	
Alterno <sup>Y</sup>	N	b <sup>Ü</sup>	m	m
	P	m <sup>Y</sup>	m	m
	K	b	m	m
	Ca	m	m	m
	Mg	m	m	m
	S	b	b	b
	Cu	a <sup>€</sup>	m	m
	Fe	a	m	m
	Mn	a	m	m
	Zn	a	m	m
	B	b	m	m

Programa de Fertilización	Nutriente	Nivel		Biodisponibilidad
		Suelo	Foliar	
Alterno (fraccionada)	N	b <sup>Ü</sup>	m	m
	P	m <sup>Y</sup>	m	m
	K	b	m	m
	Ca	m	m	m
	Mg	m	m	m
	S	b	b	b
	Cu	a <sup>€</sup>	m	m
	Fe	a	m	m
	Mn	a	m	m
	Zn	a	b	b
	B	b	m	m

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4

<sup>Y</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14

<sup>€</sup> Nivel alto

<sup>Y</sup> Nivel medio (adecuado)

<sup>Ü</sup> Nivel bajo

Anexo 3. Matrices de biodisponibilidad en suelos arcillosos (Rancho Alegre 50) para cuatro programas de fertilización en el cultivo de caña de azúcar, Azucarera Choluteca, Choluteca, Honduras.

Programa de Fertilización	Nutriente	Nivel		Biodisponibilidad
		Suelo	Foliar	
Convencional <sup>£</sup>	N	b <sup>⓪</sup>	m <sup>Y</sup>	m
	P	a <sup>€</sup>	m	m
	K	b	m	m
	Ca	a	m	m
	Mg	m	m	m
	S	b	m	m
	Cu	a	m	m
	Fe	a	m	m
	Mn	a	m	m
	Zn	a	m	m
	B	b	b	b

Programa de Fertilización	Nutriente	Nivel		Biodisponibilidad
		Suelo	Foliar	
Alternativo <sup>Y</sup>	N	b <sup>⓪</sup>	m <sup>Y</sup>	m
	P	a <sup>€</sup>	m	m
	K	b	m	m
	Ca	a	m	m
	Mg	m	m	m
	S	b	m	m
	Cu	a	m	m
	Fe	a	m	m
	Mn	a	m	m
	Zn	a	m	m
	B	b	b	b

Programa de Fertilización	Nutriente	Nivel		Biodisponibilidad
		Suelo	Foliar	
Convencional (fraccionada)	N	b <sup>⓪</sup>	m <sup>Y</sup>	m
	P	a <sup>€</sup>	m	m
	K	b	m	m
	Ca	a	m	m
	Mg	m	m	m
	S	b	m	m
	Cu	a	m	m
	Fe	a	m	m
	Mn	a	m	m
	Zn	a	m	m
	B	b	b	b

Programa de Fertilización	Nutriente	Nivel		Biodisponibilidad
		Suelo	Foliar	
Alternativo (fraccionada)	N	b <sup>⓪</sup>	m <sup>Y</sup>	m
	P	a <sup>€</sup>	m	m
	K	b	m	m
	Ca	a	m	m
	Mg	m	m	m
	S	b	m	m
	Cu	a	m	m
	Fe	a	m	m
	Mn	a	m	m
	Zn	a	m	m
	B	m	b	b

<sup>£</sup> Fórmula convencional 114-36-59-Mg0-S2-Zn4

<sup>Y</sup> Fórmula alterna 172-57-143-Mg43-S36-Zn14

<sup>€</sup> Nivel alto

<sup>Y</sup> Nivel medio (adecuado)

<sup>⓪</sup> Nivel bajo