

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EVALUACIÓN DE NIVELES DE FÓSFORO Y POTASIO EN EL CULTIVO  
DE CAÑA DE AZÚCAR PARA PRODUCCIÓN DE PANELA ORGÁNICA;

SANTA BÁRBARA, SUCHITEPÉQUEZ  
TESIS DE GRADO

**LUDIN AGUSTÍN LÓPEZ MIRANDA**  
CARNET 27162-03

ESCUINTLA, OCTUBRE DE 2014  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EVALUACIÓN DE NIVELES DE FÓSFORO Y POTASIO EN EL CULTIVO  
DE CAÑA DE AZÚCAR PARA PRODUCCIÓN DE PANELA ORGÁNICA;

SANTA BÁRBARA, SUCHITEPÉQUEZ  
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR  
**LUDIN AGUSTÍN LÓPEZ MIRANDA**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO  
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, OCTUBRE DE 2014  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR:	P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA:	DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN:	DR. CARLOS RAFAEL CABARRÚS PELLECCER, S. J.
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA:	P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:	LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL:	LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANO:	DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA:	LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA:	ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA:	MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

## **NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

DRA. MARÍA ANTONIETA ALFARO VILLATORO

## **TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**

MGTR. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTIZ

MGTR. LUIS AMÉRICO MÁRQUEZ HERNÁNDEZ

ING. MANUEL RODRIGO SALAZAR RECINOS

Guatemala 22 de octubre de 2014

Honorable Consejo de  
La Facultad de Ciencias Ambientales y Agricultura  
Presente.

Distinguidos Miembros de Consejo

Por este medio hago constar que he procedido revisar el Informe Final de Tesis del estudiante Ludin Agustín López Miranda, que se identifica con carné 27162-03, titulado: **“EVALUACION DE NIVELES DE FÓSFORO Y POTASIO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum spp.*, Poaceae) PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA ORGÁNICA. FINCA EL TESORO, SANTA BÁRBARA, SUCHITEPÉQUEZ”**, el cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad para ser aprobado, por lo que solicito sea revisado por la tema que designe el Honorable Consejo de la Facultad, previa a su autorización de impresión.

Atentamente

  
Ing.Agr. Dra. María Antonieta Alfaro  
Colegiado No. 831



Universidad  
Rafael Landívar

Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
No. 06211-2014

### Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante LUDIN AGUSTÍN LÓPEZ MIRANDA, Carnet 27162-03 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 0697-2014 de fecha 20 de septiembre de 2014, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EVALUACIÓN DE NIVELES DE FÓSFORO Y POTASIO EN EL CULTIVO  
DE CAÑA DE AZÚCAR PARA PRODUCCIÓN DE PANELA ORGÁNICA;  
SANTA BÁRBARA, SUCHITEPÉQUEZ

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 16 días del mes de octubre del año 2014.

  
ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
Universidad Rafael Landívar



## **AGRADECIMIENTOS**

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de superarme.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

Ing. Agr. Dra. María Antonieta Alfaro por su apoyo incondicional, asesoría, revisión y corrección en la realización de la presente investigación.

Agropecuaria El Tesoro, Santa Bárbara, Suchitepéquez, por brindarme el apoyo necesario para desarrollar la presente investigación.

## **DEDICATORIA**

- A DIOS** Por la vida que me ha regalado, por la sabiduría y por ser la luz que me ilumina en todo momento y me da las fuerzas para seguir adelante luchando por el éxito.
- A MIS PADRES** Agustín López Quiche y Florinda Isabel Miranda Vázquez por apoyarme en todo momento y hacer que este sueño se haga realidad, como reconocimiento a sus principios y valores transmitidos.
- A MIS HERMANOS** Anabella Elizabeth, Henry Filiberto, Sheny Judith, Agustín y Yanira Yesenia, porque en todo momento les sirva como ejemplo, para luchar por lo que se quiere.
- A MI ESPOSA** Carmen Elena Aragón Blanco
- A MIS HIJOS** Kevin Emiliano y Amanda Izabel por ser la luz de mi vida.
- A MIS PRIMOS** Afectuosamente.
- A MIS TÍOS** Afectuosamente.
- A MIS ABUELOS** Manuel Dionisio Miranda, Felicita Velásquez (+), Pedro López Vicente (+), María Rosario Quiche Gomes, por sus oraciones especiales, en su memoria con cariño.
- A MI FAMILIA EN GENERAL** Los López y los Mirandas agradeciéndoles por todo su apoyo, consejos y cariño sincero.
- A MIS AMIGOS** Afectuosamente.
- A MIS COMPAÑEROS DE LA UNIVERSIDAD** Por las diversas experiencias compartidas en el aula y el apoyo a lo largo de mi carrera.
- A MIS CATEDRÁTICOS** Por sus sabias enseñanzas.

# INDICE GENERAL

	Página
<b>I INTRODUCCION</b>	1
<b>II MARCO TEORICO</b>	3
2.1 Características de la caña de azúcar	3
2.1.1 Variedades y países donde se cultiva	3
2.2 Caña de azúcar en sistema de producción orgánica	3
2.2.1 Formas de procesamiento de la caña de azúcar producida ecológicamente	4
2.3 Requerimientos nutricionales de la caña de azúcar	5
2.4 Manejo de la nutrición en la producción orgánica de caña de azúcar	6
2.5 Importancia del fósforo para la caña de azúcar	8
2.5.1 Niveles de fósforo en el tejido foliar de caña de azúcar	9
2.5.2 Síntomas de deficiencia de fósforo en caña de azúcar	9
2.6 Fuentes de fósforo en agricultura orgánica	10
2.6.1 Roca fosfórica	13
2.6.1.1 Generalidades sobre las rocas fosfóricas	13
2.6.1.2 Descripción de las rocas fosfóricas	15
2.6.1.3 Experimentos realizados con roca fosfórica en caña de azúcar	15
2.7 Importancia del potasio en caña de azúcar	17
2.7.1 Niveles de Potasio en el tejido foliar de caña de azúcar	18
2.7.2 Síntomas de deficiencia de potasio en caña de azúcar	19
2.7.3 Fuentes de potasio permitidas en agricultura orgánica	20
2.7.3.1 Fuentes orgánicas de potasio	20
2.7.3.2 Fuentes minerales de K en agricultura orgánica	21
<b>III PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	23
3.1 Definición del problema y Justificación del trabajo	23
<b>IV OBJETIVOS</b>	24
4.1 General	24
4.2 Específicos	24
<b>V HIPÓTESIS</b>	25
<b>VI METODOLOGIA</b>	26
6.1 Localización del trabajo	26
6.2 Material experimental	26
6.3 Factores a estudiar	26
6.4 Descripción de los tratamientos	26
6.5 Diseño experimental	27
6.6 Modelo estadístico	27
6.7 Unidad experimental	28
6.8 Croquis de campo	28
6.9 Manejo del experimento	29

6.10	Variables de respuesta	Página 29
6.11	Análisis de la información	31
6.11.1	Análisis estadístico	31
<b>VII</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>	32
<b>VIII</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	42
<b>IX</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	43
<b>X</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	44
<b>XI</b>	<b>ANEXOS</b>	49
11.1	Resultados de análisis químico y físico de suelo	49
11.2	Resultados de análisis de lombricompost	50
11.3	Niveles de requerimiento nutricional de la caña de azúcar	51
11.4	Abonos, fertilizantes y acondicionadores del suelo	51

## INDICE DE CUADROS

		Página
<b>Cuadro 1.</b>	Extracción de N, P, K, Ca y Mg, por cada tonelada de caña comercial (kg/t caña) de cuatro variedades de caña de azúcar en Guatemala.	5
<b>Cuadro 2.</b>	Contenido de N, P, K en diferentes estiércoles.	7
<b>Cuadro 3.</b>	Tiempos de descomposición de residuos orgánicos en el suelo.	7
<b>Cuadro 4.</b>	Niveles críticos y adecuados de P (%) según tejido usado y edad del material.	9
<b>Cuadro 5.</b>	Niveles críticos y adecuados de K (%) según el tejido y la edad de la hoja.	18
<b>Cuadro 6.</b>	Tratamientos evaluados.	27
<b>Cuadro 7.</b>	Resultados promedio de variables estudiadas en caña de azúcar (t/ha) en respuesta a los tratamientos aplicados.	32
<b>Cuadro 8.</b>	Análisis de la Varianza para la variable altura de planta (cm) en respuesta a los tratamientos aplicados.	33
<b>Cuadro 9.</b>	Análisis de la Varianza para la variable diámetro de tallo (cm) en respuesta a los tratamientos aplicados.	34
<b>Cuadro 10.</b>	Análisis de la Varianza para la variable número de tallos en respuesta a los tratamientos aplicados.	34
<b>Cuadro 11.</b>	Prueba de Medias (Tukey) para la variable número de tallos en respuesta a la aplicación de P.	35
<b>Cuadro 12.</b>	Prueba de Medias (Tukey) para la variable número de tallos en respuesta a la aplicación de los tratamientos combinados de P y K.	36
<b>Cuadro 13</b>	Análisis de la Varianza para la variable rendimiento de caña/ha en respuesta a los tratamientos aplicados.	37

	Página
<b>Cuadro 14.</b> Prueba de Medias (Tukey) para la variable Rendimiento caña/ha en respuesta a la aplicación de fósforo ( $P_2O_5$ ).	37
<b>Cuadro 15.</b> Prueba de Medias (Tukey) para la variable Rendimiento caña/ha en respuesta a la aplicación de potasio ( $K_2O$ ).	38
<b>Cuadro 16.</b> Prueba de Medias (Tukey) para la variable rendimiento de caña (Kg/ha) en respuesta a la aplicación de los tratamientos combinados de fósforo y potasio.	38
<b>Cuadro 17.</b> Análisis de la varianza para la variable porcentaje de sacarosa en respuesta a los tratamientos aplicados.	39
<b>Cuadro 18.</b> Análisis químico de las muestras foliares compuestas, hojas TDV de caña de azúcar, de cada tratamiento.	40
<b>Cuadro 19.</b> Cuadro de resultados de análisis químico y físico de suelo. CENGICAÑA, 2012.	49
<b>Cuadro 20.</b> Cuadro de resultados de análisis lombricompost. CENGICAÑA, 2012.	50
<b>Cuadro 21.</b> Niveles óptimos y críticos de nutrientes foliares de caña de azúcar.	51
<b>Cuadro 22.</b> Insumos permitidos.	51

# **EVALUACIÓN DE NIVELES DE FOSFORO Y POTASIO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA PRODUCCIÓN DE PANELA ORGÁNICA; SANTA BÁRBARA, SUCHITEPÉQUEZ.**

## **RESUMEN**

La presente investigación se efectuó con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de fertilizante fosforado a base de roca fosfórica y potasio en forma mineral para la producción de panela orgánica. El experimento se llevó a cabo en la finca Agropecuaria El Tesoro, la cual se encuentra situada en el municipio de Santa Bárbara, Suchitepéquez. Se estudiaron dos factores de fertilización: fósforo en tres niveles, 0 y 30 y 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha y potasio con cuatro niveles 0, 40, 80 y 120 kg K<sub>2</sub>O /ha. El diseño experimental utilizado fue en bloques completos al azar, en un arreglo factorial 3 x 4, con 12 tratamientos y en tres repeticiones. Las variables estudiadas fueron: rendimiento de caña (t/ha), altura de planta, número de tallos, diámetro de tallos, concentración de fósforo y potasio foliar y concentración de sacarosa. Los resultados obtenidos indicaron que la interacción de los factores evaluados mostró efectos estadísticamente significativos sobre el número de tallos por parcela y rendimiento de caña de azúcar, al nivel esperado de significancia (de 0.05). No se encontraron efectos significativos sobre otras variables, incluyendo el contenido de sacarosa. Se obtuvieron mejores resultados en rendimiento con la interacción de fósforo y potasio en los niveles 60 kg/ha de fósforo y 80-120 kg/ha de potasio. Y 30 kg/ha de fósforo con 120 kg/ha de potasio. Sin embargo, los niveles de fertilización aplicados no fueron suficientes para elevar el rendimiento a un nivel comparado al cultivo en forma convencional, tomando en consideración que el manejo orgánico requiere de otras prácticas para mejorar la eficiencia de la utilización de nutrientes del suelo y de materiales orgánicos incorporados.

# **EVALUATION OF PHOPHORUS AND POTASSIUM LEVELS IN SUGAR CANE FOR THE PRODUCTION OF ORGANIC PANELA; SANTA BÁRBARA, SUCHITEPÉQUEZ**

## **SUMMARY**

This research was carried out in order to evaluate the effect of the phosphorated fertilizer that consists of phosphate rock and potassium as a mineral for the production of organic panela. The experiment was carried in Agropecuaria El Tesoro farm, which is located in the municipality of Santa Bárbara, Suchitepéquez. Two fertilization factors were studied: phosphorus in three levels, 0, 30 and 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha and potassium with four levels 0, 40, 80, and 120 kg K<sub>2</sub>O /ha. A complete randomized block design, in a 3 x 4 factorial arrangement, with 12 treatments and three replicates was used. The studied variables were: sugar cane yield (t/ha), plant height, stem number, stem diameter, leaf phosphorus and potassium concentration, and sucrose concentration. The results obtained indicated that the interaction of the evaluated factors showed statistically significant effects on the number of stems per plot and sugar cane yield, at the expected significance level (of 0.05). No significant effects on other variables were found, including sucrose content. Better results were obtained regarding yield with the interaction of phosphorus and potassium at the following levels: 60 kg/ha of phosphorus and 80-120 kg/ha of potassium, and 30 kg/ha of phosphorus with 120 kg/ha of potassium. However, the fertilization levels applied were not enough to increase the yield compared with the traditional production, taking into account that the organic management requires other practices to improve the usage efficiency of the soil nutrients and incorporated organic matter.

## I. INTRODUCCION

La caña de azúcar (*Saccharum spp*) es un cultivo de importancia económica y social para Guatemala, fundamentalmente debido a que en el aspecto económico representa un rubro significativo del 3% del PIB de la economía nacional, así también ha generado un total de exportaciones efectuadas a marzo de 2013 por azúcar asciende a US\$356.1 millones, lo que representa un 13.4% de ingreso de divisas por exportaciones de éste rubro, y en el aspecto social constituye una fuente importante de empleos que genera 421,000 empleos directos e indirectos, 32,000 corresponden a cortadores de caña.

En Guatemala, la caña de azúcar es manejada con alto nivel tecnológico, lo que le ha permitido alcanzar segundo lugar como exportador y cuarto productor de América Latina y el Caribe y el cuarto exportador y el tercer lugar por hectárea en productividad a nivel mundial, en el 2011/12 se produjeron 54, 330,445 quintales, 2, 499,200 toneladas métricas y en el 2012/13 se produjeron 60, 493,318 quintales, 2, 782,693 toneladas métricas Dentro de las prácticas agrícolas, la fertilización es de suma importancia, en virtud que representa uno de los factores que influye en forma directa sobre los rendimientos agroindustriales en el cultivo. Su efecto varía según las condiciones agroecológicas de la localidad y también del manejo integrado que se le hace a la plantación.

Dentro de los nutrientes más requeridos por la planta, aparte del nitrógeno, el fósforo adquiere mayor relevancia por estar éste elemento relacionado con la formación de la sacarosa. Su deficiencia reduce el amacollamiento y desarrollo de la planta. Y origina raíces anormales de color marrón. La aplicación de este nutriente merece especial atención, no solo por su baja movilidad en el suelo sino porque una buena proporción de suelos de la zona cañera de Guatemala, pertenece a los andisoles, algunos autores han encontrado valores de fijación de fósforo variando entre 71 y 92 % el cual depende del tipo y cantidad de arcillas y de otros factores que regulan la fijación de este elemento al suelo. (Chonay *et al.*, 2002).

El potasio es otro elemento de importancia para la producción de caña de azúcar ya que este elemento ayuda a la planta a tener una mejor estructura celular, participa en la asimilación de carbono, fotosíntesis, síntesis de proteínas, formación de almidón, traslocación de proteínas y azúcares, absorción de agua por la planta y desarrollo normal de raíces, aumenta la cantidad de azúcares reductores y reduce el contenido de sacarosa, por lo que la fertilización de potasio es necesaria para poder aumentar la producción cuando este elemento falta en el suelo.

Los niveles de fertilización fosfórica y potásica han sido ampliamente estudiados en la costa sur para caña convencional; sin embargo, no existen estudios sobre como suplir estos elementos en caña panelera producida orgánicamente.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar niveles de fósforo y potasio a partir de fuentes naturales, con el propósito de mejorar el desarrollo y rendimiento de caña destinada a la producción de panela bajo un sistema de producción orgánica, en la Finca Agropecuaria El Tesoro, Municipio de Santa Bárbara, Suchitepéquez.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1 Características de la caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) tiene su origen genético en Nueva Guinea. La planta pertenece a la familia de las gramíneas, es una planta C4 con alta eficiencia fotosintética. Según variedad y condiciones locales, la planta forma entre 4 y 12 tallos que pueden crecer hasta 3 - 5 m de altura. El contenido de azúcar (sacarosa) oscila entre 11 y 16% (Asociación Naturland, 2000).

#### 2.1.1 Variedades y países donde se cultiva

La caña desarrolla sólo en casos excepcionales semillas germinables. La mayoría de los más que 100 clones usuales son cruces de *S. officinarum* con alto contenido de azúcar y *S. sinensis* (que tiene buena adaptabilidad), *S. spontaneum* y *S. robustum* resistente a enfermedades. Los clones más frecuentes son octaploides y se reproducen en forma vegetativa (Asociación Naturland, 2000).

En muchas regiones de Asia y América Latina la producción de caña de azúcar se realiza en pequeñas fincas y está destinada al consumo propio. Su cultivo en gran escala es posible si se tiene posibilidades de procesamiento artesanal o industrial. Por el momento los países productores de caña de azúcar ecológica más importantes son: Brasil, Paraguay, Filipinas, EE.UU., Mauricio y la República Dominicana (Asociación Naturland, 2000).

### 2.2. Caña de azúcar en sistema de producción orgánica

En los países que se cultiva, la caña se masca por el jugo dulce de sus fibras. El jugo se obtiene sometiendo la caña a presión mediante prensas trapiche, y se utiliza sobre todo para endulzar alimentos, pero se consume también como jugo fresco o fermentado. Su transformación se hace para obtener jugo espesado de caña, azúcar

bruta, o azúcar bruta integral de caña. En los mercados existe azúcar blanca de cultivo ecológico sólo en pequeñas cantidades (Asociación Naturland, 2000).

Varios productores ofrecen también melaza o jugo espesado de caña y alcohol, subproducto del procesamiento de caña de calidad ecológica. El alcohol ecológico se utiliza en la producción de cosméticos y medicamentos (Asociación Naturland, 2000).

### **2.2.1 Formas de procesamiento de la caña de azúcar producida ecológicamente**

La rapadura y panela provienen del jugo de caña espesado y rápidamente cristalizado: Este se produce sobre todo en pequeñas plantas industriales. Los cristales son irregulares y amorfos. La calidad del producto y su denominación comercial (rapadura, mascobada, panela, chancaca) varía según su origen. El producto es de color marrón pardo, tiene un sabor a caramelo o a caña, más o menos fuerte, y por ello no es totalmente apto para endulzar alimentos y bebidas. Los productos ecológicos de esta clase se suelen procesar en pequeños talleres artesanales o también en pequeñas plantas industriales. Para ganar la energía necesaria se queman las fibras residuales de la caña o bagazo con adición de otras maderas. Para la regulación del factor pH del jugo de caña de azúcar se utiliza cal y para la eliminación de partículas de suciedad extracto de corteza de Guázima, *Guazuma ulmifolia*<sup>1</sup> (Asociación Naturland, 2000).

Azúcar centrifugada y cristalizada o azúcar bruta de caña: Se produce en plantas industriales. El azúcar bruta de caña se caracteriza por cristales bien formados y definidos y por su color gris parduzco o “blanco sucio”. Este azúcar ya no tiene sabor propio y es especialmente apropiada para endulzar y conservar productos procesados (Asociación Naturland, 2000).

---

<sup>1</sup> La aplicación de este coadyuvante del procesamiento debe aprobar a parte del organismo de certificación.

### 2.3. Requerimientos nutricionales de la caña de azúcar

Pérez (1994), refiere que los nutrientes son elementos compuestos inorgánicos simples que el cultivo necesita para su normal desarrollo. Estos nutrientes se pueden clasificar en dos grupos según las cantidades absorbidas por las plantas.

- a) Macro nutrimentos: N, P, K, Ca, Mg. y S.
- b) Micro nutrimentos: Zn, B, Fe, Mo, Cu, Mn y Cl.

El nitrógeno, fósforo y el potasio son los tres nutrientes que frecuentemente se encuentran en cantidades deficientes en la mayoría de los suelos y regularmente son aplicados en forma de fertilizantes.

**Cuadro 1. Extracción de N, P, K, Ca y Mg, por cada tonelada de caña comercial (kg/t caña) de cuatro variedades de caña de azúcar en Guatemala.**

Nutriente	Variedad			
	CP72-2086	PGM89-968	SP79-2233	CG96-59
Nitrógeno (N)	1.0	0.92	0.88	1.19
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.40	0.45	0.45	0.48
Potasio (K <sub>2</sub> O)	2.65	2.81	3.1	2.87
Cálcio (Ca)	0.60	0.51	0.64	0.65
Magnésio (Mg)	0.27	0.19	0.33	0.21

Pérez (2005)

En el Cuadro 1 se observa que el K es el nutriente requerido en mayores cantidades por el cultivo de caña de azúcar y varía de 2.65 kg en la variedad CP72-2086 a 3.1 kg de K<sub>2</sub>O por tonelada de caña en la variedad SP79-2233. Con relación a N, los requerimientos entre las variedades también son diferentes. Por ejemplo, la variedad CG96-59 requiere más N que las otras variedades con 1.19 kg de N/t caña. Por su parte, la variedad CP72-2086 se considera intermedia con una extracción de 1 kg de N/t caña. Variedades como la SP79-2233 y PGM89-968 tienen menores requerimientos ya que presentan menores valores de extracción de 0.88 y 0.92 kg de N/t de caña comercial. El menor requerimiento de N de estas dos variedades podría estar asociado a la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno eficientes, como lo reporta un estudio sobre fijación biológica de nitrógeno con la utilización de técnicas isotópicas de <sup>15</sup>N (Pérez *et al.*, 2005).

En ensayos realizados por Pérez (2001), para evaluar dosis de fósforo y potasio se encontró que de acuerdo a la tendencia de los datos y antecedentes previos, la dosis económica de P en la plantía estaría entre 50 y 100 kg de  $P_2O_5$ /ha para este tipo de suelos. Estudios anteriores sobre el tema han indicado una dosis óptima económica de 84 kg  $P_2O_5$  /ha para suelos Andisoles superficiales de la zona alta de la región.

#### **2.4. Manejo de la nutrición en la producción orgánica de caña de azúcar**

Tanto para sistemas intensivos como extensivos, las cantidades de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$  difícilmente pueden obtenerse a partir de la fertilidad natural del suelo (Osorio, 2007).

La fertilidad natural del suelo y su actividad biológica, deberán ser conservadas e incrementadas por medio del empleo de leguminosas y plantas fijadoras de nitrógeno, abonos verdes, cultivos de cobertura y/o plantas de enraizamiento profundo; basado en programas de rotación de este tipo de materiales vegetativos, establecido previamente. La aplicación de abonos, fertilizantes y acondicionadores permitidos (Anexo 11.5), basado en los resultados de análisis de fertilidad de suelos, tomando en cuenta, que no provoquen desbalances nutricionales, que no favorezcan el desarrollo de plagas y que no contaminen las aguas por exceso de nitratos o de otro tipo. (Cenae, 2004)

La materia orgánica cumple un papel decisivo en el mantenimiento de su capacidad productiva del suelo, por tanto, no se puede prescindir de ella y confiar todos los aspectos de la fertilidad del suelo a los fertilizantes minerales. El problema es que no basta sólo con el uso eficiente de los fertilizantes minerales; también es indispensable la materia orgánica, importante para la aireación, el drenaje y la vida del suelo. Es posible asegurar que, para cultivos intensivos, se pueden conseguir buenos rendimientos en caña y panela a partir de fertilizantes minerales, con un adecuado soporte orgánico. La materia orgánica se encuentra en la naturaleza bajo muchas formas: restos vegetales, estiércol y otros residuos animales. En Cuadro 2 se puede observar la composición de algunos estiércoles que se pueden utilizar en un plan de fertilización (Osorio, 2007).

**Cuadro 2. Contenido de N, P, K en diferentes estiércoles**

<b>Clase de estiércol</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
	<b>Kilos/100 kilos de estiércol</b>		
Caballo	6.7	2.3	7.2
Vaca	3.4	1.3	3.5
Cerdo	4.5	2	6
Oveja	8.2	2.1	8.4
Gallina	15	10	4

Fuente: Manrique, (1992).

Los estiércoles además de aportar nitrógeno, fósforo y azufre, enriquecen el suelo con potasio, magnesio, calcio, manganeso, boro y cobre, dependiendo de la clase y condición y los alimentos consumidos por el animal (Osorio, 2007).

Como consecuencia de la actividad biológica (macro y microbiana) que se desarrolla en el suelo, la materia orgánica fresca se descompone y se transforma en sustancias minerales aprovechables y humus (Osorio, 2007).

En el cuadro 3 se muestra el tiempo de descomposición de los diferentes residuos orgánicos.

**Cuadro 3. Tiempos de descomposición de residuos orgánica en el suelo**

<b>Tiempos de descomposición</b>	<b>Constituyentes</b>
Hasta 3 años	Paja, madera, tallos, papel, lignina
<1/2 año	Hojas, cortezas, flores, frutos, abono animal (estiércol)
Hasta 1 1/2 años	Cuerpos de macro y microorganismos y sus metabolitos
Hasta 2 1/2 años	Compost maduro

Fuente: Toscano, 2006.

En el suelo, la materia orgánica se transforma por la acción de los microorganismos, los cuales derivan de ella el carbono y la energía para su crecimiento. En el proceso de descomposición gran parte del carbono se libera como dióxido de carbono (Osorio, 2007).

Varios factores influyen en la tasa de descomposición de la materia orgánica: la naturaleza química de los residuos, la temperatura, la humedad, la aireación, la posición geomorfológica del suelo, el pH, el contenido de nitrógeno y la composición mineralógica de las arcillas (Osorio, 2007).

El contenido de materia orgánica aumenta a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar. Los contenidos de materia orgánica contribuyen a la capacidad de intercambio catiónico. La materia orgánica es tan importante que da origen a un orden de suelo llamado Histosoles, suelos derivados de tejidos vegetales (Osorio, 2007).

En el proceso de producción de caña y panela resulta mucha materia orgánica, a partir de los residuos de cosecha o en calle, los diferentes subproductos del molino; ceniza, bagazo, bagacillo, etc., los estiércoles de los animales utilizados en el transporte de la caña y las diferentes especies de animales de la finca como gallinas, cerdos y bovinos; todos estos residuos se pueden adicionar a un manejo de lombricultivo y producción de humus o a un proceso de compostaje (Manrique, 1992).

## **2.5. Importancia del fósforo para la caña de azúcar**

El fósforo es absorbido por las plantas en forma de iones ortofosfato primario y secundario ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) dependiendo de pH del suelo. El fósforo circula y se traslada en el vegetal como fosfato monobásico, siendo interiormente un elemento muy móvil. Interviene en la formación de nucleoproteínas, ácidos, nucléicos y fosfolípidos. Tiene una vital importancia en la división celular, la respiración, síntesis de azúcar, grasas y proteínas, la acumulación de energía (con los compuestos ATP y NADP), en los fenómenos de fosforilación y la regulación del pH de las células (sus ácidos y sales de metal fuerte forman soluciones buffer que regulan el pH de las soluciones celulares). Este elemento se acumula principalmente en los tejidos activos, participando en los procesos de síntesis y respiración, división celular (Mengel y Kirkby, 1982).

El fósforo (P) es esencial para el crecimiento de las plantas. Después del nitrógeno, el fósforo es el nutriente que más limita el desarrollo de los cultivos, a pesar de que las plantas lo necesitan en menores cantidades. Está presente en todas las células y zonas de crecimiento de las plantas (meristemas y raíces). El fósforo es absorbido por las plantas de caña de azúcar durante los primeros seis meses de su crecimiento (Anderson y Bowen, 1994; INPOFOS, 1997).

### 2.5.1. Niveles de fósforo en el tejido foliar de caña de azúcar

En el cuadro 4 se muestran los niveles críticos y adecuados de fósforo P en caña de azúcar de acuerdo a análisis foliar.

**Cuadro 4. Niveles críticos y adecuados de P (%) según tejido usado y edad del material.**

Peso Seco* (%)		Hoja o Tejido Usado	Edad Hoja (meses)	Corrección (Kg P/ha)	país o Estado
Critico	Óptimo				
0.15	0.20-0.35	3	4-9	8-80	Brasil
0.10	0.18	1	3	153	Costa Rica
0.19	0.22-0.30	1, sin nervadura. Central	4-6	37	Florida
0.21	0.21-0.25	1	4	---	Guayana
1200**	2400**	API**	9-15	262	Hawái
0.14	0.18-0.22	2	3	20	Louisiana
0.15	0.20-0.24	3	4-6	---	Maurisio
0.10	0.18-0.25	1	3	65-131	Puerto Rico
0.19	0.19-0.32	3	3-9	---	S. Dafrica
0.20-0.22	---	hoja/vaina 1-4	3-4	---	Texas
0.19-0.20			5-6		
0.08	0.08-0.2	hojas 1-4	4	---	---

\*Resultados expresados en base a peso seco.

\*\* API = Índice de P Ampliado, determinado usando el contenido de P del 5to entrenudo, vainas 1 a 4, humedad de la vaina, edad del cultivo y calculado en base a peso seco libre de azúcar (13).

Fuente: (Anderson y Bowen, 1994).

### 2.5.2 Síntomas de deficiencia de fósforo en caña de azúcar

Los síntomas de deficiencia de fósforo en el cultivo de caña de azúcar son: Hojas viejas afectadas. Efectos generalizados en toda la planta; en ocasiones aparece un color rojo o púrpura, particularmente en las puntas y márgenes; hojas delgadas y muerte descendente de las puntas y los márgenes, tallos pequeños y delgados; poco o ningún macollamiento (Anderson y Bowen, 1994).

El primer síntoma de la falta de fósforo es el desarrollo raquítrico. La forma de las hojas se distorsiona. Cuando la deficiencia es severa se desarrollan áreas muertas en la hoja, el fruto y el tallo. Debido a que el fósforo se mueve rápidamente de los tejidos viejos a los tejidos jóvenes, las deficiencias aparecen primero en las partes viejas de la planta. La deficiencia de fósforo retrasa la madurez del cultivo. El fósforo no forma parte de la

clorofila, de tal forma que cuando este elemento se encuentra en deficiencia y abunda el nitrógeno, suelen producirse elevados contenidos en clorofila y las plantas adquieren un color verde oscuro. Un color púrpura o rojizo, asociado con la acumulación de azúcares, aparece a menudo en plantas de maíz y en otros cultivos deficientes en fósforo, especialmente a temperaturas bajas (INPOFOS, 1997; Thompson y Troeh, 1982).

La deficiencia de fósforo reduce el macollamiento y el desarrollo de la planta, a la vez que origina raíces anormales de color marrón (Wardle, 1968; Humbert, 1974). En la variedad MZC 74-275 es común encontrar manchas de color púrpura en las hojas inferiores cuando se cultiva en suelos deficientes en fósforo. Por otra parte, un exceso de este nutrimento puede perjudicar el crecimiento de las plantas, ya que induce deficiencias de micronutrientes como cinc y hierro.

El INPOFOS (1997), indica que los síntomas visuales de deficiencia, que no sean el crecimiento lento y la reducción en la producción, no son tan claros como los síntomas visuales de las deficiencias de nitrógeno y de potasio. En muchos cultivos la deficiencia de fósforo es difícil de detectar en el campo.

## **2.6. Fuentes de fósforo en agricultura orgánica**

Comparado con los demás nutrientes, la toma de fósforo por la planta, por la lenta difusión de éste, depende mucho más del tamaño del sistema radicular, de la densidad de los pelos radiculares y de la intensidad de sus ramificaciones que de la cantidad que se aporta, ya que durante el periodo de crecimiento de la planta es poco probable que el ión fosfato se mueva a más distancia que el diámetro de las raíces más activas, produciéndose marcadas zonas vacías cerca de las superficies de las raíces absorbentes (Ribó, 2004).

Es por ello que en los sistemas de agricultura sostenible hay que hacer especial mención al papel de las micorrizas en la asimilación de fosfato por la planta. La asociación micorrízica está basada en una relación simbiótica de un hongo con la planta, donde las hifas del hongo se extienden desde las raíces de la planta al suelo que las rodea, incrementando mucho la zona de absorción de las raíces. Además, la fina estructura del micelio puede ocupar poros más pequeños haciéndose más efectiva que los pelos radiculares a la hora de absorber agua y nutrientes. Esta aportación se realiza a cambio de hidratos de carbono sintetizados por la planta. Generalmente las micorrizas no se consideran importantes en los sistemas de agricultura convencional, pues se aplican grandes cantidades de fosfatos solubles, los cuales también inhiben la micorrización, pero no es así en los sistemas donde se busca la aplicación racional de los insumos, dada su función de aumentar la disponibilidad de fósforo asimilable para las plantas (Ribó, 2004).

Para incrementar el contenido en fósforo de los suelos, además de la aplicación de los abonos orgánicos se puede recurrir al uso de fuentes minerales. Los estiércoles han permitido aumentar hasta un 14% el contenido de fósforo de los suelos durante un periodo de 30 a 40 años con aplicaciones anuales de entre 5 y 11 t/ha de estiércol. La disponibilidad del fósforo contenido en el estiércol viene a ser del 60% en el año siguiente a su aplicación, y el resto contribuye a mantener a largo plazo las reservas del suelo (Lampkin, 1998).

Para incrementar el contenido en fósforo de los suelos, las prácticas que se suelen emplear en los sistemas que buscan la sostenibilidad son las siguientes (Ribó, 2004):

❖ **Acolchado.** Esta práctica optimiza la absorción de fósforo porque favorece el desarrollo radicular en las partes del suelo donde se concentran las sustancias en descomposición con el fósforo orgánico, y porque mantiene la superficie del suelo húmeda aumentando así el tiempo en que las raíces pueden absorber el fósforo o los iones fosfato.

- ❖ **Abonos verdes.** Con la disminución de pH que se produce en el suelo durante su descomposición, se propicia el aprovechamiento de formas menos asimilables de fósforo, con lo que aumenta su disponibilidad para el cultivo posterior.
  
- ❖ **Estiércoles.** Se ha conseguido aumentar hasta un 14% el contenido de fósforo de los suelos durante un periodo de 30 a 40 años con aplicaciones anuales de entre 5 y 11 t/ha de estiércol. La disponibilidad del fósforo contenido en el estiércol viene a ser del 60% en el año siguiente a su aplicación, y el resto contribuye a mantener a largo plazo las reservas del suelo (Lampkin, 1998).
  
- ❖ **Abonos minerales.** En situaciones de deficiencia de fósforo, se puede recurrir al uso de productos como la roca fosfatada o las escorias de roca de procesos industriales en los suelos ácidos y de fosfato alumínico cálcico (fosfal) para los suelos básicos. En agricultura ecológica está permitido el empleo de determinados fertilizantes minerales, que no hayan sufrido ningún proceso químico de síntesis y que estén contemplados en la normativa europea (R/CEE/ 2092/91). Son minerales naturales que se transforman por medios físicos en materiales aptos para ser aplicados como fertilizantes, pero su aplicación está justificada únicamente en caso de necesidad, como consecuencia de que no se pueda conseguir una nutrición adecuada con el aporte de enmiendas orgánicas. La necesidad de aplicar fertilizantes minerales al sistema debe estar reconocida por el organismo de control o la autoridad de control correspondiente, y se suele recomendar que se aporte junto a los residuos orgánicos que se vayan a aplicar en lugar de directamente en el suelo para reducir pérdidas y mejorar su disponibilidad.
  
- ❖ **Harina de huesos.** Las harinas de huesos provienen de los mataderos. Los huesos son triturados, desengrasados y limpiados. Finalmente molidos constituyen un NP orgánico. Si se eliminan las proteínas de la harina, se produce el abono que con mas frecuencia se utiliza, la harina de huesos desgelatinados. Este es un abono fosfatado (fosfato de Ca) de origen orgánico. Los abonos mezclados de harina de huesos y de cuernos (el N de cuerno, el P del hueso) son fertilizantes NP orgánicos, en función de su composición (Finck, 1998).

## 2.6.1. Roca fosfórica

### 2.6.1.1 Generalidades sobre las rocas fosfóricas

Se denomina roca fosfórica (FAO, 2007; Camacho, 2002), a las unidades litológicas y compuestos químicos que presentan alta concentración de minerales fosfatados por procesos naturales, usualmente de la serie apatito – francolita, es también el producto obtenido de la extracción de una mina y del procesamiento subsiguiente de los minerales fosfatados.

En un depósito mineral, el contenido de fosfato, se expresa como porcentaje de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ), el cual es un indicativo de la pureza del mismo. Los depósitos de RF más importantes son de origen sedimentario (UPME, 2005), seguidos por complejos ígneos alcalinos ricos en apatito  $[Ca_5(F,Cl,OH)-(PO_4)_3]$ , que representan una mezcla entre el fluorapatito  $[Ca_5(F)-(PO_4)_3]$ , hidroxiapatito  $[Ca_5(OH)(PO_4)_3]$  y cloroapatito  $[Ca_5(Cl)-(PO_4)_3]$  (Cantera, (2008).

Se incluyen como productos para utilizar en la agricultura orgánica los procedentes del Fosfato natural blando –producto definido por la Directiva 76/116/CEE del Consejo y modificado por la Directiva 89/284/CEE- que debe mantener un contenido en Cadmio inferior o igual a 90 mg/Kg de  $P_2O_5$ . El fosfato aluminio cálcico –producto definido por la Directiva 76/116/CEE del Consejo y modificado por la Directiva 89/284/CEE-, con un contenido en Cadmio inferior o igual a 90 mg/Kg de  $P_2O_5$ , estando su utilización limitada a los suelos básicos. Las escorias de defosforación, y todos ellos siempre que haya una necesidad reconocida por un organismo de control.

Los fertilizantes fosfatados que se obtienen en el mundo provienen de diferentes dispositivos minerales, de los cuales según Mc Kelvey (1977), se conocen aproximadamente 200 que contienen un 1 % y más de  $P_2O_5$ , pero la mayor parte del fósforo se encuentra en la corteza terrestre formando parte del grupo de las apatitas. En las rocas eruptivas y metamórficas el material fosfórico más abundante es la fluorapatita, pero en las fosforitas de origen sedimentario el portador típico de fósforo es el carbonato fluorapatita (Barroso, 1999).

La segunda forma de importancia en que se encuentra el fósforo en la litósfera es la presencia del mismo en las rocas sedimentarias silíceas donde este elemento sustituye al silicio en los tetraedros de óxido de silicio (Barroso, 1999).

Según INPOFOS (1988), el fosfato mineral es el material básico en casi toda la producción de fertilizantes fosforosos. Los depósitos de roca más importantes son materiales sedimentarios, que yacían en camas debajo del océano y que luego fueron llevados hacia arriba con la masa terrestre.

Las reservas mundiales conocidas de fosfato mineral son enormes, cerca de 100 mil millones de toneladas. Cerca de la mitad de éstas pueden ser recuperadas en forma económica para las condiciones de hoy en día. Esta cifra representa fosfato suficiente para satisfacer el consumo presente por cientos de años (Barroso, 1999).

Independientemente de la tendencia a la producción de fertilizantes fosfóricos de alta concentración derivado de los problemas energéticos que enfrenta la humanidad, así como de la falta de otras materias primas necesarias para la producción de los referidos fertilizantes se manifiesta una significativa tendencia a incrementar el empleo de las rocas fosfóricas naturales como fertilizantes (Barroso, 1999).

Sobre la efectividad agronómica del empleo de las rocas fosfóricas como fertilizantes ya brindaba información en el siglo pasado el científico ruso Enguefgord quien lo calificó como un fertilizante insuperable para los suelos de la zona norte de su país (Barroso, 1999).

Posteriormente se ha venido generalizando esta práctica reportándose por autores de diferentes latitudes resultados positivos en el rendimiento y la calidad de las cosechas por el empleo de las rocas fosfóricas (Barroso, 1999).

Anderson (1995), reporta que la roca fosfórica se usa exitosamente en muchas regiones del mundo como fuente de fósforo para fertilizar la caña de azúcar, pero tiene la

desventaja de ser insoluble cuando el pH del suelo es mayor de 5.5. Raun (1995), informa haber alcanzado buenos resultados en 33 localidades de Centro América en pruebas donde aplicó como fuente de fósforo roca fosfórica y superfosfato triple indistintamente sobre suelos de los órdenes Andosoles, Inceptisoles y Ultisoles cultivados con maíz.

### **2.6.1.2 Descripción de las rocas fosfóricas**

Las RF (UPME, 2005), se dividen en dos grupos importantes: las que albergan menas con apatito (rocas ígneas y metamórficas), y las que acumulan las menas sedimentarias llamadas fosforitas, principalmente como francolita y colofonita.

La fosforita, por otra parte se define como una formación sedimentaria compuesta por diferentes minerales (cuarzo, glaucomita, calcita, materiales arcillosos) y fosfatos, representados fundamentalmente por fluorapatito o minerales cercanos a él. Los fosfatos están representados por la variedad micro cristalina denominada francolita y la criptocristalina colofonita. El contenido de  $P_2O_5$  varía de 3 a 36 % (Cantera, 2008).

Las RF pueden ser utilizadas, ya sea como materia prima para la fabricación industrial de fertilizantes (fosfatos totalmente solubles en agua o parcialmente acidulados), o bien como fuentes de fósforo para la aplicación directa en la agricultura (Hammond y Day, 1992).

### **2.6.1.3 Experimentos realizados con roca fosfórica en caña de azúcar**

Estudios realizados por CENGICAÑA, en dos sitios, durante tres años en las Fincas Pantaleón y Finca Concepción en estrato alto de la región cañera, en suelos Andisoles de Pantaleón con pH de 5.81 y Concepción con pH de 6.82, evaluando dos fuentes de fósforo: Triple superfosfato (TSP) con 4 niveles y Roca Fosfórica (RF) con 4 niveles; dieron los siguientes resultados (Pérez, 2003).

La evaluación en plantilla indicó rendimientos favorables para la roca en pH más ácido del suelo y la menor efectividad de la roca fosfórica se observó en el ensayo de

Concepción en la cual funcionó mejor el TSP. Los efectos promedio de las aplicaciones de TSP y RF no fueron significativamente diferentes según el análisis estadístico. Sin embargo en el suelo Andisol de Concepción la diferencia a favor del TSP fue más evidente con una diferencia de 7.3 t/ha más respecto a la RF, alcanzando un efecto estadísticamente significativo a un nivel razonable de probabilidad ( $Pr > F: 0.07$ ).

En primera soca los mayores rendimientos se alcanzaron en ambos sitios con el tratamiento que recibió 200 kg de  $P_2O_5$ /ha con aplicaciones fraccionadas de 100 kg a la siembra y 100 kg en la primera soca. La aplicación de 200 kg de  $P_2O_5$ /ha fraccionada en dos ciclos en promedio resultó mejor pero sin ser estadísticamente diferente que la aplicación de 300 kg de  $P_2O_5$ /ha, aplicado todo al momento de la siembra. Los incrementos de caña alcanzados con la aplicación total a la siembra de 300 kg de  $P_2O_5$  respecto al testigo sin P fueron de 9.5 y 4.3 t/ha, respectivamente para Concepción y Pantaleón. En tanto que con una menor cantidad de P (200 t/ha), fraccionando la dosis en dos ciclos los incrementos observados fueron mayores con 14.2 y 7.2 t/ha. En ambos sitios se observó que tanto el TSP como la RF tuvieron efectos similares en la producción, medido como efectos residuales en el segundo año (primera soca), aunque en el caso de Concepción ( $pH > 6.0$ ) el efecto de la RF fue consistentemente menor que el efecto de TSP.

En la segunda soca la aplicación de P en la dosis más alta en promedio incrementó el rendimiento de caña en 6.1 y 7.1 t/ha con relación al testigo sin P en Concepción y Pantaleón respectivamente, evidenciando con ello que el P no está siendo tan limitante en estos suelos a pesar de tener muy bajos niveles de P de acuerdo al análisis. El TSP en promedio superó el efecto de la RF indicando una mayor eficiencia agronómica del TSP. Con un pH ácido de 5.8 el efecto de las dos fuentes fueron similares (Pérez, 2005).

En conclusión, la RF fue inferior al efecto del TSP en Concepción, pero fueron muy similares en Pantaleón. Estos resultados tienen congruencia con la diferencia de pH entre estos dos suelos. En Pantaleón con un pH más ácido (5.8) la RF presentó similar efecto que el TSP. Sin embargo, cuando el pH era de 6.2 en Concepción, se notó la

poca efectividad de la RF con respecto al TSP. La RF no debería de utilizarse en pH mayores que 5.8 (Pérez, 2005).

## **2.7 Importancia del potasio en caña de azúcar**

Altas concentraciones de K están presentes en los tejidos meristemáticos y en las células guardianes de las estomas. El K actúa como activador en el metabolismo de las proteínas y de muchas enzimas en el metabolismo de los carbohidratos. El ion  $K^+$  es en catión principal en el citoplasma y por lo tanto mantiene el balance de las cargas aniónicas. El K también interviene en el control de la turgencia de células especializadas. El K es un nutriente móvil dentro de la planta (Anderson y Bowen, 1994).

El potasio (K) es el tercer elemento más importante que requiere el cultivo para un mejor desarrollo ya que ayuda a la planta a mejorar su estructura celular, asimilación de carbono, fotosíntesis, síntesis de proteínas, formación de almidón, traslocación de proteínas y azúcares, absorción de agua por las plantas y el desarrollo normal de raíces (Pérez, 1996).

El potasio es muy importante en el metabolismo de carbohidratos, la formación de proteínas, la promoción de desarrollo de meristemas y el ajuste del movimiento de estomas. Las plantas que crecen en condiciones deficitarias de potasio no son muy eficaces en su actividad fotosintética, son más susceptibles a las enfermedades y no son tan resistentes a la sequía como aquellas que reciben suficientes cantidades de fertilizantes potásicos (Quintero y García, 1997).

Cuando el potasio entra en el sistema metabólico de las células, forma sales con los ácidos orgánicos e inorgánicos del interior de las mismas, que sirven para regular el potencial osmótico celular. El potasio interviene en los siguientes procesos: síntesis de azúcar y almidón, transporte de azúcares, síntesis de proteínas y estimulación enzimática (Marschner, 1995).

Las plantas absorben potasio en forma elemental ( $K^+$ ). Es un elemento muy móvil dentro de la planta e importante en la formación de aminoácidos y proteínas. Aunque no forma parte de los compuestos metabólicos, es necesario para el metabolismo de los carbohidratos, la síntesis de proteínas, el control y la regulación de las actividades de varios elementos esenciales, la neutralización de ácidos orgánicos, la activación de varias enzimas, en crecimiento de meristemas y el movimiento de los estomas. En la caña de azúcar el potasio regula las actividades de la invertasa, la peptasa y la catalasa (Tislade y Nelson, 1966).

El K generalmente es aplicado en el fondo del surco inmediatamente antes de la siembra. En socas debe aplicarse en banda e incorporarlo al suelo. Las pérdidas de K por lixiviación se consideran mínimas debido a su naturaleza catiónica; sin embargo, en suelos muy arenosos y con alta precipitación pluvial puede haber mayores pérdidas que justifiquen su fraccionamiento (Pérez, 1994).

### 2.7.1 Niveles de Potasio en el tejido foliar de caña de azúcar

En el cuadro 5. Se muestran los niveles críticos y adecuados de potasio a nivel de la hoja.

**Cuadro 5. Niveles críticos y adecuados de K (%) según el tejido y la edad de la hoja.**

<b>Peso Seco (%)*</b>	<b>Hoja o Tejido Usado</b>	<b>Edad Hoja (meses)</b>	<b>Corrección (Kg P/ha)</b>	<b>país o Estado</b>
0.62	0.62-1.45	3	99	Brasil
1.00	>1.50	1	165	Costa Rica
0.90	1.00-1.601,	sin nervadura. central	154	Florida
1.20	---	1	---	Guayana
0.42	0.42-0-56	Índice K-H <sub>2</sub> O**	0.330	Hawái
1.00	1.25-1.75	2	74	Louisiana
0.62	1.05-1.45	1	---	Maurisio
1.00	1.65-2.00	1	93-279	Puerto Rico
1.05	1.05-1.29	3	---	S. Dafrica
---	1.04-1.29	1	---	Texas

\*Resultados calculados en base a peso seco.

\*\* Índice K-H<sub>2</sub>O = Contenido de K en las vainas 1 a 4 expresado en base a peso húmedo.

Fuente: (Anderson y Bowen, 1994).

### **2.7.2 Síntomas de deficiencia de potasio en caña de azúcar**

Uno de los síntomas de deficiencia más comunes es el quemado en los bordes de las hojas. En la mayoría de las plantas este quemado aparece primero en las hojas más viejas; especialmente en las gramíneas. Los síntomas de deficiencia de K en caña de azúcar se caracterizan por un amarillamiento de las hojas, más intenso en el ápice y los márgenes que termina con el necrosamiento de las áreas afectadas y se presentan tallos más delgados (Pérez, 1994).

Las plantas que crecen en suelos deficientes en potasio presentan baja actividad fotosintética y son susceptibles a enfermedades y a estrés por sequía. Los síntomas de deficiencia de potasio en caña de azúcar se manifiestan como un marcado amarillamiento de las hojas, especialmente en el ápice y los márgenes, que termina con el necrosamiento de las áreas afectadas. En las hojas más viejas aparecen con frecuencia puntos cloróticos de color carmelita con el centro necróticos que puede invadir toda la lámina foliar (Martín, Galves, Armas, Espinosa, Vigoa, León, 1987). Las marcas rojizas que aparecen en las células epidermis de nervadura central de plantas con déficit de potasio, se deben al enrojecimiento de la sacaritina que es un constituyente de la lignina (Silva y Casagrande, 1983).

Las deficiencias de potasio hacen que las plantas crezcan lentamente presentando un sistema radicular con desarrollo pobre, los tallos son débiles el acame de las plantas es común. Las plantas presentan una resistencia baja a las enfermedades (Guerra, 2000).

Los bordes y puntas de las hojas presentan clorosis amarilla anaranjada; lesiones necróticas localizadas entre las venas pueden estar completamente cafés o con un aspecto “quemado”; tallos delgados; decoloración rojiza en la superficie superior de la nervadura central; las hojas jóvenes generalmente permanecen de color verde oscuro; hojas apicales inmaduras distorsionadas adquiriendo la apariencia de un abanico (Anderson y Bowen, 1994).

## 2.7.3 Fuentes de potasio permitidas en agricultura orgánica

### 2.7.3.1 Fuentes orgánicas de potasio

❖ **Estiércol y compost.** Debido a que estos materiales orgánicos son extremadamente variables (materias primas y manejo distintos), las concentraciones de K son muy variables. Los materiales orgánicos compostados son generalmente permitidos como fuente de nutrientes. Los residuos de corral crudos tienen restricciones en cuanto al momento de su aplicación, pero estos detalles dependen de la agencia de certificación. El K en estos materiales se encuentra mayormente en formas disponibles para las plantas, de manera similar a las fuentes inorgánicas aprobadas. Las repetidas aplicaciones de altas cantidades de residuos de corral pueden resultar en la acumulación de K en el suelo, lo que podría promover el consumo de lujo de K por la planta. Es necesario realizar un análisis químico de los residuos de corral y el compost para que el uso de estos recursos sea de máximo beneficio. Podría ser un ejercicio útil el considerar el origen de K presente en los residuos de corral y en el compost, ya que ni la digestión animal ni el compostaje producen nutrientes (Mikkelsen, 2008).

❖ **Cenizas de madera.** La ceniza de árboles de madera dura sirvió como una de las primeras fuentes de K para mejorar la fertilidad del suelo. Este es un material muy variable, compuesto por los elementos que se encontraban en la madera y que no se volatilizaron con la quema. La ceniza es un material alcalino, con pH entre 9 y 13, que tiene un efecto neutralizante de entre 80 y 90% del valor neutralizante de la cal comercial. Como fertilizante, la ceniza de madera tiene en promedio 0% de N, 1% de P y 4% de K, aproximadamente. El uso de ceniza derivada de la quema de estiércoles, biosólidos, carbón mineral y otras sustancias está prohibido en la producción orgánica. Se debe revisar con las organizaciones certificadoras antes de aplicar ceniza al suelo (Mikkelsen, 2008).

❖ **Algas.** Debido a que el agua de mar contiene un promedio de 0.4 g de K por litro, las algas pueden acumular K. Luego de cosechadas, la biomasa de las algas puede usarse directamente como K o se puede extraer el K soluble. Estas fuentes de K son rápidamente solubles y normalmente contienen menos del 2% de K. Si bien los productos derivados de algas son excelentes fuentes de K, la baja concentración y los altos costos de transporte pueden volver problemático su uso a nivel de campo, especialmente lejos del área de cosecha (Mikkelsen, 2008).

❖ **Estiércol.** La cantidad de potasio que poseen es muy variable y depende fundamentalmente del contenido de paja que tengan y de las posibles pérdidas de este nutriente que se hayan producido durante el proceso de almacenamiento. Al igual que en el fósforo, lo más probable es que el 60% del potasio se encuentre disponible para el cultivo del año siguiente a su aplicación (Lampkin, 1998).

❖ **Acolchados.** Los materiales que se suelen emplear, como la hierba seca y la paja, son importantes fuentes de potasio. Sin embargo el contenido en el resto de nutrientes es mucho más bajo, por lo que hay que tenerlo en cuenta para evitar posibles deficiencias (Lampkin, 1998).

### 2.7.3.2 Fuentes minerales de K en agricultura orgánica

❖ **Sulfato doble de potasio y magnesio (sulpomag) SULPOMAG.** (22%  $K_2O$  - 18%  $MgO$  - 22% S). Contiene 22% de potasio, 18% de magnesio y 22% de azufre, con ello está suministrando tres nutrientes vitales para la planta. Es adecuado para los diferentes tipos de suelos y en cultivos anuales. Es un fertilizante soluble en agua. (Ramírez, 2010). Este material ( $K_2SO_4MgSO$ ) se permite como fuente de nutrientes si se utiliza en su forma natural y si solamente ha pasado por un proceso de purificación. Este es un excelente producto aprobado para producción de cultivos orgánicos. Normalmente la Langbeinita contiene 18% de K, 11% de Mg y 22% de S en formas rápidamente disponibles para la absorción por las plantas. La principal mina de Langbeinita en América de Norte está ubicada en Nuevo México (Mikkelsen, 2008).

- ❖ **Sulfato de Potasio.** Se permite utilizar  $K_2SO_4$  en la producción de cultivos orgánicos cuando éste proviene de fuentes naturales. La mayoría de la producción actual de  $K_2SO_4$  aprobado para uso orgánico en América del Norte proviene del Gran Lago de Sal en Utah. El material no debe pasar por procesos de purificación más allá de la trituración y cernido. El uso de este producto no es permitido en algunos países europeos sin permisos especiales de la agencia de certificación. Contiene aproximadamente 40% de K y 17% de S (Mikkelsen, 2008).
  
- ❖ **Silvinita (Cloruro de potasio, KCL).** El KCl tiene uso restringido según los estándares del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés), a menos que se trate de un material extraído directamente de una mina (como la silvinita) y que no haya sufrido otros procesos. Se debe aplicar de una manera que minimice la acumulación de Cl en el suelo. Generalmente, solo debe usarse KCl después de consultar con la agencia certificadora. La silvinita sin procesar normalmente contiene aproximadamente 17% de K (Mikkelsen, 2008).
  
- ❖ **Rocas en polvo.** Se permite sin restricciones el uso de rocas minadas como grava. Biotita, mica, feldestato, granito y arena verde. Existe una tremenda variabilidad en la tasa de liberación de K de estas fuentes minerales. Algunos de estos materiales son completamente inapropiados como fuentes de K para la nutrición de plantas, debido a su limitada solubilidad y a su peso y volumen, mientras que otros tendría valor a muy largo plazo. En general, un tamaño menor de partícula permite una mayor área superficial, reactividad y tasa de meteorización. Se debe obtener información específica para cada material antes de usarlo (Mikkelsen, 2008).

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 3.1. Definición del problema y Justificación del trabajo

El manejo orgánico de los cultivos presenta serias dificultades para alcanzar rendimientos similares a los cultivos bajo manejo convencional. Esto es debido a las restricciones de la agricultura orgánica en cuanto al uso de fuentes de nutrientes para suplir los requerimientos de las plantas.

Alta respuesta en producción con la aplicación de fertilizantes fosforados y potásicos han sido encontrados en el cultivo convencional de caña de azúcar, en sitios con bajos niveles de estos elementos, pero la investigación dirigida a agricultura orgánica en este cultivo es escasa en nuestro medio, como también el conocimiento de las fuentes naturales que podrían ser utilizadas.

Ya que los productos orgánicos son de gran aceptación y alcanzan mejores precios en el mercado internacional, algunos productores se han orientado a este tipo de producción, la mayoría utilizando abonos orgánicos que no resultan suficientes para suplir la demanda de fósforo y potasio. En otros casos, los productores desconocen qué fuentes podrían utilizar para el manejo de la nutrición orgánica. De esta forma, se dejan de aplicar nutrientes esenciales provocando el consumo de las reservas del suelo, la pérdida de la fertilidad y el bajo rendimiento, cayendo en un sistema de producción ineficiente, poco rentable a pesar de los mejores precios obtenidos y que en el largo plazo puede llegar a afectar la capacidad productiva del suelo.

Con la finalidad de identificar alternativas naturales para el suministro de fósforo y potasio en un sistema de agricultura orgánica, en el presente estudio se propone evaluar el uso de dos fuentes de nutrientes (Roca fosfórica y Sulpomag) solas ó combinadas para determinar el efecto sobre el rendimiento de caña de azúcar y la factibilidad económica del uso de dichas fuentes.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1 General**

Contribuir al desarrollo tecnológico de la agricultura orgánica en nuestro medio, al evaluar el efecto de fuentes de fósforo y potasio sobre el rendimiento de caña de azúcar con fines de producción de panela orgánica.

### **4.2 Específicos**

Determinar el efecto sobre el rendimiento de caña de azúcar y el crecimiento de la planta, en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de fósforo y potasio, a partir de fertilizantes minerales permitidos en agricultura orgánica.

Determinar el efecto de los tratamientos sobre la concentración de nutrientes foliares y contenido de sacarosa en el jugo de la caña.

## **V. HIPÓTESIS**

Al menos uno de los tratamientos a evaluar incrementará el rendimiento de la caña de azúcar y el crecimiento de la planta.

Por lo menos en uno de los tratamientos a evaluar, la concentración de nutrientes en las hojas y el contenido de sacarosa en el jugo de la caña será mayor.

## VI. METODOLOGÍA

### 6.1 Localización del trabajo

El experimento se llevó a cabo en la finca de Agropecuaria El Tesoro, situada en el municipio de Santa Bárbara, Suchitepéquez. El Municipio está localizado en la Costa Sur y limita al Norte con Chicacao (Suchitepéquez) y Santiago Atitlán (Sololá); al Este con Patulul y San Juan Bautista (Suchitepéquez); al Sur con Rio Bravo y San Juan Bautista (Suchitepéquez); y al Oeste con Rio Bravo y Chicacao (Suchitepéquez). El clima es cálido, la temperatura media es de 27 °C. La precipitación pluvial es abundante, aproximadamente 3,248 mm, distribuidos durante los meses de mayo a octubre, mientras que en los meses de noviembre a abril se considera una época seca.

### 6.2 Material experimental

Cultivo de caña de azúcar (2<sup>o</sup>. Año de cultivo)

Fertilizante a base de roca fosfórica

Fertilizante a base de sulfato doble de potasio y magnesio

Abono orgánico, como fuente de N y otros elementos.

### 6.3 Factores estudiados

Factor A: Niveles de fósforo ( $P_2O_5$  kg/ha)

Factor B: Niveles de potasio ( $K_2O$ , kg/ha)

### 6.4. Descripción de los tratamientos

Los tratamientos evaluados se generaron a partir del factor  $3 \times 4$  (3 niveles de  $P_2O_5$  y 4 niveles de  $K_2O$ ). En el cuadro 6 se muestra la descripción de los mismos.

**Cuadro 6. Tratamientos evaluados.**

Tratamiento	Niveles de P (kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha.)	Niveles de K (kg de K <sub>2</sub> O /ha.)
T 1	0	0
T 2	0	40
T 3	0	80
T 4	0	120
T 5	30	0
T 6	30	40
T 7	30	80
T 8	30	120
T 9	60	0
T 10	60	40
T 11	60	80
T 12	60	120

Nota: Los fertilizantes empleados fueron autorizados para uso en el ensayo, ya que pueden ser utilizados en agricultura orgánica siempre y cuando provengan de una fuente natural. Para suministrar nitrógeno y otros nutrientes, todos los tratamientos, recibieron abono orgánico tipo lombricompost a razón de 0.25 Kg/metro lineal (aproximadamente 2 t/ha). El fósforo y potasio contenido en el abono orgánico no fue contabilizado como fuente de estos nutrientes, por considerar que las cantidades aportadas fueron mínimas y por haber sido aplicados a todos los tratamientos en cantidad igualitaria.

El abono orgánico y el fósforo, así como el 40 % del potasio se aplicaron 15 días después del corte de la caña y el 60 % del potasio a los seis meses después de la primera aplicación.

### 6.5. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue en bloques completos al azar, en un arreglo factorial 3 x 4, con 12 tratamientos y en tres repeticiones.

### 6.6. Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = U + A_i + B_j + A_iB_j + R_k + E_{ijk}$$

**Donde:**

- ❖  $Y_{ijk}$  = variable de respuesta
- ❖  $U$  = Media general
- ❖  $A_i$  = efecto del  $i$ -ésimo nivel del fósforo
- ❖  $B_j$  = efecto del  $j$ -ésimo nivel del potasio
- ❖  $A_iB_j$  = efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo nivel del fósforo y  $j$ -ésimo nivel de potasio
- ❖  $R_k$  = Efecto de la  $k$ -ésima repetición
- ❖  $E_{ijk}$  = Efecto del error experimental asociado a la  $ijk$ -ésima unidad experimental

**6.7. Unidad experimental**

Cada unidad experimental fue constituida por 5 surcos de 10 metros de largo, distanciados 1.35 m entre sí, lo cual equivale a un área de  $67.5 \text{ m}^2$ . La parcela neta estaba constituida por 3 surcos centrales para la medición de las variables evaluadas, es decir se eliminaran los surcos 1 y 5 para disminuir el efecto de borde, quedando entonces constituida la parcela neta por  $40.5 \text{ m}^2$ .

**6.8. Croquis de campo**

<b>Repetición 1</b>	<b>T 6</b>	<b>T 5</b>	<b>T 9</b>	<b>T 11</b>	<b>T 7</b>	<b>T 12</b>	<b>T 4</b>	<b>T 10</b>	<b>T 8</b>	<b>T 3</b>	<b>T 2</b>	<b>T 1</b>
<b>Repetición 2</b>	<b>T 12</b>	<b>T 2</b>	<b>T 11</b>	<b>T 4</b>	<b>T 6</b>	<b>T 10</b>	<b>T 7</b>	<b>T 5</b>	<b>T 9</b>	<b>T 8</b>	<b>T 1</b>	<b>T 3</b>
<b>Repetición 3</b>	<b>T 5</b>	<b>T 7</b>	<b>T 8</b>	<b>T 11</b>	<b>T 1</b>	<b>T 4</b>	<b>T 10</b>	<b>T 12</b>	<b>T 3</b>	<b>T 9</b>	<b>T 6</b>	<b>T 2</b>

## 6.9. Manejo del experimento

El experimento se llevó a cabo en el segundo año del cultivo de caña de azúcar. Al inicio se identificó el área experimental y se delimitó marcando cada tratamiento con el número correspondiente.

Se realizó una limpia manual antes de la fertilización de la soca para asegurar que el cultivo estuviera completamente limpio al momento de la fertilización y así evitar que las malezas fueran beneficiadas con los nutrientes.

La primera aplicación de fósforo y potasio se realizó a los 15 días después del corte de la caña. Se aplicó el abono orgánico y el fósforo, así como el 40 % del potasio. El 60% del nivel de potasio se realizó a los seis meses después de la primera aplicación.

La cosecha se realizó en forma manual a los 24 meses de edad, asignándole una unidad experimental a cada cortador y se tomaron los datos respectivos.

## 6.10. Variables de respuesta

### ❖ Rendimiento de caña (t/ha)

Al momento de la cosecha se procedió a cortar la caña de los 3 surcos centrales de cada unidad experimental. Esta caña así obtenida fue agrupada en maletas, las cuales se pesaron utilizando una balanza, determinando el rendimiento de caña en kg por parcela. Con estos datos se procedió a realizar las conversiones necesarias para obtener el rendimiento de caña expresado en toneladas métricas de caña por hectárea (t/ha).

### ❖ Altura de planta

Para las lecturas esta variable se tomaron 5 plantas al azar de cada surco, para sumar un total de 15 plantas por parcela neta. La medición se efectuó desde el

nivel del suelo hasta el último nudo visible (lígula). La unidad de medida utilizado fue en centímetros y con los datos obtenidos de las 15 plantas se calculó un valor promedio, al final del experimento.

#### ❖ **Número de tallos**

Esta variable se obtuvo contando el número de tallos al final de la cosecha en la parcela neta; dicho conteo incluyo la totalidad de tallos presentes en cada uno de los surcos, obteniendo un promedio de los mismos; los resultados finales se expresaran como tallos/ha.

#### ❖ **Diámetro de tallos ( cm )**

La lectura se realizó a los 6 meses de edad del cultivo y para llevar a cabo las mismas se utilizó un vernier graduado en cm. El procedimiento consistió en tomar 15 tallos por cada unidad experimental, la lectura se realizó en el centro del entrenudo que este localizado a 1 metro de la altura de la superficie del suelo, registrándose el valor promedio de diámetro representativo de la unidad.

#### ❖ **Concentración de fósforo y potasio foliar**

Para la determinación de estas variables se tomó aleatoriamente cinco hojas de la parcela neta, las hojas estaban localizadas en la última lígula o cuello visible de la planta. Luego de seleccionar y cortar las hojas, las mismas se segmentaran en 3 partes similares, y se tomó para la muestra final el tercio medio, al cual previamente se le eliminará la nervadura central. Estas muestras fueron analizadas químicamente en el Laboratorio Agronómico de CENGICAÑA, de acuerdo a los procedimientos establecidos para ello.

### ❖ **Concentración de sacarosa**

Ocho días previos a la cosecha se efectuó un muestreo de caña, el cual consistió en tomar al azar 2 tallos molederos en cada uno de los 3 surcos centrales de las unidades experimentales, de tal manera que las muestras por, unidad experimental neta estaban constituidas de 6 tallos. La concentración de sacarosa se midió con Refractómetro.

## **6.11. Análisis de la información**

### **6.11.1. Análisis estadístico**

Las variables evaluadas fueron sometidas a análisis de varianza. Al encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, se procedió a realizar la prueba de medias de Tukey (0.05). La información también se analizó de forma gráfica y descriptiva.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSION

En los cuadro 7 se observan los resultados promedio de las variables en estudio, en respuesta a los 12 tratamientos aplicados y posteriormente se discute cada una de ellas.

**Cuadro 7. Resultados promedio de variables estudiadas en caña de azúcar (t/ha) en respuesta a los tratamientos aplicados.**

Tratamiento	Nivel de P (Kg/ha)	Nivel de K (Kg/ha)	Altura de planta (m)	Diámetro de tallo (cm)	Número de tallos/ parcela	Rendimiento de caña (t/ha)	Sacarosa (%)
1	0	0	3.17	2.36	493	10.15	21.86
2	0	40	2.82	2.40	560	16.70	21.47
3	0	80	3.21	2.39	626	17.19	20.97
4	0	120	2.70	2.39	460	14.24	20.78
5	30	0	2.87	2.36	486	9.60	21.84
6	30	40	2.80	2.29	550	15.42	21.62
7	30	80	2.76	2.48	565	15.56	21.51
8	30	120	2.99	2.33	653	20.02	22.19
9	60	0	3.40	2.46	626	17.32	20.96
10	60	40	3.05	2.44	593	19.08	22.15
11	60	80	2.82	2.42	603	21.73	20.69
12	60	120	2.72	2.40	626	19.80	22.32

### Altura de plantas

La altura de plantas a los 10 meses después de la aplicación del fertilizante varió en el rango de 2.70 a 3.40 m. Se puede apreciar que la menor altura de planta se obtuvo en el tratamiento 4 consistente en la mayor aplicación de potasio ( $K_2O$  120 kg/ha) y sin aplicación de fósforo, y la mayor altura de planta corresponden al tratamiento 9 siendo el nivel más alto de fósforo ( $P_2O_5$  60 kg/ha) sin aplicación de potasio. El tratamiento sin aplicación de fósforo y potasio estuvo cercano al tratamiento 9, lo que es un indicador de la falta de respuesta del cultivo a las aplicaciones de los nutrientes. Esto fue confirmado en el análisis de varianza en el cual se muestra que no hubo diferencias

significativas, por efecto de las aplicaciones. La explicación a este comportamiento radica en que la reserva del suelo fue suficiente para cubrir las necesidades de la planta hasta el momento en que se tomaron las muestras. Como se observa, en el cuadro 19, el análisis del suelo reveló buen contenido de materia orgánica y contenido de potasio adecuado, alrededor de 230 kg/ha, lo que debe haber incidido en la baja respuesta y no significancia entre tratamientos.

**Cuadro 8. Análisis de la varianza para la variable altura de planta (cm) en respuesta a los tratamientos aplicados.**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
Tratamientos	1.62	11	0.15	1.53	0.1863	Ns
Nivel de P	0.14	2	0.07	0.73	0.4940	Ns
Nivel de K	0.57	3	0.19	1.96	0.1462	Ns
Nivel de P*Nivel de K	0.91	6	0.15	1.57	0.1980	Ns
Error	2.32	24	0.10			
Total	3.94	35				

C. V. = 10.56

**Ns** = Diferencia no significativa.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza general (cuadro 8) indican que para la variable altura de planta no existieron diferencias estadísticamente significativas entre cada tratamiento, lo que indica que ninguna de las dosis aplicadas de fósforo o potasio fue suficiente para promover el desarrollo de la planta en comparación al tratamiento 1, que fue el testigo. La falta de respuesta en la aplicación de fósforo, a pesar de haberse encontrado bajos niveles de P en el análisis de suelo, puede estar relacionada al tipo de fuente empleada donde el P en la forma de roca fosfórica no es fácilmente disponible, particularmente en suelos de pH neutro como en el caso de esta finca (ver resultados del análisis de suelo, pág. 49).

### **Diámetro de tallo**

Se puede apreciar en el cuadro 7, que la variable diámetro de tallo varió en el rango de 2.29 a 2.48 cm, dato tomado a los 3 y medio meses, después de la aplicación del fósforo y después de un mes y medio de la aplicación del potasio. Los menores valores

se obtuvieron con el tratamiento 6 correspondiente a la aplicación de 30 kg/ha de  $P_2O_5$  y 40 kg/ha de  $K_2O$ . El mayor valor fue obtenido con el tratamiento 7 que corresponde a la aplicación de 30 kg/ha de  $P_2O_5$  y 80 Kg/ha de  $K_2O$ .

En el (cuadro 9) se presentó el análisis de varianza, para la variable diámetro de tallo el cual demuestra que no existieron diferencias significativas para esta variable debidas al efecto de ninguno de los tratamientos aplicados, por lo cual no fue necesario realizar pruebas de medias, confirmando que ninguno de los niveles de fósforo y potasio fueron suficientes para promover el diámetro del tallo, posiblemente por la baja disponibilidad de fósforo de la fuente aplicada.

**Cuadro 9. Análisis de la varianza para la variable diámetro de tallo (cm) en respuesta a los tratamientos aplicados.**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	
Tratamientos.	0.10	11	0.01	0.80	0.6391	Ns
Nivel de P	0.03	2	0.01	1.20	0.3197	Ns
Nivel de K	0.02	3	0.01	0.51	0.6778	Ns
Nivel de P*Nivel de K	0.05	6	0.01	0.81	0.5709	Ns
Error	0.26	24	0.01			
Total	0.36	35				

C. V. = 4.38

**Ns** = Diferencia no significativa.

### **Número de tallos por parcela**

Los resultados para la variable número de tallos por parcela variaron en el rango de 460 a 653, dato tomado a los 10 meses después del corte. De acuerdo al análisis de varianza para esta variable (cuadro 10), existieron diferencias significativas entre tratamientos. La significancia fue evidente debido al efecto del fósforo pero no así para el potasio. También se detectó significancia para la interacción del fósforo y potasio.

**Cuadro 10. Análisis de la varianza para variable diámetro de tallo (cm) en respuesta a los tratamientos aplicados.**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	131024.89	11	11911.35	3.58	0.0044 **
Nivel de P	36824.22	2	18412.11	5.53	0.0106 *
Nivel de K	18896.89	3	6298.96	1.89	0.1581 Ns
Nivel de P*Nivel de K	75303.78	6	12550.63	3.77	0.0088 **
Error	79944.00	24	3331.00		
Total	210968.89	35			

\*\* = Diferencia altamente significativa.

\* = Diferencia significativa.

**Ns** = Diferencia no significativa.

En base a las diferencias significativas detectadas se presenta a continuación la prueba de medias para los niveles de P y para el total de tratamientos. En el cuadro 11 se observa que el nivel de 60 Kg/ha de fósforo presentó el mayor número de tallos, mientras que la no aplicación de fósforo resultó en el menor número.

**Cuadro 11. Prueba de medias (Tukey) para la variable número de tallos en respuesta a la aplicación de P.**

Niveles de P	Medias	
60	612.50	A
30	563.83	A B
0	535.00	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Según el cuadro 11, el nivel de 30 kilogramos de fósforo ( $P_2O_5$ /ha) fue similar al mejor tratamiento, pero también similar al testigo, lo que dificulta la interpretación de este nivel sobre el número de tallos. Sin embargo, los resultados indican que hubo una respuesta importante del fósforo sobre la brotación de tallos, pues si bien las plantas no mostraron diferencias en altura de plantas y diámetro de tallo, el fósforo en el nivel más alto aplicado llegó a influenciar el número de tallos. Sin embargo, la falta de respuesta en relación al crecimiento (altura y diámetro de tallos) puede estar relacionada a otros elementos limitantes durante el crecimiento, ya que de antemano se consideró que la cantidad de abono orgánico aplicado, no sería suficiente para suplir todos los nutrientes en las cantidades necesarias, como para promover el crecimiento y engrosamiento de los tallos.

En el cuadro 12 se puede observar que el menor número de tallos se obtuvo en el tratamiento 4, sin aplicación de fósforo y la mayor dosis de potasio, mientras que el mayor número de tallos se obtuvo en el tratamiento 8 consistente en 30 kg de  $P_2O_5$ /ha y 120 kg de  $K_2O$  /ha, demostrando la interacción que hay entre estos dos nutrientes en el desarrollo de las plantas. Debido a que el potasio por sí mismo, no afectó el número de tallos, el tratamiento sin fósforo y con 120 kg/ha de potasio, presentó el más bajo número de tallos,

**Cuadro 12. Prueba de medias (Tukey) para la variable número de tallos en respuesta a la aplicación de los tratamientos combinados de P y K.**

Tratamiento	Niveles de P	Niveles de K	Medias	
8	30	120	653.33	A
9	60	0	626.67	A B
3	0	80	626.67	A B
12	60	120	626.67	A B
11	60	80	603.33	A B
10	60	40	593.33	A B
7	30	80	565.33	A B
2	0	40	560.00	A B
6	30	40	550.00	A B
1	0	0	493.33	A B
5	30	0	486.67	A B
4	0	120	460.00	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

La dosis de 0 y 60 kilogramos de fósforo ( $P_2O_5$ /ha) combinado con 80 y 120 kilogramos de potasio ( $K_2O$  /ha), mostraron un comportamiento similar entre ellos para la variable número de tallos, no así para en tratamiento de 0 kilogramos de fósforo ( $P_2O_5$ /ha) y 120 kilogramos de potasio ( $K_2O$  /ha) que fue inferior, como ya se mencionó anteriormente.

## Rendimiento de caña/ha

El rendimiento de caña varió en el rango de 9.60 a 21.73 t/ha, valores que se consideran muy por debajo del rendimiento de caña en sistema convencional. Esto es debido en parte, a que la aplicación de nutrientes ha sido limitante por varios años, basados más en el contenido de nutrientes del suelo y en bajos aportes de materia orgánica. Además, en este caso, el rendimiento fue afectado por demora en el corte y tallos fibrosos que fueron descartados al momento de tomar el peso total en cada parcela. La demora en el corte fue debida a que la producción de panela fue interrumpida por situaciones de mercado, lo que provocó pérdidas por senescencia de tallos.

En el cuadro 13 se muestra que existieron diferencias estadísticas altamente significativas (menor a 0.01), para la variable rendimiento de caña en T/ha, los cuales fueron causados por efectos del fósforo y potasio, aunque no para la interacción, como se observa en el cuadro 13.

**Cuadro 13. Análisis de la varianza para la variable rendimiento de caña (T/ha) en respuesta a los tratamientos aplicados.**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	460.57	11	41.87	4.28	0.0014 **
Nivel de P	173.01	2	86.50	8.84	0.0013 **
Nivel de K	202.80	3	67.60	6.91	0.0016 **
Nivel de P*Nivel de K	84.76	6	14.13	1.44	0.2397 Ns
Error	234.93	24	9.79		
Total	695.50	35			

\*\* = Diferencia altamente significativa.

Ns = Diferencia no significativa.

En base a las diferencias significativas detectadas se presenta a continuación la prueba de medias para los niveles de fósforo, potasio y para el total de tratamientos. En el cuadro 14, puede observarse que el nivel de 60 kg/ha de fósforo fue el mejor para la obtención de mayor rendimiento de caña en comparación al testigo 0 y a la aplicación de 30 kg/ha. Mientras tanto, en el cuadro 15 se observa que los niveles de potasio

fueron superiores al testigo, pues con todos los niveles a partir de 40 kg/ha se produjo el mayor rendimiento.

**Cuadro 14. Prueba de medias (Tukey) para la variable en respuesta a la aplicación de fósforo ( $P_2O_5$ ).**

Niveles de P	Medias	
60	19.48	A
30	15.15	B
0	14.57	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

**Cuadro 15. Prueba de medias (Tukey) para la variable rendimiento caña/ha en respuesta a la aplicación de potasio ( $K_2O$ ).**

Niveles de K	Medias	
80	18.16	A
120	18.02	A
40	17.07	A
0	12.35	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

En el cuadro 16 se presenta la prueba de medias, mostrando la totalidad de los tratamientos. Los mayores resultados en el rendimiento fueron obtenidos en los tratamientos 11, 8, 12 destacándose aquí la importancia de la aplicación del fósforo y potasio en forma combinada y en niveles que pueden ser relativamente altos si se considera el bajo contenido de estos elementos en el suelo, particularmente fósforo que se encuentra muy por debajo de un nivel crítico para caña de azúcar. (Ver: Análisis de suelo, pág. 49).

**Cuadro 16. Prueba de medias (Tukey) para la variable rendimiento de caña (t/ha) en respuesta a la aplicación de los tratamientos combinados de fósforo y potasio.**

Tratamiento	Niveles de P	Niveles de K	Medias	
11	60	80	21.73	A
8	30	120	20.02	A
12	60	120	19.80	A
10	60	40	19.08	A B
9	60	0	17.32	A B C
3	0	80	17.19	A B C
2	0	40	16.70	A B C
7	30	80	15.56	A B C
6	30	40	15.42	A B C
4	0	120	14.24	A B C
1	0	0	10.15	B C
5	30	0	9.60	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

En el cuadro 16, se puede observar que los tratamientos evaluados se comportaron de diferente manera, formándose tres grupos estadísticos, en donde el tratamiento de 60 kilogramos de fósforo ( $P_2O_5$ ) /ha combinado con 80 y 120 kilogramos de potasio ( $K_2O$ ) /ha, así como la aplicación de 30 kilogramos de fósforo ( $P_2O_5$ ) /ha en combinación con 120 kilogramos de potasio ( $K_2O$ ) /ha resultaron tener los mejores resultados, mientras que el tratamiento 30 kilogramos de fósforo ( $P_2O_5$ ) /ha y 0 kilogramos de potasio ( $K_2O$ ) /ha, presentó el menor rendimiento por hectárea, aún más bajo que el tratamiento testigo donde no hubo aplicación de P y K.

Los bajos rendimientos de caña encontrados en todos los tratamientos, aun en los tratamientos con respuesta a la fertilización fosforada y potásica, pueden explicarse en función de las deficiencias de nutrientes en el suelo. Tales deficiencias pueden haber sido inducidas por la extracción de nutrientes en las cosechas previas y por causa de la deficiente aplicación de nutrientes en forma orgánica, ya que este manejo ha prevalecido durante el proceso de conversión de agricultura convencional a orgánica, siendo la finalidad la producción de panela orgánica.

## Porcentaje de sacarosa

El porcentaje de sacarosa los 10 meses después de la aplicación del fertilizante varió en el rango de 20.69 a 22.32 grados brix. En el cuadro 17 se presenta el análisis de varianza para esta variable.

**Cuadro 17. Análisis de la varianza para la variable porcentaje de sacarosa en respuesta a los tratamientos aplicados.**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10.70	11	0.97	0.44	0.9216 Ns
Nivel de P	1.63	2	0.81	0.37	0.6961 Ns
Nivel de K	2.93	3	0.98	0.44	0.7253 Ns
Nivel de P*Nivel de K	6.15	6	1.02	0.46	0.8287 Ns
Error	53.10	24	2.21		
Total	63.81	35			

**Ns** = Diferencia no significativa.

En el cuadro 17 se observa que para la variable porcentaje de sacarosa no existieron diferencias significativas ni por efecto del fósforo, ni del potasio ni de la interacción, por lo cual no fue necesario realizar pruebas de medias. Estos resultados vienen a confirmar que los niveles aplicados aunque promovieron rendimiento de caña, no influenciaron la concentración de azúcares en consecuencia de otros elementos que pudieron estar limitando el metabolismo de los azúcares, entre ellos el calcio y boro.

## Concentración de fósforo y potasio foliar

Para la determinación de estas variables se tomaron aleatoriamente cinco hojas de cada parcela neta. Con ellas se hizo una muestra compuesta correspondiente a cada tratamiento. Para el muestreo las hojas TDV se cortaron y segmentaron en 3 partes similares, tomando el tercio medio sin la nervadura central:

Las muestras fueron analizadas químicamente en el Laboratorio Agronómico de CENGICAÑA, de acuerdo a los procedimientos establecidos para ello. Los resultados promedio de la composición química de la hoja, se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 18. Análisis químico de las muestras foliares compuestas, hojas TDV de caña de azúcar, de cada tratamiento.**

Trat.	Nivel de P Kg/ha	Nivel de K Kg/ha	N	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Fe	Mn
			-----%-----					-----ppm-----			
T 1	0	0	1.26	0.33	0.10	0.37	0.14	4.16	11.17	44.58	21.60
T 2	0	40	1.09	0.26	0.07	0.62	0.12	5.44	9.84	33.08	21.29
T 3	0	80	1.14	0.28	0.07	0.31	0.11	6.17	9.23	33.32	22.94
T 4	0	120	1.29	0.29	0.09	0.53	0.11	4.87	11.27	37.54	22.84
T 5	30	0	1.43	0.27	0.15	0.69	0.15	3.76	12.98	43.67	25.71
T 6	30	40	1.34	0.25	0.10	0.46	0.12	3.93	11.11	38.15	25.03
T 7	30	80	1.49	0.25	0.11	0.72	0.14	5.26	12.25	67.49	23.71
T 8	30	120	1.12	0.23	0.10	0.45	0.11	4.56	12.05	45.03	22.94
T 9	60	0	1.30	0.19	0.09	0.43	0.14	4.14	10.58	42.53	22.83
T 10	60	40	1.20	0.22	0.07	0.75	0.14	4.51	13.40	43.43	25.63
T 11	60	80	1.41	0.14	0.08	0.84	0.12	4.08	12.56	41.97	24.61
T 12	60	120	1.15	0.19	0.09	0.16	0.12	3.65	11.39	35.42	24.13

Los resultados observados en el cuadro 18, correspondiente a fósforo y potasio foliar, mostraron gran variación entre los tratamientos. Así, el rango de potasio foliar encontrado estuvo entre 0.16 % para el tratamiento 12 y 0.84 para el tratamiento 11, el cual se mostró también como el de mayor rendimiento de caña. En el caso de fósforo foliar la concentración del elemento en la hoja varió entre 0.11 y 0.14. Debido a que estas muestras no fueron analizadas en sus repeticiones, no fue posible efectuar el análisis de varianza.

Los bajos contenidos de fósforo y potasio encontrados, están muy por debajo de los niveles óptimos reportados para caña de azúcar. Las razones de este comportamiento se explican por el hecho de que las muestras de hoja fueron tomadas en una etapa cercana a la cosecha donde posiblemente ya las hojas se encontraban en fase de senescencia pero además, estos resultados pueden reflejar el hecho de la falta de otros nutrientes, toda vez que el cultivo se ha manejado en forma orgánica pero con niveles de aplicación de materia orgánica y fuentes minerales muy escasas. Este manejo se

reflejó no solo en los bajos rendimientos de caña en comparación al sistema convencional sino al mismo tiempo, ha quedado demostrado que la aplicación de dos nutrientes no es suficiente para mejorar el comportamiento agronómico del cultivo quedándose en un nivel muy por debajo de su potencial de producción.

## VIII. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos y bajo las condiciones donde se realizó la investigación, se concluye lo siguiente:

No existen diferencias estadísticas significativas en la altura de planta sobre el efecto de interacción de los factores evaluados entre fósforo y potasio en ninguno de los niveles evaluados, pero se observó que en los resultados promedios existió una tendencia en donde el fósforo en el nivel de 60 kg/ha, mostró un efecto positivo sobre esta variable.

No existieron diferencias estadísticas significativas en la variable diámetro de tallo para ninguno de los tratamientos evaluados, pero se observó que en los resultados promedios se obtuvo una tendencia en donde el mayor valor fue obtenido con la aplicación de 30 kg/ha de  $P_2O_5$  y 80 Kg/ha de  $K_2O$ .

En la variable número de tallos existió significancia estadística en la interacción de fósforo y potasio encontrándose los mejores resultados en el tratamiento con 30 kg/ha de  $P_2O_5$  y 120 kg/ha de  $K_2O$ , demostrándose un efecto importante de la nutrición con estos dos elementos en el desarrollo vegetativo de la caña.

El rendimiento de caña fue positivamente afectado por la aplicación combinada de fósforo y potasio ya que la aplicación de 60 kg/ha de  $P_2O_5$  en combinación con 80 ó 120 Kg/ha de  $K_2O$  resultaron en rendimientos superiores. Así mismo, se obtuvo una buena respuesta con la aplicación de 30 Kg/ha de  $P_2O_5$  y 120 de  $K_2O$ . Sin embargo, estos tratamientos como los restantes, no produjeron incrementos significativos en el porcentaje de sacarosa.

El bajo rendimiento del cultivo de caña de azúcar orgánico en comparación al sistema convencional son un reflejo del proceso de transición al sistema orgánico y por la cosecha tardía afectada por situaciones de mercado. Además, a pesar del buen contenido de materia orgánica del suelo y del nivel del potasio, el suelo presentaba algunas limitantes físicas, entre ellas, poca profundidad efectiva y pedregosidad, que pudieron restringir el desarrollo radicular y en consecuencia el aprovechamiento de los nutrientes aportados.

## **IX. RECOMENDACIONES**

Para mejorar el comportamiento agronómico del cultivo de caña de azúcar orgánica, en las condiciones de suelo de la Finca El Tesoro, se recomienda combinar y evaluar otras fuentes de nutrientes minerales y/o orgánicos aceptadas en agricultura orgánica, como los presentados en el cuadro 22 del anexo, así como, prácticas que conlleven a una utilización eficiente de los nutrientes del suelo, entre ellas, la siembra e incorporación de abonos verdes, la elaboración de aboneras orgánicas con los materiales reciclados de la finca o el compost con la cachaza en combinación con abonos orgánicos de origen animal, bocashi y lombricompost.

Se sugiere realizar otros experimentos para evaluar el efecto de abonos orgánicos y fuentes minerales, que aporten o mejoren la eficiencia de usos de la totalidad de los nutrientes necesarios para el desarrollo y producción de caña de azúcar a efecto de ir mejorando los niveles actualmente alcanzados, colocándolos en la primera soca en el fondo del surco y anualmente en las épocas apropiadas.

Se recomienda realizar el corte de caña en el momento oportuno, o sea cuando los tallos alcanzan su madurez fisiológica, a modo de evitar pérdidas debidas a la senescencia de tallos en cosechas tardías y con ello, mejorar el rendimiento para fines de la producción de panela orgánica.

Efectuar un análisis económico para determinar la rentabilidad del cultivo en relación a costos de certificación y otros gastos derivados de la venta del producto orgánico, tales como empaque y transporte a los puntos de venta de la panela orgánica, buscando superar los puntos críticos de los costos para la fabricación de panela orgánica.

## X. BIBLIOGRAFIA

- Anderson, D. L.; Bowen, J. E. (1994). Nutrición de la caña de azúcar. Trad. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS), Ecuador. P. 40.
- Anderson. D. (1995). La caña de azúcar y el fósforo. Inf. Agronómicas. No. 18. INPOFOS. P. 6.
- Asociación Naturland. (2000). Agricultura Orgánica en el Trópico y cultivos Caña de Azúcar Subtrópico. Guías. P. 18-20.
- Barroso Grasa, Rafael A. (1999). La roca fosfórica de Trinidad de Guedes una alternativa en la fertilización de suelos ácidos bajos en fósforo. Tesis Master en Fertilidad del Suelo. Camagüey, (Cuba) P. 69.
- Camacho, J. (2002) Mapa de recursos minerales de Colombia. Minerales Industriales Geominas. Subdirección de recursos del subsuelo. Bogotá. P. 59.
- Cantera, V. (2008) Selección de la mejor alternativa para la industrialización de la roca fosfórica en el Departamento de Huila, Colombia. P. 139.
- Chonay Pantzay, J. (2002). Evaluación de Soluciones Extractoras en la Fertilidad de los Suelos para las Regiones Fisiográficas Llanura Costera del Pacífico y Pendiente Volcánica Reciente de Guatemala. Proyecto FODECYT 06-99. SENACYT - Facultad de Agronomía, USAC. P. 147.
- Directiva 76/116/CEE del Consejo, de 18 de diciembre de 1975, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre los abonos. P. 24. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31976L0116&from=ES> Consulta el 20/09/10.
- Directiva 89/284/CEE del Consejo de 13 de abril de 1989 por la que se completa y modifica la Directiva 76/116/CEE en lo que se refiere al calcio, magnesio, sodio y

azufre contenidos en los abonos. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31989L0284&from=ES> Consulta el 20/09/10.

FAO, (2007). "Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible ", ISBN, 9789253050307. Job Number, Y5053/S. Número en series, 13 Boletines FAO: P. 180.

Finck, A. (1998). Integrated nutrient management – a comprehensive approach to more efficient plant nutrient use (an overview of principles, problems and possibilities). Fao Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, 12: P. 67-82.

Guerra F. (2000). Efecto de la fertilización potásica y nitrogenada sobre el rendimiento de la caña de azúcar (*Sacharum sp.*) plantilla en suelos Andisoles y Mollisoles de la zona cañera Guatemalteca. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Centro Universitario del sur Occidente Agronomía Tropical.

Hammond, LL y Day, D.P, (1992). "Phosphate rock standardization and product quality "In: A.T Bachik y A. Bidin., eds. *Proceeding of a workshop on phosphate source for acid soils in the humidic tropic of Asia*, Kuala Lumpur, Malaysian Society of Soils Science P. 73 – 89.

Humbert, R. P. (1974). El cultivo de la caña de azúcar. Continental, México. P. 719.

INPOFOS - Instituto de la Potasa y el Fósforo. (1997). Manual internacional de fertilidad de suelos. U.S.A. P. 41 – 414.

INPOFOS. (1988). Manual de fertilidad de los suelos. Cap. 4. Fósforo. P. 34-42.

Lampkin, N. (1998). La nutrición de los cultivos. En: *Agricultura ecológica*. (Eds. Mundi-Prensa). P. 51-83.

- Manrique, E. R., (1992). Suelos, nutrición y fertilización en caña panelera. ICA – CIMPA. Barbosa (Colombia). P. 34.
- Marschner H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. second edition.. London: Academic Press, 29.95 (paperback). P. 889.
- Martín, O., J.; Gálvez R., G.; de; Armas U., R. de; Espinosa O., R.; Vigoa H., R; y León M., A. (1987). La caña de azúcar en Cuba. La Habana, Cuba. Revista Científico Técnica. P. 669.
- Mc.Kelvey, V. E. (1977). Abundancia y distribución del fósforo en el medio ambiente. Moscú. Ed. Mir. P. 758.
- Mengel K. y E.A. Kirkby. (1982). Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Bern P. 655.
- Mikkelsen, R. (2008). Managing potassium for Organic Crop Production. Better Crops With Plant Food 92(2):26-29 P. 14.
- Osorio, G. (2007). Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura -BPM-en la Producción de Caña y Panela. P. 200.
- Pérez O. (1994). Fertilización de la caña de azúcar: (Resumen preparado en curso dictado a instructores de INTECAP y asistentes de CENGICAÑA) Guatemala. CENGICAÑA. P. 149-157.
- Pérez O. (1996). Respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos andisoles de Guatemala. (Vol. 2 seminario Inter. Americano de la caña de azúcar). Guatemala, CENGICAÑA. P. 183 – 192.

Pérez O. (2001). Fertilización nitrogenada en caña de azúcar. Síntesis de resultados de investigación en la zona cañera de Guatemala. En: Memoria del X Congreso Nacional de ATAGUA, Guatemala. P. 98-104.

Pérez, O.; Hernández, F.; Ralda, G.; Valenzuela, S.; y Chajil, E. (2003). valuación de Roca Fosfórica y Triple Superfosfato como fuentes de fósforo y efectos residuales en la producción de caña de azúcar en suelos Andisoles. Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2002 – 2003. CENGICAÑA. P. 177.

Pérez, O.; Hernández, F.; Ralda, G.; y Chajil, E. (2005). Fraccionamiento y efectos residuales de fósforo en suelos Andisoles superficiales y evaluación de Roca fosfórica. Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2004 – 2005. CENGICAÑA. P. 187.

Quintero D. y García J. (1997). Respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum sp.*) variedad CC 85-92 (Plantilla) a las aplicaciones de N y K en tres suelos del valle del río Cauca. IV Congreso Colombiano de las Asociación de Técnicos de la caña de azúcar. Cali Colombia: Buenaventura C.

Ramírez, J. Conceptos de fertilidad de suelo. Disponible en: [http://www.agrobanco.com.pe/CONCEPTOS\\_DE\\_FERTILIDAD\\_DE\\_SUELO\\_Y\\_FERTILIZANTES.pdf](http://www.agrobanco.com.pe/CONCEPTOS_DE_FERTILIDAD_DE_SUELO_Y_FERTILIZANTES.pdf) Consulta el 28/09/10.

Raun, R. W. (1995). Regional maize grain yield response to applied phosphorus in Central America. Agron. J. 87: P. 208-223.

Reglamento (CEE) 2092/91 del Consejo de 24 de junio de 1991 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. (DOCE L 198 de 22.7.1991 1-39).  
[http://www.uco.es/dptos/zoologia/Apicultura/Legislacion\\_apicola/Reglamento%202092-1991.pdf](http://www.uco.es/dptos/zoologia/Apicultura/Legislacion_apicola/Reglamento%202092-1991.pdf). Consulta el 28/09/10.

- Ribó, M.; (2004). Departamento de recursos naturales. Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado ecológico. universitat de valencia. P. 185.
- Silva, L. C. da y Casagrande, J. C. (1983). Nutricao Mineral de cana de Acucar (Macronutrientes). En: Nutricao e adubacao da cana de acucar no Brasil. Planalsucar, Piracicaba, P. 77-102.
- Thompson, L. M.; Troeh, F. R. (1982). Los suelos y su fertilidad. Trad. J. Puigdefábregas Thomas. Cuarta edición. España. Editorial Reverté. P. 649.
- Tisdale, S.L. y Nelson, W. (1996). Soil fertility and fertilizer. Segunda Edicion. MacMillan; Nueva York. Estados Unidos. P. 694.
- Toscano, A. (2006). Programa de procesos agroindustriales. Corpoica, Centro de Investigación Tibaitatá. Mosquera, Cundinamarca (Colombia).
- UPME, (2005). "Análisis de la Estructura Productiva y Mercados de la roca fosfórica". Informe Final, Contrato 1517-08-2005. P. 127.
- Wardle, G.J. (1968). Quantitative use of phosphate fertilizers for sugarcane and factors affecting their efficiency. South African Sugar Journal 52: P.1-3.
- CNAE (2004.) Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación unidad de normas y regulaciones área de agua y suelos. Manual Técnico de Agricultura Orgánica Guatemala. Revisado por Ing. Agr. Manolo de la Cruz Berganza.

## XI. ANEXOS

### 11.1 Resultados de análisis químico y físico de suelo

**Cuadro 19. Cuadro de resultados de análisis químico y físico de suelo. CENGICAÑA, 2012.**

	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>
Fecha	23/05/2012	23/05/2012
Identificación	011-1-1.1 (Ludin)	011-1-1.1 (Ludin)
Finca	El Tesoro	El Tesoro
Lote	Muestra 1	Muestra 2
Estrato	Suchi/puente nuevo	Suchi/puente nuevo
Ingenio		
No. Lab	S-1332-05-12	S-1333-05-12
<b>CE (dS m<sup>-1</sup>)</b>	0.05	0.05
pH 1:2.5	6.54	6.53
Materia Orgánica %	6.9	7.1
Meq/100g Intercambiables		
Ca	5.52	5.51
Mg	0.75	1.11
K	0.29	0.28
Na	0.28	0.23
(ppm)		
P	1.36	1.18
Cu	0.14	0.15
Zn	7.20	6.98
Fe	6.57	5.64
Mn	16.44	17.88
Arcilla %	6.32	8.28
Limo %	23.93	19.84
Arena %	69.76	71.88

Tipo de textura      Franco arenoso      Franco arenoso

Métodos de análisis: Conductividad eléctrica (CE): en agua relación 1:4, pH en agua relación 1:2.5, materia orgánica: Walkey-Black; Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables: extracción con acetato de amonio 1 normal; micronutrientes y fósforo: extracción con solución de Carolina del Norte, lectura por absorción atómica y espectrofotometría visible, respectivamente. Textura: método de Bouyoucos; retención de

humedad: a 1/3 y 15 atmósferas; densidad aparente: método de la probeta; humedad gravimétrica: consultar metodología en el laboratorio.

## 11.2 Resultados de análisis de lombricompost.

Centro Guatemalteco de investigación y capacitación de la caña de azúcar laboratorio agronómico.

**Cuadro 20. Cuadro de resultados de análisis lombricompost, CENGICAÑA, 2012.**

<b>Muestra 1</b>	
Fecha	23/05/2012
Identificación	011-1- 1.2 LOMBRICOMPOST.
Finca	El Tesoro
Estrato	Suchi/puente nuevo
No. Lab.	F-255-05-12
Nitrógeno %	1.43
Meq/100g Intercambiables	
Ca	0.69
Mg	0.51
OK	1.09
(ppm)	
P	0.33
Cu	31.81
Zn	7.90
Fe	3291.80
Mn	641.62

Métodos de análisis: Nitrógeno: Digestión húmeda y destilación por método Kjeldahl.

Nutrientes: Digestión vía seca, solución en ácido clorhídrico 6 M y lectura por absorción atómica.

### 11.3 Niveles de requerimiento nutricional de la caña de azúcar

**Cuadro 21. Niveles óptimos y críticos de nutrientes foliares de caña de azúcar.**

Nutriente	Anderson		Jones				
	Valor Crítico	Rango Optimo	Deficiente	Bajo	Optimo	Alto	Exceso
<b>Nitrógeno (N)</b>	1.8	2.00-2.60	1.6	1.9	2	2.6	< 2.60
<b>Fosforo (P)</b>	0.19	0.22-0.30	0.15	0.17	0.18	0.3	< 0.30
<b>Potasio (K)</b>	0.9	1.00-1.60	0.9	1	1.1	1.8	< 1.80
<b>Calcio (Ca)</b>	0.2	0.20-0.45	0.1	0.19	0.2	0.5	< 0.50
<b>Magnesio (Mg)</b>	0.12	0.15-0.32	0.08	0.09	0.1	0.35	< 0.35
<b>Azufre (s)</b>	0.13	0.13-0.18	0.13	0.14	0.15	0.18	< 0.18
	<b>pmm</b>	<b>pmm</b>					
<b>Hierro (Fe)</b>	-----	50-105	20	39	40	250	< 250
<b>Manganeso (Mn)</b>	-----	12-100	20	24	25	400	< 400
<b>Zinc (Zn)</b>	15	16-32	15	19	20	100	< 100
<b>Cobre (Cu)</b>	3	4--8	3	4	5	15	< 15
<b>Boro (B)</b>	4	15-20	2	3	4	30	< 31

### 11.4 Abonos, fertilizantes y acondicionadores del suelo

Condiciones generales a todos los productos:

Se utilizarán con apego a las disposiciones de la legislación relativa a la puesta en el mercado y uso de los productos correspondientes aplicables, a la agricultura en el país.

Aquellos abonos y fertilizante que se encuentren o no en el presente listado solo se podrán utilizar previa autorización de la agencia certificadora.

### Cuadro 22. Insumos permitidos

<b>Productos en cuya composición contengan las materias enumeradas en la lista siguiente:</b>	<b>Descripción, requisitos de composición y condiciones de utilización.</b>
-Estiércol	Producto constituido mediante la mezcla de excrementos de animales y de materia vegetal (cama) indicación de las especies animales.

	Únicamente procedente de ganadería extensivas.
-Estiércol desecado y gallinaza deshidratada	Indicación de las especies animales Únicamente procedente de ganadería extensivas.
-Mantillo de excrementos sólidos de animales incluida la gallinaza y estiércol compostado	Indicación de las especies animales Prohibida la procedencia de ganaderías extensivas
-Excrementos líquidos de animales (estiércol semilíquido, orina, etc.)	Utilización tras una fomentación controlada o dilución adecuada. Indicación de las especies animales Prohibida la procedencia de ganadería intensivas
-Compost de desechos domésticos	Elaborado a partir de desechos domésticos separados en función de su origen. Únicamente desechos vegetales de animales.  Concentraciones máximas en MG/Kg. de materia seca: cadmio: 0,7; cobre: 70; níquel: 25; plomo: 45; zinc: 200; mercurio: 0,4; cromo(total): 70; cromo(IV): 0  Sólo podrá utilizarse durante un período que expira el 31 de diciembre del 2005.
- Turba	Utilización limitada a la horticultura (cultivo hortalizas, floricultura, arboricultura, viveros)
- Arcillas (perlita, vermiculita, etc.)	
- Mantillo procedente de cultivos de setas (hongos)	La composición inicial del sustrato debe limitarse a productos del presente Anexo.
- Deyecciones de lombrices (humus de lombriz) e Insectos	
-Mezcla compuesta de materias vegetales, compostadas o fermentadas.	Producto obtenido a partir de mezcla de materiales vegetales, sometido a un proceso de compostaje o a una fermentación anaeróbica.
-Los productos o subproductos de origen animal mencionados a continuación: -Harina de sangre, pescado, carne y plumas -Polvo de pezuña -Polvo de cuerno -Polvo de huesos o polvo de huesos desgelatinizado	-Concentración máxima en MG/Kg. de materia seca de Cromo (VI): 0

-Lana	
-Aglomerados de pelos y piel	
-Pelos	
-Productos lácteos	
- Productos y subproductos orgánicos de origen vegetal para abono (por ejemplo: harina de tortas oleaginosas, cáscara de cacao, otros)	
- Algas y productos de algas	En la medida en que se obtengan directamente mediante: a) Procedimientos físicos, incluidas la deshidratación, la congelación y la trituración, b) Extracción de agua o en soluciones acuosas ácidas y/o alcalinas, c) Fermentación
- Aserrín y virutas de madera	Madera no tratada químicamente después de la tala
- Mantillo de cortezas	Madera no tratada químicamente después de la tala
- Cenizas de madera	A base de madera no tratada químicamente después de la tala
- Fosfato natural blando	Producto definido. Contenido en Cadmio inferior o igual a 90 MG/Kg. de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
- Fosfato aluminocálcico	Producto definido. Contenido en Cadmio inferior o igual a 90 MG/Kg. de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Utilización limitada a los suelos básicos (pH>7,5)
- Escorias de defosforación	Reconocimiento de la agencia certificadora
- Sal potásica en bruto (ejemplo kainita, silvinita)	Reconocimiento de la agencia certificadora
- Sulfato de potasio que puede contener sal de magnesio	Producto obtenido de sal potásica en bruto mediante un proceso de extracción físico, y que también puede contener sales de magnesio. Reconocimiento de la agencia certificadora
- Carbonato de calcio de origen natural (ejemplo: roca calcárea molida, arena calcárea, creta fosfatada, otros.)	Reconocimiento de la agencia certificadora
- Sulfato de magnesio	Únicamente de origen natural. Reconocimiento de la agencia certificadora
- Solución de cloruro de calcio	Tratamiento foliar de los manzanos, por la carencia de Calcio. Reconocimiento de la agencia

	certificadora
- Sulfato de calcio (yeso)	Únicamente de origen natural
- Cal industrial	Sólo podrá utilizarse durante el período que expira el 31 de diciembre de 2005
- Azufre elemental	Producto definido. Reconocimiento de la agencia certificadora
- Oligoelementos	
- Cloruro de sodio	Solamente sal gema.
- Polvo de roca	