

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES (PFS)

EFFECTO DE DOSIS Y FORMAS DE APLICACIÓN DE FÓSFORO EN CAÑA DE AZÚCAR; SAN  
JOSÉ EL ÍDOLO, SUCHITEPÉQUEZ  
TESIS DE GRADO

**ACCEL FRANCISCO SITAN BACAJOL**  
CARNET 48834-93

ESCUINTLA, OCTUBRE DE 2018  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES (PFS)

EFFECTO DE DOSIS Y FORMAS DE APLICACIÓN DE FÓSFORO EN CAÑA DE AZÚCAR; SAN  
JOSÉ EL ÍDOLO, SUCHITEPÉQUEZ

TESIS DE GRADO

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

POR  
**ACCEL FRANCISCO SITAN BACAJO**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, OCTUBRE DE 2018  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

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

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

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**

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA

DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

**NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
ING. EDWIN LEONEL ARGUETA VENTURA

**TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**  
MGTR. ADÁN OBISPO RODAS CIFUENTES

Escuintla, 13 de Octubre de 2018.

Miembros  
Consejo de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Universidad Rafael Landívar  
Guatemala

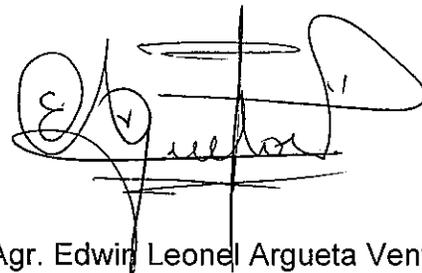
Estimados Profesionales:

Por este medio informo a ustedes que he asesorado en la elaboración del informe final de su tesis, al estudiante: Accel Francisco Sitan Bacajol, carné 48834-93, titulado: "Efecto de dosis y formas de aplicación de fósforo en caña de azúcar; San José el Ídolo, Suchitepéquez".

Considero que el mismo cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, de la Universidad Rafael Landívar, por lo que sugiero su aprobación y publicación.

Sin otro particular,

Atentamente:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Edwin Argueta Ventura', with a large, stylized flourish on the right side.

Ing. Agr. Edwin Leonel Argueta Ventura  
Asesor. Código URL 21390



Universidad  
Rafael Landívar  
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
No. 061035-2018

### Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante ACCEL FRANCISCO SITAN BACAJOL, Carnet 48834-93 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES (PFS), de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06186-2018 de fecha 6 de octubre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EFFECTO DE DOSIS Y FORMAS DE APLICACIÓN DE FÓSFORO EN CAÑA DE AZÚCAR;  
SAN JOSÉ EL ÍDOLO, SUCHITEPÉQUEZ

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 8 días del mes de octubre del año 2018.

MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO  
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. Adan Rodas Cifuentes por su apoyo incondicional, asesoría, revisión y corrección en la realización de la presente investigación.

Ing. Agr. Edwin Argueta por su apoyo incondicional, asesoría, revisión y corrección en la realización de la presente investigación

Ingenio Palo Gordo, San Antonio Suchitepéquez, Suchitepéquez por brindarme el apoyo necesario para desarrollar la presente investigación.

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

Por la vida y la sabiduría que me ha dado para alcanzar mis metas

### **A MIS PADRES**

Francisco Sitan y Victoria Bacajol por apoyarme en todo momento y hacer que este sueño se haga realidad

### **A MIS HERMANOS**

Fermín, María Elena, Virginia, Margarita y Elmer porque en todo momento les sirva como ejemplo para luchar en sus objetivos

### **A MI ESPOSA**

Rosa Elizabeth Torres Gasparico por su amor y apoyo para alcanzar esta meta.

### **A MIS HIJOS**

Jade sabina, Axel Rodrigo y Diego David por ser la luz de mi vida.

### **A MIS ABUELOS**

En su memoria con cariño

### **A MI TÍO**

Mario Chiché por sus sabios consejos

### **A MIS PRIMOS**

Afectuosamente

### **A MIS CATEDRÁTICOS**

Por sus sabias enseñanzas

### **A MIS AMIGOS**

Afectuosamente

## ÍNDICE

	Página	
1.	INTRODUCCIÓN	01
2.	MARCO TEÓRICO	03
2.1	Cultivo de la caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> L.)	03
2.1.1	Descripción de la caña de azúcar	03
2.1.2	El proceso de la caña de azúcar	04
2.2	Nutrición y fertilización	09
2.2.1	Requerimiento de nutrientes por la caña de azúcar	09
2.2.2	Fertilización de la caña de azúcar	09
2.2.3	¿Por qué debemos fertilizar los cañaverales? ¿Con qué nutrientes?	10
2.2.4	Fósforo	11
2.2.5	Triple superfosfato	16
2.2.6	Cloruro de potasio	16
2.2.7	Sulfato de amonio (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (SAM)	17
2.2.8	Urea (46-0-0)	18
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
3.1	Definición del problema y justificación de la investigación	20
4.	OBJETIVOS	22
4.1	Objetivo general	22
4.2	Objetivos específicos	22
5.	HIPÓTESIS	23
6.	METODOLOGÍA	24
6.1	Localización	24
6.2	Material experimental	24
6.2.1	Triple superfosfato	24
6.2.2	Variedad de caña CP72-2086	25
6.3	Factores estudiados	25
6.4	Descripción de los tratamientos	25
6.5	Diseño experimental	26
6.6	Modelo estadístico	26

6.7	Unidad experimental	27
6.8	Croquis de campo	27
6.9	Manejo del experimento	27
6.9.1	Preparación de suelos para la siembra	28
6.9.2	Corte y calidad de la semilla	28
6.9.3	Siembra	28
6.9.4	Fertilización y riegos para germinación	28
6.9.5	Evaluación de la población y resiembra	29
6.9.6	Manejo y control de malezas	29
6.9.7	Plagas	29
6.10	Variables de respuesta	30
6.10.1	Germinación	30
6.10.2	Población de tallos	30
6.10.3	Contenido de fósforo en la hoja	31
6.10.4	Concentración de clorofila (URC)	31
6.10.5	Altura de la planta	31
6.10.6	Diámetro de tallos	31
6.10.7	Rendimiento de caña (semilla)	31
6.11	Análisis de la información	31
6.11.1	Análisis estadístico	31
6.11.2	Análisis económico	32
7.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	33
7.1	Germinación	33
7.2	Población de tallos	34
7.3	Contenido de fósforo en la hoja	35
7.4	Concentración de clorofila (URC)	36
7.5	Altura de la planta	36
7.6	Diámetro del tallo	38
7.7	Rendimiento de caña de azúcar (t/ha)	39
7.8	Análisis económico	40
8.	<b>CONCLUSIONES</b>	42

9.	RECOMENDACIONES	43
10.	BIBLIOGRAFÍA	44
11.	ANEXOS	46

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>No. Tabla</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Tabla 1	Requerimientos nutricionales de la caña de azúcar por tonelada producida	11
Tabla 2	Propiedades física y químicas del KCl	17
Tabla 3	Características físicas y químicas del sulfato de amonio	17
Tabla 4	Especificaciones físicas del triple superfosfato	24
Tabla 5	Concentración del triple superfosfato	25
Tabla 6	Descripción de los tratamientos evaluados	26
Tabla 7	Manejo y control de plagas practicado durante el experimento	30
Tabla 8	Análisis de varianza para la variable germinación	33
Tabla 9	Prueba de medias (Tukey) para la variable germinación, en respuesta a la dosis de fósforo	33
Tabla 10	Prueba de medias (Tukey) para la variable germinación, en respuesta a la forma de aplicación de fósforo	34
Tabla 11	Análisis de varianza para la variable población de tallos (tallos/m)	34
Tabla 12	Prueba de medias (Tukey) para la variable población de tallos en respuesta a la forma de aplicación de fósforo	35
Tabla 13	Análisis de varianza para el contenido de fósforo en las hojas	35
Tabla 14	Análisis de varianza para la variable URC	36
Tabla 15	Análisis de varianza para la variable altura de planta (m)	37
Tabla 16	Prueba de medias (Tukey) para la variable altura de la planta (m), en respuesta a la interacción de la dosis y forma de aplicación de P	37
Tabla 17	Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo (cm)	38
Tabla 18	Prueba de medias (Tukey) para la variable diámetro del tallo, en respuesta a la dosis de $P_2O_5$ aplicada	38
Tabla 19	Prueba de medias (Tukey) para la variable diámetro del tallo, en respuesta a la forma de aplicación del fósforo	39
Tabla 20	Análisis de varianza para la variable de rendimiento de caña (t/ha), en respuesta a los tratamientos aplicados	39
Tabla 21	Prueba de medias de Tukey para la interacción de los factores dosis por forma de aplicación, para la variable rendimiento de caña (t/ha)	40
Tabla 22	Ingresos por tratamiento (Q.)	41
Tabla 23	Estado de resultados	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>No. Figura</b>		<b>Página</b>
Figura 1	Aleatorización de los tratamientos en el campo	27
Figura 2	Fertilización al fondo del surco y al voleo antes de la siembra	46
Figura 3	Hechura del surco	47
Figura 4	Siembra de la caña	47
Figura 5	Medición de la concentración de la clorofila	48
Figura 6	Instrumento utilizado en la medición de la clorofila	48
Figura 7	Medición del diámetro del tallo	49
Figura 8	Medición de la altura de la planta	49
Figura 9	Cosecha de la caña de azúcar	50
Figura 10	Determinación del peso de la caña	50

# **EFFECTO DE DOSIS Y FORMAS DE APLICACIÓN DE FÓSFORO EN CAÑA DE AZÚCAR; SAN JOSÉ EL ÍDOLO, SUCHITEPÉQUEZ.**

## **RESUMEN**

La investigación se llevó a cabo en la finca La Concordia, situada en el municipio de San José el Ídolo, Suchitepéquez, con el objetivo de comparar los efectos de la aplicación de fósforo en el fondo del surco, versus la aplicación al voleo; al mismo tiempo determinar la dosis recomendable de fósforo en el cultivo de la caña de azúcar. Se evaluaron cuatro dosis de fósforo: 50, 100, 150 y 300 kg de  $P_2O_5$ /ha. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar (irrestringido azar), con arreglo bifactorial 4 x 2 (cuatro dosis y dos formas de aplicación). Las variables estudiadas fueron: rendimiento del semillero a la edad de siete meses (t/ha), biometría, porcentaje de germinación, concentración de fósforo y clorofila en la hoja. Se concluyó que la mejor forma de aplicación de fósforo en la caña de azúcar plantía, en sitios de condiciones similares a la finca La Concordia, fue al voleo, debido a que en cuatro de seis variables presentó los mejores resultados, en altura de la planta, población de tallos, germinación y rendimiento de caña (t/ha). También se determinó que la dosis más adecuada de fósforo para el cultivo de caña de azúcar plantía es de 150 kg de  $P_2O_5$ /ha, debido a que tres de las seis variables presentaron las medias más altas: altura de la planta, diámetro del tallo y germinación. De acuerdo con el análisis económico, el tratamiento de 150 kg de  $P_2O_5$ /ha es el que presentó el mayor beneficio económico para el productor (Q.1.23 por cada quetzal invertido).

# 1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia económica para Guatemala, debido a que genera ingresos de divisas, representa un rubro significativo en el PIB (producto interno bruto) de la economía nacional, con un 3%, y en el aspecto social es una fuente importante de empleo, principalmente para las familias del suroccidente. Según CENGICANÑA, en la zafra 2014-2015 se obtuvo lo siguiente: \$ 951.7 millones de divisas por exportación de azúcar, equivalente a 12.95% de las exportaciones totales del país, 25.25% de las exportaciones totales agrícolas, 425,000 empleos directos e indirectos, de los cuales 33,000 empleos fueron por corte de caña (ASAZGUA, 2015).

El área total cultivada en la temporada 2014-2015 en la agroindustria azucarera guatemalteca fue de 354.7 miles de hectáreas (ASAZGUA, 2015).

Debido a la crisis económica que se está viviendo a nivel mundial, originada por la caída de la bolsa de valores, es importante el uso adecuado y eficiente de los recursos que se utilizan en el proceso productivo, para poder lograr una producción rentable y sostenible; dentro de éstos se puede mencionar que la fertilización juega un papel muy importante en el proceso de producción.

Según estadísticas (CENGICANÑA, ASAZGUA) consultadas, en la mayoría de los campos cañeros se tienen diferencias en cuanto a rendimientos por unidad de superficie, luego al evaluar los factores que influyen en el rendimiento, se observa que los lugares que tienen menos rendimientos corresponden a las condiciones de baja fertilidad del suelo, deficiencia de humedad, mal drenaje, falta de prácticas culturales y otros, aunque estos factores influyen en determinada proporción, quizá el más importante sea el que se relacione con la baja fertilidad (García, 1983).

Investigaciones previas han demostrado que las aplicaciones de fósforo (P) en suelos deficientes en este elemento, en todos los casos incrementaron los rendimientos de caña, con relación a cuando sólo se aplicó nitrógeno (N), y se obtuvieron incrementos hasta de 33 toneladas de caña por hectarea en el estrato alto (Pérez, 2001a).

En un estudio reciente, en un suelo Oxisol de Brasil, altamente fijador de P, se encontró que la aplicación al voleo fue superior que la aplicación en banda, aumentando significativamente el rendimiento de caña, confirmando los resultados de estudios previos realizados en los años ochentas.

La fertilización en la siembra, en la finca Concordia del ingenio Palo Gordo, se basa exclusivamente en la aplicación de fósforo al fondo del surco. En el presente trabajo de investigación se evaluó la respuesta de la caña a dosis de fósforo, de 50, 100, 150 y 300 kg de  $P_2O_5$ /ha y dos formas de aplicación del fertilizante: al fondo del surco y al voleo, mediante un diseño estadístico completamente al azar (irrestricto azar), con arreglo bifactorial 4 x 2 (cuatro dosis y dos formas de aplicación).

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

#### 2.1.1 Descripción de la caña de azúcar

La caña de azúcar es una poacea, caracterizada porque durante su desarrollo forma un sistema vegetativo subterráneo, del cual nace gran número de tallos y a los cuales en conjunto se le llama “cepa” (Flores, 1976).

CENGICAÑA (1994), describe la morfología de la caña de azúcar de la siguiente forma: el sistema radicular se presenta de dos formas, los primordios radiculares que tienen un período de vida de 30 a 40 días, y las raíces permanentes, que brotan de los tallos o macollos, que se forman a partir de los esquejes.

El tallo es la parte aprovechable donde se almacena la sacarosa, se presentan un número de tallos de 10 a 18 por metro lineal, lo cual da una población de 60 a 70 mil tallos por hectárea (CENGICAÑA, 1994).

El tallo está formado por una serie de nudos separados por los entrenudos, donde se localizan las yemas (Flores, 1976).

Las hojas se originan de cada nudo y están distribuidas en forma alterna en el tallo, la hoja está formada por la lámina foliar y por la vaina, ambas unidas por el cuello en el cual se ubica la lígula. Cuando la vaina tiene buen deshoje se facilita la cosecha de la caña y se llevan menos impurezas en la caña (CENGICAÑA, 1994).

La inflorescencia es una panícula espigada sedosa, constituida por un eje principal donde se insertan las espiguillas, dispuestas por pares en cada articulación, donde se encuentra la flor, la cual es hermafrodita, con tres anteras y un ovario con dos estigmas (CENGICAÑA, 1994).

### **2.1.2. El proceso de la caña de azúcar**

La caña de azúcar es un cultivo de las zonas tropicales y su explotación ha constituido una de las principales actividades económicas de Guatemala, debido a la diversidad de productos finales que de ella se derivan. Para la Asociación de Azucareros de Guatemala, en el cultivo de la caña de azúcar se pueden identificar tres grandes grupos de actividades que se realizan en el campo: a) siembra del cultivo; b) manejo de la plantación y c) cosecha (AZASGUA, 2012).

Cada una de estas actividades es de suma importancia para obtener altos rendimientos productivos. En el cultivo de la caña de azúcar es importante la producción por año y el tiempo de renovación de la plantación, un cañal es renovado cuando su producción es menor de 60 toneladas por hectárea (Flores, 1976).

a) Siembra del cultivo: se derivan tres fases importantes, adecuación de la tierra, preparación de tierras y manejo agronómico en la siembra (AZASGUA, 2012).

Adecuación de la tierra: se define como la acción de proporcionar y acomodar las condiciones del terreno para el cultivo de caña de azúcar (Guerra, 1992).

Se inicia con el diseño del campo, tomando en cuenta el sistema de cosecha. Se define el número y tamaño de los sectores y los lotes, la longitud y dirección de los surcos y el diseño de la infraestructura de riegos, drenajes, accesos y salidas (AZASGUA, 2012).

Si el área es nueva deben eliminarse árboles, piedras, infraestructura en desuso o cualquier otro tipo de obstáculo para la operación de la maquinaria, para esta labor se utiliza maquinaria como: buldozer, excavadoras, tractores agrícolas y camiones de volteo, al contar con el área sin obstáculos se realiza un levantamiento topográfico detallado, se elabora el plano topográfico sobre el cual se realiza el diseño de la finca en función del riego, drenaje agrícola y cosecha, para posteriormente trazar la nueva configuración de la finca (Guerra, 1992).

La siguiente actividad es la construcción de canales y zanjas que servirán como drenajes en cualquier época del año, y en los casos en que el área tenga déficit de humedad, se procede a la construcción de canales de riego (AZASGUA, 2012).

Es necesario garantizar los accesos inmediatos que permitan cumplir con las regulaciones del transporte de caña. Para ello se procede con la construcción de vías de acceso, las cuales pueden ser caminos nuevos, puentes y pasos temporales o fijos (AZASGUA, 2012).

En algunos casos se incorpora compost a los suelos para proporcionar nutrientes y aumentar la capacidad de retención de agua, evitando así la erosión. El compost es de cachaza (residuos resultantes de la molienda), la cual se somete a un proceso de biodegradación, que por su composición es útil como fertilizante (AZASGUA, 2012).

Preparación de tierras: con la preparación de tierras se desarrollan las labores de labranza mecanizada necesarias para disponer los suelos para la siembra de la caña de azúcar. Una vez adecuada la tierra se inicia con la preparación del suelo. La caña de azúcar requiere de una adecuada preparación del suelo, que consiste en una serie de labores mecanizadas para roturar, desmenuzar el suelo y el subsuelo que permita a las raíces desarrollarse eficientemente, evitar problemas de drenaje, aprovechar la humedad y exponer las larvas ocultas (Chaparro, 2002).

Consiste en dejar una cama de germinación de la semilla en buenas condiciones, incluyendo un subsolado, el volteo con arado de discos reversibles, rastreo y finalmente se inicia con las labores de surqueo y estaquillado, que facilitan la distribución de semillas en el área de siembra (AZASGUA, 2012).

- Subsolado: en labranza mínima se realiza cinco días después de la aplicación del herbicida, para labranza convencional de uno a dos días después del paso de la rastra, el implemento va a una profundidad de 40 a 60 centímetros, con subsoladores de tres cinceles, distanciados a 1.5 metros (AZASGUA, 2012).

- Arado: realiza una doble función, elimina la caña vieja y prepara el suelo para la siembra, dejándolo suelto, permitiendo una mejor aireación (AZASGUA, 2012).
- Rastreo: afloja el suelo dejándolo listo para surquear y elimina caña vieja, dejando limpio el terreno para la nueva siembra (AZASGUA, 2012).
- Surqueo: consiste en abrir los surcos para depositar la semilla, una vez sembrada y tapada, los mismos surcos servirán como canales de conducción de agua para riego (Chaparro, 2002); se realiza de uno a dos días después del rastreo, el implemento cuenta con dos surqueadores tipo tiburón, cada uno a una distancia de 1.5 metros, el implemento va a una profundidad de 25 a 30 centímetros (AZASGUA, 2012).

Estaquillado y tarjeteado: se realiza a cada cinco surcos y consiste en dejar una estaca a cada 10 metros generalmente, también se utilizan otros distanciamientos tales como 7 y 8 metros. Cada estaca tiene una tarjeta con la información de la cantidad de paquetes de semilla que se dejan por estaca, para luego distribuirlos dentro de los surcos (AZASGUA, 2012).

- Siembra manual: consiste en la distribución manual de los esquejes de caña en los surcos, por lo general se siembran los esquejes de forma triple o tetra, traslapadamente en el surco, el proceso de siembra continúa con el tapado de la semilla y posteriormente la adición de uno o dos riegos para estimular la germinación de las yemas (Soto, 1995).
- Tapado de semilla: se realiza un día después de la siembra, de forma mecanizada con una tapadera con capacidad para cuatro surcos por tapada o de forma manual con azadón (AZASGUA, 2012).

b) Manejo de plantación: las labores de manejo de plantación son aquellas que se realizan para proporcionar al cultivo las condiciones adecuadas para su desarrollo y crecimiento (AZASGUA, 2012).

Fertilización: es la aplicación de nutrientes químicos y orgánicos al suelo para el aprovechamiento del cultivo, es uno de los factores que definen la productividad del cultivo. Usualmente se realiza en forma mecánica, excepto en condiciones donde se realiza en forma manual (AZASGUA, 2012).

La caña de azúcar extrae algunas cantidades de estos elementos para producir una tonelada de caña, los promedios de varias revisiones son los siguientes en kilogramos por tonelada de caña: nitrógeno 1.09, fósforo 0.24, potasio 1.90, calcio 0.37, magnesio 0.30 y azufre 0.41 (Soto, 1995).

Riegos: los diferentes métodos de riego: aspersión, gravedad y mecánicos, los cuales se realizan después de la fertilización, aproximadamente 35 días después del corte (AZASGUA, 2012).

Control de malezas: se utilizan diferentes tipos de herbicidas, de acuerdo al tipo y desarrollo de la maleza, aplicándolos con aguilonos o aspersores de presión constante (Soto, 1995).

El control de malezas va dirigido a disminuir la presencia de malezas en el período crítico de competencia, el cual termina cuando la caña tiene 90 centímetros de altura y los tallos posean entre 8 y 12 hojas, el período crítico se encuentra entre 15 y 120 días en caña recién sembrada y entre 15 y 90 días en caña soca (Soto, 1995).

Control de plagas y enfermedades: este control reviste importancia significativa en la obtención de excelente materia prima para su procesamiento. El enfoque está dirigido al control preventivo, que inicia con el tratamiento térmico de la semilla, así como la liberación de productos biológicos (insectos, hongos y virus) y la prevención o control de diferentes plagas, principalmente de chinche salivosa (*Aeneolamia* spp) y el gusano barrenador (*Diatraea* spp) (AZASGUA, 2012).

Aplicaciones aéreas: la aplicación de inhibidores de floración, fertilizantes, insecticidas y madurantes es una práctica que se rige a las normativas ambientales del país, a través de la Asociación de Azucareros de Guatemala (AZASGUA, 2012).

c) Cosecha: las labores de cosecha se realizan a partir del mes de noviembre hasta finales de abril, período que coincide con la época seca. Esta actividad se realiza bajo un programa que debe ajustarse cada mes, de acuerdo al estado de maduración del cultivo, el cual es inducido o se da por madurez fisiológica (AZASGUA, 2012).

La cosecha de la caña puede dividirse según sea el tipo: cosecha manual y cosecha mecanizada, que en ambos casos puede ser en verde o quemado, esto quiere decir que previo a la misma, la caña puede o no quemarse (Soto, 1995).

La cosecha manual es realizada por personas, conocidas como cortadores de caña, quienes pueden cortar alrededor de seis toneladas de caña en un día de trabajo y aproximadamente el 75% de la caña cosechada en Guatemala se corta con esta metodología, el restante 25% se realiza con cosechadoras mecánicas, que pueden cosechar hasta 800 toneladas de caña en un día (AZASGUA, 2012).

Quema: esta actividad facilita la labor del cortador, aumentando su eficiencia toneladas/día/hombre y disminuye la cantidad de basura, permitiendo mayor rendimiento de azúcar por toneladas de caña. Se toman en cuenta las normas del país, divulgadas por la Asociación de Azucareros de Guatemala (AZASGUA, 2012).

Corte manual: se realiza quemando la caña o corte en verde. Este último se realiza cuando el área de corte se encuentra cerca de centros urbanos, industriales y bajo tendidos eléctricos; la ventaja que ofrece es que se puede cortar a ras del suelo y facilita la selección de las cañas molederas (AZASGUA, 2012).

Corte mecanizado: este tipo de corte representa una alternativa para la tecnificación de la cosecha de caña de azúcar. Sin embargo, tiene desventajas; presenta un alto contenido de materia extraña, no se puede utilizar en áreas rocosas o con pendientes pronunciadas, requiere crecimiento erecto y fácil deshoje. Entre sus ventajas está el que requiere un número reducido de personal (AZASGUA, 2012).

Alce y movimiento interno: el alce es la actividad de levantar en forma mecánica, contabilizar y acomodar la caña en los contenedores diseñados especialmente para esta labor. Son tipo jaulas, las cuales se trasladan al lugar de alce para que sean llenadas y luego regresarlas al punto de enganche (AZASGUA, 2012).

Transporte de caña de azúcar: es la labor de movilizar las jaulas del área de corte hacia el ingenio. Existen diferentes combinaciones de jaulas: dobles, triples y tetras, las cuales se utilizan de acuerdo a la ubicación, distancia y tipo de carretera nacional o particular que se transite (AZASGUA, 2012).

## **2.2 Nutrición y fertilización**

### **2.2.1 Requerimiento de nutrientes por la caña de azúcar**

Las plantas como la caña de azúcar requieren para su crecimiento y desarrollo 16 elementos denominados esenciales. Estos nutrientes son carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). El C, H y O provienen del agua y del aire, y son los elementos que constituyen la mayor parte del peso de las plantas. Los otros 13 elementos son minerales y provienen del suelo o son adicionados como fertilizantes (Melgar, 2014).

El requerimiento de nutrientes para la caña de azúcar varía según la variedad, el suelo, condiciones climáticas y manejo del cultivo (Melgar, 2014).

### **2.2.2 Fertilización de la caña de azúcar**

La fertilización constituye una práctica cultural de máxima importancia, su elevado costo exige realizar una ejecución oportuna y efectiva para asegurar su máximo aprovechamiento (Romero, 2010).

El éxito de la fertilización se expresará en el establecimiento temprano de una población inicial óptima y con una distribución uniforme de los tallos, asegurando la conformación de cañaverales con una elevada población de tallos molederos y un excelente crecimiento y rendimiento (Romero, 2010).

#### **A. Factores edáficos**

La temperatura, el pH, el contenido hídrico y la provisión de O<sub>2</sub> (aireación), ya sea porque modulan la disponibilidad del nutriente, actúan en la actividad microbiana y/o porque influyen en la absorción y transporte de los nutrientes hacia la raíz y dentro de ella (Romero, 2010) .

#### **B. Microorganismos**

Muchos grupos de microorganismos que viven en el suelo (bacterias, hongos y otros) causan reacciones favorables a su fertilidad, como la fijación biológica de nitrógeno, la descomposición y mineralización de residuos orgánicos, la mayoría de ellos dependen de la materia orgánica para obtener alimentos y energía, por lo tanto, estos microorganismos se encuentran generalmente en los primeros 30 cm del suelo (Romero, 2010).

Además, las raíces de muchas plantas son capaces de formar micorrizas, que son asociaciones mutualistas con diversas especies de hongos, en las que la raíz cede sustancias orgánicas, mientras que la presencia del hongo favorece la absorción de agua y de algunos nutrientes, especialmente fósforo. Esta población benéfica de microorganismos ejerce un rol fundamental en la fertilidad de los suelos, en la provisión y/o disponibilidad de los nutrientes y en la absorción de los mismos por los cultivos (Romero, 2010) .

### **2.2.3 ¿Por qué debemos fertilizar los cañaverales? ¿Con qué nutrientes?**

Las necesidades nutricionales de cualquier cañaveral están determinadas por la cantidad total de nutrientes que necesita extraer del suelo, durante su crecimiento y desarrollo, para lograr una elevada producción (Romero, 2010).

La caña de azúcar posee altos requerimientos nutricionales debido a su elevada capacidad de producción de biomasa (tallos molederos, follaje, cepa y raíces), que puede significar entre 20 y

35 t/ha de materia seca y en peso fresco un valor cercano o mayor a las 100 t/ha, tal nivel productivo asociado a la prolongada duración de su ciclo, implica una elevada extracción de nutrientes del suelo, que puede alcanzar niveles de 800-1500 kg/ha/año (Romero, 2010).

Está comprobado que la fertilización nitrogenada es de máxima importancia y de necesidad generalizada en cuanto a respuesta del cultivo. Además, algunos suelos también pueden requerir aportes de fósforo y en casos especiales de potasio (Romero, 2010).

Por esta razón, resulta de fundamental importancia que el productor realice con frecuencia análisis de suelo para que, junto a los registros de la producción de caña y azúcar de años anteriores, pueda optimizar la elección de los nutrientes y la dosis a agregar en cada lote (Romero, 2010).

En el suelo por tonelada de caña producida, los requerimientos de nutrientes son los que se muestran en la tabla 1 (Sephur, 2011) :

Tabla 1  
*Requerimientos nutricionales de la caña de azúcar por tonelada producida.*

<b>Elemento</b>	<b>Dosis (kg/t)</b>
Nitrógeno (N)	0.93
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.62
Potasio (K <sub>2</sub> O)	1.98
Calcio (CaO)	0.48
Magnesio (MgO)	0.41
Azufre (SO <sub>4</sub> )	1.16

(CENGICAÑA, 1996)

#### **2.2.4 Fósforo**

El fósforo (P) juntamente con el nitrógeno (N), son los dos nutrientes con mayor respuesta en el cultivo de la caña de azúcar, y especialmente en la fase inicial del desarrollo radicular, en el

aumento del tonelaje producido y en la calidad del azúcar. Se recomienda aplicar en el fondo del surco de la nueva plantación (Sephu, 2011).

El origen del fósforo es tanto natural (distribución de materiales parentales y acumulación de residuos vegetales nativos), como por resultado de actividades antrópicas (prácticas de fertilización y manejo de los cultivos) (Alonzo, 2007).

Sus principales funciones son transporte y almacenamiento de energía, promueve el macollamiento y desarrollo de la raíz, de tal manera que es indispensable en las primeras fases del crecimiento del cultivo (CENGICANA, 1996).

El fósforo tiene una vital importancia en la división celular, la respiración, síntesis de azúcar, grasas y proteínas, la acumulación de energía, 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) (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).

Las deficiencias de fósforo en el cultivo de caña de azúcar se manifiestan en un pobre macollamiento, con tallos delgados, entrenudos cortos, hojas delgadas, angostas y pequeñas raíces anormales de color marrón (CENGICANA, 1996; Chonay, 2002).

El fósforo se encuentra en los suelos tanto en forma orgánica como inorgánica. Las formas inorgánicas están constituidas por compuestos de la fase sólida, predominando los fosfatos de Ca, fosfatos de Fe y Al, dependiendo del pH del suelo. El fósforo orgánico se encuentra en los fosfolípidos, ácidos nucleicos, fitina y sus derivados. En la región cañera de Guatemala la

disponibilidad del fósforo está influenciada principalmente por el tipo de suelo y en especial por el tipo de arcilla (alófana) (CENGICAÑA, 1996).

La presencia de materiales amorfos y alófana en la fracción fina del suelo es una característica de los suelos derivados de ceniza volcánica reciente; estos materiales confieren características especiales a los suelos como la alta fijación de fósforo (CENGICAÑA, 1996).

En ensayos realizados por Pérez (2001b), 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 fósforo (P) en la plantía estaría entre 50 y 100 kg de  $P_2O_5$ /ha. Estudios anteriores sobre el tema han indicado una dosis óptima económica de 84 kg de  $P_2O_5$ /ha para suelos Andisoles superficiales de la zona alta de la región.

La fijación de fósforo se define como la transformación de fosfatos solubles a fosfatos insolubles, que no son fácilmente aprovechables por las plantas (CENGICAÑA, 1996).

Según CENGICAÑA (2012), en varios ensayos realizados se determinó y verificó que los nutrientes que más limitan los rendimientos de caña de azúcar en suelos Andisoles e Inceptisoles son el fósforo y el potasio, estos resultados estuvieron en correspondencia con los análisis de suelos y apoyan la necesidad de utilizar el análisis de suelos como herramienta para la recomendación de fertilizantes en los programas de fertilización, para asegurar la rentabilidad de la inversión.

Suelos con bajo fósforo disponible y alta retención de nutrientes se localizan en los estratos altos y medio de la zona cañera, donde dominan suelos Andisoles, que se caracterizan por poseer contenidos altos de alófana, conforme se avanza hacia las zonas más bajas en dirección al océano Pacífico, los contenidos de materiales amorfos y alófana en los suelos van disminuyendo y hay predominancia de suelos Molisoles y Entisoles, con contenidos altos de fósforo (CENGICAÑA, 2012).

El fósforo es absorbido por las raíces de las plantas, generalmente en la forma del ion ortofosfato primario, el mismo es absorbido diez veces más rápido que el ion secundario  $P_2O_5$  (García, 1983).

Comparado con los demás nutrientes, la absorción del 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 distancias que el diámetro de las raíces más activas, produciéndose marcadas zonas vacías cerca de las superficies de las raíces absorbentes (Ribó, 2004).

La captación del fósforo por parte de las plantaciones es afectada por la irregular distribución espacial, tanto horizontal como vertical de este nutriente disponible en los suelos. El fósforo tiene concentraciones muy bajas en la solución del suelo y poca movilidad, por lo que las raíces de las plantas deben toparse con estos sitios con alta concentración para lograr su adquisición (Alonzo, 2007).

Cuando las raíces alcanzan una zona enriquecida en nutrientes, a menudo proliferan en ella e incrementan localmente su capacidad de captación de iones en comparación con raíces creciendo fuera de éstas (Alonzo, 2007).

En sistemas agrícolas con moderada remoción del suelo y en labranza cero, la distribución espacial de la aplicación de fertilizantes con fósforo contribuye a la formación de patrones heterogéneos que afectan la disponibilidad del nutriente para las plantas. Al aplicar fertilizantes en bandas la proporción de suelo fertilizado es de entre el 1 y el 2 % del total explorado por las raíces, formando así sitios enriquecidos con éste nutriente, que perduran en el tiempo (Alonzo, 2007).

Las principales fuentes de fósforo son el triple superfosfato (TPS) con el 46 % de  $P_2O_5$ , contiene también cal; fosfato mono amónico (MAP) con 52 % de  $P_2O_5$  y fosfato diamónico (DAP) con el 46 % de  $P_2O_5$  (Sephur, 2011). La roca fosfórica presenta muy baja solubilidad en

suelos neutros, es utilizada por lo general en correcciones a largo plazo, siempre que los suelos sean ácidos, porque en suelos con pH de 6 no muestra cambios físicos, se está utilizando más como material de relleno en formulación compactada, no es aconsejable para aquellos casos que se necesitan respuestas rápidas de disponibilidad para el cultivo; el DAP y el MAP por su solubilidad son los más utilizados en las formulaciones físicas (Thopson, 1982).

El fósforo es un elemento clave para el buen establecimiento y producción continua. Sin embargo, en algunos suelos la aplicación de fósforo puede ser fijada y no estar disponible para las plantas; especialmente en suelos de textura fina o pesada (arcillosos). De igual manera, en suelos con pH alto, el fósforo puede no estar disponible, especialmente si la cantidad de calcio es alta. El fósforo puede formar compuestos (fosfatos tricálcicos) que son temporalmente no disponibles para la planta (Pérez, 2012).

La recuperación del fósforo aplicado durante el primer año llega a ser de 10 a 30%, pero dependiendo del suelo la caña de azúcar va a poder seguir absorbiendo fósforo durante los años siguientes (Pérez, 2012).

Debido a que el fósforo aplicado al suelo no se mueve mucho, su disponibilidad para la planta está muy relacionada al método o forma de aplicación que se utilice. Antes de la siembra, el fósforo puede ser aplicado al voleo e incorporado al suelo (Pérez, 2012).

También puede ser aplicado en banda, esta forma de aplicación puede ser de mayor beneficio cuando se cuenta con un suelo pobre en fósforo, ya que el concentrar el fósforo en una banda ayuda a que suelos con “hambre” de fósforo no fijen tanto fertilizante. El aplicar en banda solo es recomendable si se tiene el equipo de fertilización adecuado para no dañar el establecimiento del cultivo. Otra forma de evitar daños al cultivo es aplicar cantidades grandes de fósforo antes de sembrar; esta última práctica debe ser supervisada por un técnico y por lo general una sola aplicación sirve para varios cortes (Pérez, 2012).

### **2.2.5 Triple superfosfato**

Este producto se obtiene tratando la roca fosfórica con ácido sulfúrico, ácido fosfórico o una mezcla de ambos. Con su nombre se incluyen todos los superfosfatos con 46% mínimo de  $P_2O_5$ , 80% de éste soluble en agua (Lazcano, 1999).

El superfosfato triple es el producto ideal para fertilizaciones de mantenimiento y mezclas con altos contenido de fósforo. Por su carácter ácido, se recomiendan aplicaciones al voleo o bien incorporado abajo o al costado de la línea de siembra (Lazcano, 1999).

### **2.2.6 Cloruro de potasio**

Los fertilizantes potásicos son comúnmente utilizados para superar las deficiencias de las plantas donde los suelos no pueden abastecer las cantidades de potasio (K) requeridas por los cultivos, se hace necesario el agregado de este nutriente vegetal esencial (Lazcano, 1999).

Potasa es un término general usado para designar una variedad de fertilizantes utilizados en la agricultura, que contienen K (Lazcano, 1999).

El cloruro de potasio (KCl) es la fuente más comúnmente utilizada, es también conocido como muriato de potasio (muriato es el nombre antiguo usado para designar sales que contienen cloruro). El potasio siempre está en los minerales en forma de catión monovalente ( $K^+$ ) (Lazcano, 1999).

El cloruro de potasio (KCl), es usualmente esparcido sobre la superficie del suelo previo a las labores para la siembra. También puede ser aplicado en bandas cerca de la semilla, ya que al disolverse el fertilizante se incrementará la concentración de sales solubles, el KCl en bandas se coloca al costado de la semilla para evitar daños durante la germinación (Lazcano, 1999).

El cloruro de potasio (KCl), se disuelve rápidamente con la humedad del suelo, el  $K^+$  será retenido en los sitios de intercambio con carga negativa de las arcillas y la materia orgánica del suelo, por su parte el  $Cl^-$  se moverá rápidamente con el agua del suelo. Un grado especial de pureza de KCl puede ser disuelto para fertilizantes líquidos o aplicaciones a través del suelo

(Lazcano, 1999). En la tabla 2 se indican algunas de las propiedades físicas y químicas del cloruro de potasio.

Tabla 2  
*Propiedades físicas y químicas del KCl.*

<b>Elemento</b>	<b>Valor</b>
Fórmula química	KCl
Grado del fertilizante	0-0-60
Contenido de K <sub>2</sub> O	60% al 63%
Contenido de Cl <sup>-</sup>	45% al 47%
Solubilidad en agua (20 °C)	344 g/l
pH	7

(DISAGRO, 1994)

### 2.2.7 Sulfato de amonio (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> (SAM)

Es una de las fuentes de nitrógeno más comúnmente usadas en las fórmulas de fertilización (mezclas físicas). El SAM es un producto muy versátil para ser utilizado en mezclas con otros fertilizantes, esto debido a su amplia compatibilidad con todos los mono productos y complejos. Además, tiene un efecto acidificante en el suelo y el agua (DISAGRO, 1994). En la tabla 3 se indican algunas características física y químicas del sulfato de amonio.

Tabla 3  
*Características físicas y químicas del sulfato de amonio*

<b>Elemento</b>	<b>Valor</b>
Nombre químico	Sulfato de amonio
Otros nombres	Sulfato de amoníaco, sal de azufre y amonio
Fórmula química	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Peso molecular (g/mol):	132.14
Contenido de nitrógeno total (N):	21.0 % de nitrógeno amoniacal
Contenido de azufre total (S):	24.0 % de azufre en forma de sulfato

(DISAGRO, 1994)

### **A. Comportamiento del sulfato de amonio en el suelo y las plantas**

El sulfato de amonio (SAM) contiene amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y azufre en forma de sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ), es un producto de pH ácido y que se recomienda aplicar en suelos calizos y alcalinos por su fuerte efecto acidificante. El sulfato de amonio es un producto muy útil como fertilizante, debido a que la necesidad de azufre está muy relacionada con la cantidad de nitrógeno disponible para la planta, por lo que el SAM hace un aporte balanceado de ambos nutrientes (DISAGRO, 1994).

El azufre inorgánico del suelo es absorbido por las plantas, principalmente como anión sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ), debido a su carga negativa no es atraído por las arcillas del suelo y los coloides orgánicos, el azufre se mantiene en la solución del suelo, moviéndose con el flujo de agua y por esto es fácilmente lixiviable; en algunos suelos esta lixiviación acumula azufre en el subsuelo, siendo aprovechable por cultivos de raíces profundas. El riesgo de lixiviación del azufre es mayor en los suelos arenosos que en suelos de textura franca o arcillosa. Los suelos con bajos contenidos de materia orgánica (< 2 %) comúnmente presentan deficiencias de azufre, cada unidad porcentual de materia orgánica libera aproximadamente 6 kg de azufre por hectárea por año (DISAGRO, 1994).

#### **2.2.8 Urea (46-0-0)**

La urea es el fertilizante nitrogenado sólido más concentrado en nitrógeno, contiene 46% de nitrógeno en forma amídica, es el más barato por unidad de nitrógeno, de alta solubilidad (alrededor de 1000 g/l a 20 °C), al disolverse reduce la temperatura de forma importante, puede usarse en la forma perlada como en la cristalina, no incrementa la salinidad del agua, por lo que resulta apropiada cuando existen suelos salinos (Ruiz, 1999).

La urea no puede ser utilizada por las plantas, ya que necesita ser transformada; una vez disuelta e incorporada al suelo (por ejemplo después del riego) sufre una primera transformación por efecto de una enzima que siempre está presente (ureasa), ésta transforma la urea en carbonato de amonio (Ruiz, 1999). Por la enzima ureasa de los tejidos vegetales y de los microorganismos del suelo, la urea es rápidamente hidrolizada a amoníaco y  $\text{CO}_2$ , la urea es absorbida en pequeñas proporciones por los coloides arcillosos y húmedos, donde su movimiento en el suelo no es enteramente libre; en los suelos neutros se puede oxidar y el efecto residual sobre el suelo es

pequeño. El efecto sobre el pH cuando se hidroliza en suelos ácidos, es alcalinizante a corto plazo, hasta que el  $(\text{NH}_4^+)$  es oxidado y absorbido. El efecto a largo plazo es escaso (FERTIQUISA, 2007).

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Definición del problema y justificación de la investigación**

Los suelos derivados de ceniza volcánica se caracterizan por tener bajo fósforo disponible y una alta retención de fosfatos y otros aniones. En general estos suelos se localizan en las partes altas y medias de la región, aunque también se pueden localizar en las zonas bajas, en una menor proporción. Estudios previos han indicado baja residualidad del fertilizante fosforado aplicado al momento de la siembra, para una siguiente cosecha; en estos suelos las aplicaciones anuales en forma continua son necesarias.

Las eficiencias de utilización del fósforo en estos suelos generalmente son muy bajas, debido a los problemas de fijación ocasionada por las arcillas “alófanos” y se estima una eficiencia del 20-30 por ciento.

La elevada exigencia de nutrientes de la caña de azúcar, ocasiona un rápido empobrecimiento del suelo, especialmente porque se explota generalmente como monocultivo, de allí la importancia del conocimiento de aplicación de fertilizantes en el momento de la siembra.

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 macollamiento, desarrollo de la planta y origina raíces anormales de color marrón (Chonay, 2002).

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 pertenecen a los Andisoles. Algunos autores han encontrado valores de fijación de fósforo variando entre 71 y 92%, el cual depende del tipo, cantidad de arcillas y de otros factores que regulan la fijación de este elemento al suelo (Chonay, 2002).

La dosis, fuentes, épocas y formas de aplicación de los fertilizantes varían de un ingenio a otro; sin embargo, en un mismo ingenio en la mayoría de los casos la fertilización es la misma para cualquier finca (Buenaventura, 1982).

En la actualidad en Guatemala por el rápido crecimiento del cultivo de caña de azúcar, cada vez las tierras son más escasas para la producción; sin embargo, hay suelos pobres en su mayoría del estrato alto y medio que actualmente se están utilizando para la producción.

En un ensayo realizado en la finca Belén, del ingenio La Unión, que es un suelo Andisol superficial del estrato medio de la región (suelo del grupo 8), se observó que la aplicación de nitrógeno (N) en dosis de 100 kg/ha en la plantía y 120 kg de N/ha en las socas, tuvo un incremento promedio de 4.8 t/ha con relación al testigo absoluto sin fertilizante, cuyo incremento no fue significativo en términos estadísticos. Sin embargo, la adición de fósforo (NP) significó un incremento de 22.6 t/ha más con respecto al testigo no fertilizado y 17.8 t/ha más con respecto al nitrógeno sólo, siendo estas diferencias altamente significativas. Este resultado indica que el fósforo es crítico y altamente limitante en este suelo y esto se puede verificar con el nivel muy bajo disponible que era de 0.1 ppm.

Los programas actuales de fertilización en el cultivo de la caña de azúcar, tienden al uso creciente de fertilizantes con altas concentraciones de nitrógeno, causando un desbalance nutricional con los otros elementos, y ante la actual situación económica, resulta muy interesante hacer investigación con el objetivo de determinar el efecto del fósforo, tanto al aplicarlo en el fondo del surco, como al voleo y optimizar la dosis para reducir costos de producción y con esto poder contribuir con información para la industria azucarera.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Comparar los efectos de cuatro dosis de fósforo, aplicadas al fondo del surco versus la aplicación al voleo, en el cultivo de la caña de azúcar plantía.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de cuatro dosis de fósforo aplicadas en el cultivo de la caña de azúcar plantía, sobre las variables: germinación, población de tallos, concentración de fósforo en el tejido foliar, concentración de clorofila en las hojas, altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento de caña.
- Cuantificar el efecto de dos formas de aplicación de fósforo en el cultivo de la caña de azúcar plantía, sobre las variables: germinación, población de tallos, concentración de fósforo en el tejido foliar, concentración de clorofila en las hojas, altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento de caña.
- Establecer el efecto de la interacción dosis por forma de aplicación del fósforo en el cultivo de la caña de azúcar plantía, sobre las variables: germinación, población de tallos, concentración de fósforo en el tejido foliar, concentración de clorofila en las hojas, altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento de caña.
- Identificar el tratamiento que presente mayor beneficio económico.

## 5. HIPÓTESIS

- Al menos una de las dosis de fósforo aplicadas al cultivo de caña de azúcar plantía, provocará un efecto positivo en las variables: germinación, población de tallos, concentración de fósforo en el tejido foliar, concentración de clorofila en las hojas, altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento de caña.
- Una de las formas de aplicación del fósforo en el cultivo de caña de azúcar plantía, dará como resultado una mejor expresión de las variables: germinación, población de tallos, concentración de fósforo en el tejido foliar, concentración de clorofila en las hojas, altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento de caña.
- Por lo menos uno de los tratamientos (interacciones, dosis por forma de aplicación del fósforo) será superior en las variables: germinación, población de tallos, concentración de fósforo en el tejido foliar, concentración de clorofila en las hojas, altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento de caña.
- Por lo menos uno de los tratamientos a evaluar presentará una mayor rentabilidad.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. Localización

La finca Concordia se encuentra ubicada a 147 kilómetros de la ciudad capital, en el municipio de San José El Ídolo, en el departamento de Suchitepéquez, a una altitud de 180 msnm, estrato medio, con coordenadas 14° 25' 50'' latitud norte y 91° 24 '23'' longitud oeste, temperatura media de 30 °C, precipitación pluvial anual 2500 mm; clima cálido, tipo de suelo franco arcilloso.

### 6.2. Material experimental

#### 6.2.1 Triple superfosfato

El triple superfosfato (TSP) contiene una mayor concentración de fósforo que el superfosfato simple (SPP) y es de color gris, de aspecto granular. En las tablas 4 y 5 se anotan algunas características físicas y químicas del triple superfosfato.

Tabla 4  
*Especificaciones físicas del triple superfosfato*

Parámetro	Valor
Apariencia	Gris granular
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	46% máximo
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Soluble	37% mínimo
Humedad	4% máximo, sin ácido 5%
Tamaño del grano	(1-4 mm)

(DISAGRO, 1994)

Tabla 5  
*Concentración del triple superfosfato*

<b>Elemento</b>	<b>Porcentaje</b>
Fósforo total	48% (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Fósforo disponible	46% (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Calcio (Ca)	14%
Agua	4.5%

(DISAGRO ,1994)

### **6.2.2 Variedad de caña CP72-2086**

Esta variedad posee un color verde amarillento; sin embargo, en los primeros estadios de desarrollo presenta tonalidades cafés. Posee buen vigor y un buen cierre de calle a calle, su hábito de crecimiento es erecto y buen rebrote. No posee afate y no suelta la hoja, es resistente al carbón, susceptible al mosaico (aunque en porcentajes bajos) (Buenaventura, 1982).

Es altamente floreadora (más del 90%); sin embargo, dicha floración disminuye en las fincas de la zona baja, debido principalmente al fotoperiodo. Para la variedad CP72-2086 se han encontrado valores de 14.05% de fibra. Es una variedad de muy buen tonelaje de caña y alta productora de azúcar (Buenaventura, 1982).

### **6.3. Factores estudiados**

Se estudiaron dos factores a) dosis de fósforo y b) forma de aplicación del fertilizante. Se evaluaron cuatro dosis de fósforo: 50, 100, 150 y 300 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha y dos forma de aplicación del fertilizante: al fondo del surco y al voleo en toda la superficie del terreno.

### **6.4 Descripción de los tratamientos**

En la tabla 6 se describen los tratamientos evaluados.

Tabla 6  
*Descripción de los tratamientos evaluados*

Tratamiento	Dosis de P (kg/ha)	Forma de aplicación
1	50	Fondo del surco
2	100	Fondo del surco
3	150	Fondo del surco
4	300	Fondo del surco
5	50	Voleo
6	100	Voleo
7	150	Voleo
8	300	Voleo

## 6.5 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fué completamente al azar (irrestricto azar) con arreglo bifactorial 4 x 2 (cuatro dosis y dos formas de aplicación), con cuatro repeticiones y ocho tratamientos.

## 6.6 Modelo estadístico

Se utilizó el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + D_i + F_j + D_iF_j + E_{ijk}$$

En donde:

$Y_{ijk}$  = Variable de respuesta esperada

$\mu$  = Media general de la variable de respuesta

$D_i$  = Efecto de la i-ésima dosis de fertilizante

$F_j$  = Efecto de la j-ésima forma de aplicación del fertilizante

$D_iF_j$  = Efecto de la interacción entre la dosis de fertilizante y la forma de aplicación del mismo.

$E_{ijk}$  = Error asociado a la ijk-ésima unidad experimental

## 6.7 Unidad experimental

Cada unidad experimental estuvo conformada por tres surcos de 8 m de largo por 1.50 m de ancho, haciendo un área total de 36 m<sup>2</sup> por unidad. El área experimental total fue de 1,152 m<sup>2</sup>.

## 6.8 Croquis de campo

En la figura 1 se muestra la forma en que se distribuyeron los tratamientos en el campo.

<b>T6</b>	<b>T6</b>	<b>T8</b>	<b>T1</b>
<b>T8</b>	<b>T2</b>	<b>T4</b>	<b>T6</b>
<b>T2</b>	<b>T1</b>	<b>T4</b>	<b>T1</b>
<b>T7</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T1</b>
<b>T3</b>	<b>T6</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>
<b>T4</b>	<b>T3</b>	<b>T5</b>	<b>T7</b>
<b>T2</b>	<b>T5</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T6</b>	<b>T8</b>

Figura 1. Aleatorización de los tratamientos en el campo.

## 6.9 Manejo del experimento

La fuente de fósforo utilizada fue triple superfosfato (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), se aplicó en los ocho tratamientos distribuidos aleatoriamente según la dosis y forma de aplicación asignada, como se muestra en la figura 1, la aplicación se realizó en el momento de la siembra.

La fertilización base consistió en la aplicación de N, K y S en forma uniforme en todas las parcelas del experimento. El N y K se aplicaron a los 30 días después de la siembra y el S se aplicó a los 90 días después de la siembra. Las dosis fueron 100 kg de N/ha, 100 kg de K<sub>2</sub>O/ha y 50 kg de S/ha. La fuente de nitrógeno utilizada fue urea (46% N); como fuente de potasio se

utilizó cloruro de potasio (60%  $K_2O$ ) y como fuente de S se utilizó sulfato de amonio (24% S y 21% N).

El manejo de la plantación en todo el ensayo, se realizó según la secuencia de labores en la finca.

### **6.9.1 Preparación de suelos para la siembra**

La preparación del suelo para la siembra se hizo de la siguiente manera: eliminación del cultivo anterior, posteriormente se hizo un paso de arado, dos pasos de rastra para lograr el buen mullido el suelo y se surqueó con distanciamiento de 1.5 m, a una profundidad de 0.15 m.

### **6.9.2 Corte y calidad de la semilla**

Antes del corte se hizo una evaluación de la semilla de la variedad CP72-2086 traída del semillero semicomercial de la finca Veracruz PG, para asegurarse de la calidad genética (pureza varietal), sanitaria (libre de enfermedades y plagas), física (sin daños mecánicos) y fisiológica (edad de la semilla, yemas en buen estado y con buen poder germinativo). Posteriormente se cortaron esquejes de una longitud aproximada de 0.60 metros, con tres a cuatro yemas por esqueje, amarrados en paquetes de 30 esquejes, luego se transportaron en un camión al lugar donde se sembró.

### **6.9.3 Siembra**

La siembra se realizó manualmente, distribuyendo la semilla en el fondo del surco, en cadena doble traslapada, tapando con una capa de suelo de aproximadamente 0.05 metros, con este sistema se logró obtener aproximadamente 15 yemas viables por metro lineal.

### **6.9.4 Fertilización y riegos para germinación**

La fertilización se hizo de acuerdo al programa establecido en el ensayo, indicado en la tabla 6. El primer riego de germinación se hizo aproximadamente entre 24 a 36 horas después de la siembra, aplicando una lámina aproximada de 30 mm. El segundo riego de germinación se realizó entre 8 a 10 días después del primero, después se hizo a cada 12 días aplicando 45 mm por riego.

### **6.9.5 Evaluación de la población y resiembra**

La evaluación de la población se hizo a los 40 días después de la siembra, se realizó un conteo de las plantas germinadas, se consideró adecuada una población de 10 tallos por metro lineal, asumiendo cerca de 70 por ciento de germinación. La resiembra se hizo en espacios vacíos mayores de un metro, poniendo esquejes en cadena doble al fondo del surco.

### **6.9.6 Manejo y control de malezas**

La primera aplicación de herbicidas (con pre emergentes), se realizó a los ocho días después de la siembra, tomando en cuenta que se estaba realizando el segundo riego, previamente se determinó la mezcla y dosis de productos a utilizar. La segunda aplicación de herbicidas (post emergentes) se realizó después de la fertilización mecánica, aproximadamente a los 55 días después de la siembra. Se determinó la mezcla y dosis de productos con base al tamaño y especies de las malezas. Se usaron productos a base de atrazinas, ametrinas, terbutrinas y pendimentalina.

### **6.9.7 Plagas**

Para el control de plagas, se tomó en cuenta un manejo integrado de las mismas. En la tabla 7 se indica la forma en que se procedió en cada caso.

Tabla 7

*Manejo y control de plagas practicado durante el experimento*

<b>Plaga</b>	<b>Umbral económico</b>	<b>Manejo y control</b>	<b>Pérdida</b>
Chinche salivosa	0.10-0.20 ninfas/ tallos	control cultural de huevos, control de ninfas con Metarhizium, Imidacloprid Thiametoxam,	8.21 t/ha/ad/tallos; 5.83 kg az/t/ad/tallos
Gallina ciega	10 larvas/ m <sup>2</sup>	captura de adultos, control químico y biológico	0.62 t/ha/larva/m <sup>2</sup>
Rata de campo	6% de tallos dañados	plan de manejo preventivo, control químico	0.5 t/ha/1% infestación. 2.19 kg az/t/1% infestación
Barrenador del tallo	7% de intensidad de infestación	control cultural de residuos, uso de parasitoides y control químico	0.32 kg azúcar/t/1% infestación
Chinche hedionda	50 insectos/m <sup>2</sup>	Control biológico y químico	0.05 t/ha/insect/m <sup>2</sup>
Termitas	6% - 10% de tallos dañados en maduraciom	Eliminar residuos de cosecha - aplicar estimulantes de crecimiento	0.30 t/ha

## 6.10 Variables de respuesta

Se tomaron datos de población de tallos, altura y diámetro de tallos a la edad de 180 días.

### 6.10.1 Germinación

Se tomó considerando el total de plantas en cada una de las unidades experimentales para obtener plantas/metro lineal.

### 6.10.2 Población de tallos

Para la población se contaron todos los tallos presentes en cada unidad experimental y se expresaron en tallos/metro lineal.

### **6.10.3 Contenido de fósforo en la hoja**

A la edad de cinco meses del cultivo, se tomaron al azar cinco hojas de cada unidad experimental, se cortaron y segmentaron en tres partes similares, tomando el tercio medio sin la nervadura central, se llevaron al laboratorio de CENGICAÑA para su análisis químico de acuerdo al procedimiento establecido para ello.

### **6.10.4 Concentración de clorofila (URC)**

A los cinco meses de edad del cultivo se tomaron datos de unidades relativas de clorofila, con el clorofilómetro SPAD-502, se muestrearon cinco hojas tomadas al azar de cada unidad experimental.

### **6.10.5 Altura de planta**

Para la variable altura se midió la longitud de 15 tallos tomados al azar de cada unidad experimental se midió desde el nivel del suelo hasta la última lígula visible de cada tallo.

### **6.10.6 Diámetro de tallos**

El diámetro del tallo se determinó con un vernier graduado, en los mismos 15 tallos donde se midió la altura, se realizó a un metro de altura de la base de los tallos.

### **6.10.7 Rendimiento de caña (semilla)**

Al momento de cortar la semilla se hicieron paquetes de 30 esquejes de 60 cm de longitud para cada unidad experimental, se pesaron para determinar el rendimiento y con estos datos se procedió a realizar las conversiones necesarias para expresarlas en t/ha.

## **6.11 Análisis de la información**

### **6.11.1 Análisis estadístico**

Para el análisis de cada una de las variables planteadas en la investigación se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), utilizando el paquete estadístico INFOSAT. Así mismo, se efectuó la comparación de medias, a través de pruebas de tukey.

### **6.11.2 Análisis económico**

Se realizó un análisis de rentabilidad de los tratamientos, como criterio de decisión. Se consideraron todos los factores y rubros que intervinieron en el proceso productivo.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Germinación

Los resultados del análisis de varianza para esta variable se muestran en la tabla 8.

Tabla 8  
*Análisis de varianza para la variable germinación.*

F.V	SC	GL	CM	Valor F	P-valor
Modelo	86.47	7	12.35	6.55	0.0002 **
Dosis	51.59	3	17.20	9.12	0.0003 **
Formas de aplicación	19.53	1	19.53	10.36	0.0037 **
Dosis * forma de aplicación	15.34	3	5.11	2.71	0.0673 ns
Error	45.25	24	1.89		
Total	131.72	31			

\*\* = diferencia altamente significativa    ns = diferencia no significativa

Para el factor dosis (P-valor=0.0003) hubo diferencia altamente significativa; para el factor forma de aplicación (P valor 0.0037) hubo diferencia altamente significativa y para la interacción de los factores dosis \* forma de aplicación (P-valor=0.0673) no hubo diferencia significativa. Por los resultados anteriores se hicieron las pruebas de medias para cada uno de los factores (tablas 9 y 10).

Tabla 9  
*Prueba de medias (Tukey) para la variable germinación, en respuesta a la dosis de fósforo.*

Dosis (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)	Media (plantas/m)	n	EE *
300	14.25	8	0.49 A
150	13.38	8	0.49 A
100	11.63	8	0.49 B
50	11.13	8	0.49 B

\*\* = Medias con la misma letra son estadísticamente iguales

De acuerdo a los resultados, para esta variable las mejores dosis fueron 300 y 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (14.25 y 13.38 plantas/m). Por lo que se deduce que al aplicar mayor cantidad de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> al suelo, se mejora la germinación, probablemente debido al enriquecimiento nutritivo del ambiente donde ocurre la misma.

Tabla 10

*Prueba de medias (Tukey) para la variable germinación, en respuesta a la forma de aplicación de fósforo.*

<b>Forma de aplicación</b>	<b>Media (plantas/m)</b>	<b>n</b>	<b>EE</b>	<b>*</b>
Al voleo	13.38	16	0.34	A
Al fondo del surco	11.81	16	0.34	B

\* = Medias con la misma letra son estadísticamente iguales

Con base en los resultados, la mejor forma de aplicación del fósforo, para que una semilla de caña germine, es al voleo (13.38 plantas/metro), debido a que el nutriente se dispersa en toda la superficie del suelo donde las raíces pueden obtenerlo y aprovecharlo mejor, a diferencia de la aplicación al fondo del surco, donde las raíces podrían tener problemas para su aprovechamiento, ya que el fertilizante se concentra en una sola zona.

## 7.2 Población de tallos

Con los datos de población de tallos se procedió a realizar un análisis de varianza para determinar las diferencias significativas entre los factores evaluados (tabla 11).

Tabla 11

*Análisis de la varianza para la variable población de tallos (tallos/m).*

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Valor F</b>	<b>P-valor</b>
Modelo	32.38	7	4.63	2.11	0.0812
Dosis	12.63	3	4.21	1.92	0.1527 ns
Formas de aplicación	10.13	1	10.13	4.63	0.0417 *
Dosis * forma de aplicación	9.63	3	3.21	1.47	0.2486 ns
Error	52.50	24	2.19		
Total	84.88	31			

ns = diferencia no significativa    \* = diferencia significativa

Se observa en los resultados, que para el factor dosis (P-valor=0.1527) no hubo diferencia significativa; para el factor forma de aplicación (P-valor <0.0417) existió diferencia significativa, este resultado hace referencia de que al menos una forma de aplicación provee mejores condiciones para que la población sea mayor; para la interacción de los factores dosis x forma de aplicación (P-valor = 0.2486) no existió diferencia significativa. Con base en los resultados anteriores, se procedió a realizar la prueba de medias para el factor forma de aplicación (tabla 12).

Tabla 12

*Prueba de medias (Tukey) para la variable población de tallos en respuesta a la forma de aplicación de fósforo.*

<b>Forma de aplicación</b>	<b>Media (tallos/m)</b>	<b>n</b>	<b>EE</b>	<b>*</b>
Al voleo	13.25	16	0.37	A
Al fondo del surco	12.13	16	0.37	B

\* = Medias con la misma letra son estadísticamente iguales

Se aprecia en el cuadro 12 que, cada forma de aplicación constituye un grupo estadístico diferente. Con la aplicación al voleo se obtuvo una población de tallos mayor.

### 7.3 Contenido de fósforo en la hoja

Se procedió a realizar un análisis de varianza para determinar las diferencias entre los factores evaluados. El resultado de dicho análisis se presenta en el tabla 13.

Tabla 13

*Análisis de la varianza para el contenido de fósforo en las hojas.*

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Valor F</b>	<b>P-valor</b>
Modelo	8.8E-05	7	1.3E-05	0.19	0.9854
Dosis	3.8E-05	3	1.3E-05	0.19	0.9039 ns
Formas de aplicación	0.00	1	0.00	0.00	> 0.9999 ns
Dosis * forma de aplicación	5.0E-05	3	1.7E-05	0.25	0.8600 ns
Error	1.6E-03	24	6.7E-05		
Total	1.7E-03	31			

ns = diferencia no significativa

Con base en los resultados, se observa que para los dos factores y la interacción de éstos no hubo significancia estadística, por lo que no fue necesario realizar pruebas de medias.

#### 7.4 Concentración de clorofila (URC)

Se procedió a realizar un análisis de varianza para determinar las diferencias entre los factores evaluados. El resultado de dicho análisis se presenta en la tabla 14.

Tabla 14  
*Análisis de la varianza para la variable URC.*

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Valor F</b>	<b>P-valor</b>
Modelo	7.15	7	1.02	0.53	0.8021
Dosis	2.29	3	0.76	0.40	0.7559 ns
Formas de aplicación	3.78	1	3.78	1.97	0.1735 ns
Dosis * forma de aplicación	1.08	3	0.36	0.19	0.9044 ns
Error	46.13	24	1.92		
Total	53.28	31			

ns = diferencia no significativa

Con base al análisis anterior, se puede afirmar que los dos factores y la interacción de éstos, no afectaron las unidades de clorofila de las plantas.

#### 7.5 Altura de la planta

Con los datos promedios de la variable altura de la planta, se procedió a realizar un análisis de varianza para determinar si existían diferencias significativas entre los factores evaluados. El resultado de dicho análisis se presenta en la tabla 15.

Tabla 15

*Análisis de varianza para la variable altura de planta (m).*

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Valor F</b>	<b>P-valor</b>
Modelo	0.89	7	0.13	11.79	<0.0001
Dosis	0.73	3	0.24	22.67	<0.0001 **
Formas de aplicación	0.05	1	0.05	4.53	0.0439 *
Dosis * forma de aplicación	0.11	3	0.04	3.35	0.0359 *
Error	0.26	24	0.01		
Total	1.15	31			

\*\* = diferencia altamente significativa \* = diferencia significativa

Con base en los resultados anteriores, se observa que existen diferencias altamente significativas entre las dosis evaluadas, este resultado hace referencia que al menos una dosis aplicada, provee mejores condiciones para que la planta adquiriera mayor altura. Para el factor forma de aplicación (P-valor= 0.0439), hubo diferencia significativa, por lo que al menos una forma de aplicación fue más eficiente y mejor aprovechada por la planta. Para la interacción de los factores (P-valor=0.0359), se determinaron diferencias significativas. Por lo anterior, se procedió a realizar la prueba de medias para todos los tratamientos (tabla 16).

Tabla 16

*Prueba de medias (Tukey) para la variable altura de la planta (m), en respuesta a la interacción de la dosis y forma de aplicación de P.*

<b>Dosis (kg/ha)</b>	<b>Forma de aplicación</b>	<b>Media (m)</b>	<b>n</b>	<b>EE *</b>
300	Voleo	2.18	4	0.05 A
150	Voleo	2.10	4	0.05 A
300	Fondo del surco	2.01	4	0.05 B
150	Fondo del surco	1.91	4	0.05 B
50	Voleo	1.81	4	0.05 C
100	Fondo del surco	1.78	4	0.05 C
50	Fondo del surco	1.75	4	0.05 C
100	voleo	1.68	4	0.05 C

\* = Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Los resultados muestran que se formaron tres grupos estadísticos, siendo la mejor opción para esta variable, los tratamientos de 300 y 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha al voleo. Estas mismas dosis aplicadas al fondo del surco constituyeron un segundo grupo estadístico.

## 7.6 Diámetro del tallo

Se realizó un análisis de varianza con los datos promedios de diámetro del tallo, para determinar las diferencias entre los factores evaluados. El resultado de dicho análisis se presenta en la tabla 17.

Tabla 17

*Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo (cm).*

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Valor F</b>	<b>P-valor</b>
Modelo	0.29	7	0.04	11.92	0.0001
Dosis	0.24	3	0.08	22.99	0.0001 **
Formas de aplicación	0.03	1	0.03	8.07	0.0090 **
Dosis * forma de aplicación	0.02	3	0.01	2.13	0.1230 ns
Error	0.08	24	3.4E-03		
Total	0.37	31			

\*\* = diferencia altamente significativa

ns = diferencia no significativa

Los resultados muestran que, el factor dosis (P-valor=0.0001) mostró diferencia altamente significativa; para el factor forma de aplicación (p- valor = 0.0090) la diferencia fue también altamente significativa; sin embargo, para la interacción de los factores dosis \* forma de aplicación (P-valor=0.1230) no existió diferencia significativa, por lo que se infiere que no existe una relación entre los dos factores, uno no depende del otro. Por los resultados anteriores se procedió a efectuar las pruebas de medias para cada uno de los factores (tablas 18 y 19).

Tabla 18

*Prueba de medias (Tukey) para la variable diámetro del tallo, en respuesta a la dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicada.*

<b>Dosis (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha)</b>	<b>Media (cm)</b>	<b>n</b>	<b>EE</b>	<b>*</b>
300	2.69	8	0.02	A
150	2.64	8	0.02	A
100	2.50	8	0.02	B
50	2.50	8	0.02	B

\* = Medias con la misma letra son estadísticamente iguales

Los resultados muestran que las mejores son las dosis de 300 y 150 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (2.69 y 2.64 cm respectivamente). Se infiere que sí hubo respuesta a la aplicación de fósforo al pasar de 100 a 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

Tabla 19

*Prueba de medias (Tukey) para la variable diámetro del tallo, en respuesta a la forma de aplicación del fósforo.*

<b>Forma de aplicación</b>	<b>Media (cm)</b>	<b>n</b>	<b>EE</b>	<b>*</b>
Al voleo	2.61	16	0.01	A
Al fondo del surco	2.55	16	0.01	B

\* = Medias con la misma letra son estadísticamente iguales

Se observa que la mejor forma de aplicación fue al voleo, se obtuvo una media de 2.61 cm en el diámetro de tallo en comparación con 2.55 cm cuando se aplicó al fondo del surco.

## 7.7 Rendimiento de caña de azúcar (t/ha)

Con los promedios de rendimientos se realizó un análisis de varianza para determinar las diferencias significativas entre los factores evaluados. El resultado de dicho análisis se presenta en la tabla 20.

Tabla 20

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

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Valor F</b>	<b>P-valor</b>
Modelo	64.66	7	9.24	18.18	<0.0001
Dosis	19.15	3	6.38	12.57	<0.0001 **
Formas de aplicación	34.78	2	17.39	34.23	<0.0001 **
Dosis * forma de aplicación	10.73	2	5.36	10.56	0.0005 **
Error	2.19	24	0.51		
Total	76.85	31			

\*\* = diferencia altamente significativa

Para el factor dosis (P-valor = <0.0001) la diferencia fue altamente significativa; para el factor forma de aplicación (p-valor = <0.0001) la diferencia fue altamente significativa, y para la interacción de los factores dosis \* formas de aplicación (P-valor = 0.0005) también la diferencia fue altamente significativa. Por los resultados anteriores, se procedió a realizar la prueba de medias para todos los tratamientos.

Tabla 21

*Prueba de medias de tukey para la interacción de los factores dosis por forma de aplicación, para la variable rendimiento de caña (t/ha).*

<b>Dosis (kg/ha)</b>	<b>Forma de aplicación</b>	<b>Media (t/ha)</b>	<b>n</b>	<b>EE</b>	<b>*</b>
300	Al voleo	104	4	0.36	A
150	Al voleo	101	4	0.36	A
50	Al voleo	86	4	0.36	B
100	Al voleo	85	4	0.36	B
300	Al fondo del surco	84	4	0.36	B
100	Al fondo del surco	80	4	0.36	B
150	Al fondo del surco	76	4	0.36	B
50	Al fondo del surco	73	4	0.36	B

\* = Medias con la misma letra son estadísticamente iguales

En la tabla anterior se observa que los tratamientos que provocaron los mayores rendimientos fueron, 300 y 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha aplicados al voleo (104 y 101 t/ha, respectivamente).

## 7.8 Análisis económico

Con los datos de rendimiento de cada tratamiento se procedió a realizar un análisis financiero, para determinar que tratamiento presentaba los mejores beneficios económicos para el productor. En la tabla 22 se observa los ingresos totales (en Q.) para cada uno de los tratamientos evaluados, y en la tabla 23 se presenta el estado de resultados.

Tabla 22

*Ingresos por tratamiento (Q.)*

<b>Tratamiento</b>	<b>Rendimiento (t/ha)</b>	<b>Precio (Q./t)</b>	<b>Ingreso Total (Q./ha)</b>
50 fondo del surco (T1)	73	180.00	13,140.00
100 fondo del surco (T2)	80	180.00	14,400.00
150 fondo del surco (T3)	76	180.00	13,680.00
300 fondo del surco (T4)	84	180.00	15,120.00
50 al voleo (T5)	86	180.00	15,480.00
100 al voleo (T6)	85	180.00	15,300.00
150 al voleo (T7)	101	180.00	18,180.00
300 al voleo (T8)	104	180.00	18,720.00

Tabla 23

*Estado de resultados (Q.)*

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>
Ingresos (Q.)	13140.00	14400.00	13680.00	15120.00	15480.00	15300.00	18180.00	18720.00
Egresos (Q.)	7399.75	7780.25	8160.75	9302.25	7399.75	7780.25	8160.75	9302.25
Utilidades (Q.)	5740.25	6619.75	5519.25	5817.75	8080.25	7519.75	10019.25	9417.75
R B/C	1.78	1.85	1.68	1.63	2.09	1.97	2.23	2.01
Rentabilidad (%)	44	46	40	38	52	49	55	50

En la relación beneficio/costo el mejor tratamiento fue 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha al voleo (T7), porque por cada quetzal invertido se recupera ese quetzal y se obtiene una ganancia de Q.1.23. Le sigue el tratamiento 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha al voleo (T5), en el cual por cada quetzal invertido se recupera ese quetzal y se obtiene una ganancia de Q.1.09. El último lugar correspondió al tratamiento de 300 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha al fondo del surco (T4), en el cual por cada quetzal invertido se recupera ese quetzal y se obtiene una ganancia de Q. 0.63.

Para calcular la rentabilidad de cada tratamiento se utilizó la siguiente formula:

$$Rentabilidad = \left( \frac{UN}{IT} \right) \times 100$$

Siendo:

UN = utilidades netas

IT = ingresos totales

El tratamiento más rentable (55%) fue la aplicación de 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha al voleo.

## 8. CONCLUSIONES

- La germinación fue afectada significativamente por la dosis y la forma de aplicación del fósforo. Se obtuvo una mayor germinación (13.38 a 14.25 plantas/metro) cuando se aplicaron al voleo 150 o 300 kg de  $P_2O_5$ /ha.
- La población de tallos fue afectada por la forma de aplicación del fósforo. Fue mayor (13.25 tallos/metro) cuando ésta se hizo al voleo.
- El contenido de fósforo en el tejido foliar y la concentración de clorofila no fueron afectadas por la dosis de fósforo, ni por la forma de aplicación del mismo.
- La altura de planta fue afectada significativamente por la interacción dosis de fósforo por forma de aplicación. Una mayor altura (2.10 a 2.18 metros) se obtuvo cuando se aplicaron al voleo, 150 o 300 kg de  $P_2O_5$ /ha.
- El diámetro del tallo fue afectado significativamente por la dosis y la forma de aplicación del fósforo. El diámetro fue mayor (2.65 cm) cuando se aplicaron al voleo 150 o 300 kg de  $P_2O_5$ /ha.
- El rendimiento de caña fue afectado significativamente por la interacción dosis de fósforo por forma de aplicación. Los rendimientos más altos (101 a 104 t/ha) se obtuvieron cuando se aplicaron al voleo 150 o 300 kg de  $P_2O_5$ /ha.
- El tratamiento más rentable (55 %) correspondió a la aplicación al voleo de 150 kg de  $P_2O_5$ /ha.

## 9. RECOMENDACIONES

- En el programa de fertilización de caña de azúcar en plantía, siempre debe de considerarse la fertilización con fósforo al momento de la siembra, debido a que mejora considerablemente la germinación, el desarrollo vegetativo de la planta y la producción.
- En plantaciones de caña de azúcar plantía se recomienda fertilizar con la dosis de 150 kg de  $P_2O_5$ /ha aplicado al voleo, ya que con esta dosis y forma de aplicación se obtuvieron los mejores resultados.
- Realizar investigaciones con las mismas dosis y formas de aplicación de fósforo a escala semi comercial y comercial, en otras zonas de producción, para validar los resultados de la presente investigación.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Alonzo, O. (2007). BUSCAGRO, Octubre 2007, Argentina. pp 2-3.
- Anderson, D. ; Bowen, J. (1994). Nutrición de la caña de azúcar. Trad. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS), Ecuador. 40 p.
- Asociación de azucareros de Guatemala –ASAZGUA-. (2012). Producción ([www.azucar.com.gt/ingenios.html](http://www.azucar.com.gt/ingenios.html)). Guatemala. Consultado 20 jun. 2016.
- Asociación de azucareros de Guatemala –ASAZGUA-. (2015). Producción ([www.azucar.com.gt/ingenios.html](http://www.azucar.com.gt/ingenios.html)). Guatemala. Consultado 20 jun. 2016.
- Buenaventura, O. (1982). Estudio para la formación del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Guatemala. Guatemala, CENGICAÑA. 52 p. (Documento técnico No. 1)
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar –CENGICAÑA-. (1996). Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. 242 p.
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar-CENGICAÑA. (1994). Morfología de la caña de azúcar. Guatemala. 10 p. Folleto No. 2.
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de azúcar –CENGICAÑA-. (2012). Análisis de resultados de la zafra 2012/13. Guatemala. Disco compacto.
- Chaparro, A.J. (2002). Preparación de tierras. Seminario de Adecuación de Tierras. Memoria. Cali, CO, TECNICAÑA. pp. 16-20.
- Chonay, 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. 147 p.
- DISAGRO. (1994). Suplemento Prensa Libre, beneficios del SAM en el suelo, Junio, 1994, Guatemala.
- FERTIQUISA. (2007). Ficha técnica del fertilizante urea (46-00-00). <http://www.foxitsoftware.com> For evaluation only.
- Flores, C. (1976). Manual de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Guatemala, INTECAP. 171 p.
- García, C. (1983). Evaluación de cinco niveles de fertilizantes en las condiciones de la Estación Experimental Sabana Grande. Tesis de Licenciatura Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 130 p.

- Guerra, G. (1992). Manual de administración de empresas agropecuarias. San José CR, IICA. 579 p.
- Lazcano, I. ( 1999). Informaciones Agronomicas vol. 1, No.7, Instituto de la Potasa y el Fósforo A.C. México y Norte de Centroamérica - Potash & Phosphate Institute.
- Melgar, M. (2014). El cultivo de caña de azúcar en Guatemala. Guatemala: Artemis Edinter.
- Mengel K. y Kirkby, E. (1982). Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Bern P. 655.
- Pérez, O. (2001a). Evaluación de la respuesta a la fertilización fosforada en la zona cañera de Guatemala, segunda soca. *In*: Presentación de resultados de investigación zafra 2000-2001. Memorias. Guatemala. pp. 86-90.
- Pérez, O. (2001b). 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. pp. 98-104.
- Pérez, O. (2012). Nutrición y Fertilización. *En*: Libro “El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala”. Guatemala, CENGICANA. pp. 149-176.
- Ribó, M. (2004). Departamento de recursos naturales. Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado ecológico. Universidad de Valencia. 185 p.
- Romero, E. (2010). Fertilización de la caña de azúcar; criterios y recomendaciones. Manual del cañero, pp. 87-99 .
- Ruiz, R. (1999). Características de algunos fertilizantes nitrogenados para uso de goteo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación La Platina. Ministerio de Agricultura de Chile. Santiago de Chile. 2 p.
- Sephu. (Mayo, 2011). Cultivo de caña de azúcar, corrección de suelos y abonado orgánico húmico complementario a la fertilización química. Noticias Sephu pp. 1-9.
- Soto, G. (1995). Prototipo varietal de caña de azúcar para la agroindustria azucarera guatemalteca. Escuintla, Guatemala, CENGICANA. (Documento Técnico no. 5).
- Thopson, L. (1982). Los suelos y su fertilidad. 4 ed. España, Reverté. 270 p.

## 11. ANEXOS



*Figura 2.* Fertilización al fondo del surco y al voleo antes de la siembra.



*Figura 3. Hechura del surco.*



*Figura 4. Siembra de la caña.*



*Figura 5.* Medición de la concentración de la clorofila.



*Figura 6.* Instrumento utilizado en la medición de la clorofila.



*Figura 7.* Medición del diámetro del tallo.



*Figura 8.* Medición de la altura de la planta.



*Figura 9.* Cosecha de la caña de azúcar.



*Figura 10.* Determinación del peso de la caña.