

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

TÍTULO

**EVALUACIÓN DE OCHO NIVELES DE FÓSFORO EN CAÑA DE AZÚCAR
(*Saccharum officinarum* L.) PLANTIA DE LA FINCA CAMANTULUL EN EL MUNICIPIO
DE SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA.**

TITLE

**EVALUATION OF EIGHT LEVELS OF PHOSPHORUS IN SUGAR CANE
(*Sacharum officinarum* L.) IN THE COUNTRY ESTATE CAMANTULUL OF SANTA LUCIA
COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA**

HÉCTOR RAÚL CEDILLO ACEITUNO

Guatemala, Noviembre 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**RECTOR MAGNÍFICO****LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS****JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

DECANO:	ING. AGR. MSc. FRANCISCO JAVIER VÁSQUEZ Y VÁSQUEZ
VOCAL PRIMERO	ING. AGR. WALDEMAR NUFIO REYES
VOCAL SEGUNDO	ING. AGR. WALTER ARNOLDO REYES SANABRIA
VOCAL TERCERO	ING. AGR. MSc. OSCAR RENÉ LEIVA RUANO
VOCAL CUARTO	P.FORESTAL AXEL ESAÚ CUMA
VOCAL QUINTO	P. CONTADOR CARLOS ALBERTO MONTERROSO GONZALES
SECRETARIO	ING. AGR. MSc. EDWIN ENRIQUE CANO MORALES

Guatemala, noviembre 2010.

Guatemala, noviembre del 2010

Honorable Junta directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración, el trabajo de Graduación titulado

**EVALUACIÓN DE OCHO NIVELES DE FÓSFORO EN CAÑA DE AZÚCAR
(Saccharumofficinarum L.) PLANTIA DE LA FINCA CAMANTULUL EN EL MUNICIPIO
DE SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA.**

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento,

Atentamente,

Héctor Raúl Cedillo Aceituno.

ACTO DEDICADO A:

DIOS Por concederme la oportunidad de alcanzar esta meta, por su infinito amor, bondad y misericordia.

MIS PADRES Juanita de Cedillo y Julio Cedillo (Q.E.D)

MI ESPOSA Amarilis Eleticia, gracias por tu amor y apoyo de toda la vida.
Te amo.

MIS HIJAS Evelyn, Paola, Mariana y Silvia con todo mi amor.

A MI YERNO Y

TODA MI FAMILIA Gracias por su apoyo incondicional.

EN GENERAL.

.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO A:

Mi País Guatemala.

La Universidad de San Carlos de Guatemala.

La Facultad de Agronomía.

Mi esposa

Mis hijas

Mi familia y amigos

AGRADECIMIENTOS A:

Dr. Mario Melgar e Ing. Agr. Fredy Ola, gracias por su apoyo, por sus conocimientos transmitidos y el tiempo dedicado al desarrollo de mi investigación.

Ing. Agr. Edil Rodríguez gracias por su apoyo.

Mis compañeros de la FAUSAC, de CENGICAÑA y del MAGA.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
INDICE DE CUADROS	XI
INDICE DE FIGURAS	XIV
RESUMEN	XV
1.INTRODUCCIÓN	1
2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
3.MARCO TEÓRICO	6
3.1 MARCO CONCEPTUAL	6
3.1.1.-Generalidades.....	6
3.1.2.-Requerimiento Climático.....	7
3.1.3.- Temperatura.	7
3.1.4.-Requerimiento hídrico.....	7
3.1.5.-Radiación.....	7
3.1.6.-Requerimientos edáficos	8
3.2 MORFOLOGÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	8

3.3 RAÍCES DE LA ESTACA ORIGINAL	8
3.4 RAÍCES PERMANENTES	8
3.5 EL TALLO.....	9
3.6 LA FLOR	9
3.7 GENERALIDADES SOBRE NUTRIENTES EN CAÑA DE AZÚCAR.....	9
3.8 LOS NUTRIENTES EN LOS CULTIVOS COMO EN LA CAÑA DE AZÚCAR	11
3.9 IMPORTANCIA DEL FÓSFORO	11
3.10 FERTILIZANTES FOSFORADOS.....	12
3.11 DOSIS DE FÓSFORO EN CAÑA DE AZÚCAR	12
3.12 FORMAS DE APLICACIÓN DEL FÓSFORO	13
3.13 TAMAÑO DEL GRANULO O PERLA.....	13
3.14 ANÁLISIS DE SUELOS Y FOLIAR.....	14
4.MARCO REFERENCIAL	15
4.1 UBICACIÓN DE LA FINCA DONDE SE REALIZÓ EL EXPERIMENTO.....	15
4.2 GEOLOGÍA.....	16
4.3 FISIAGRÁFICA Y GEOMORFOLOGÍA	16

4.4 ZONA DE VIDA	16
4.5 EXTENSIÓN.....	17
4.6 CONDICIONES CLIMÁTICAS	17
4.7 CARACTERÍSTICAS DE LA VARIEDAD DE CAÑA EVALUADA	18
4.7.1 La variedad CP-722086	18
4.8 SUELOS	18
4.8.1 Condiciones del uso del suelo:	19
5.OBJETIVOS.....	20
6.HIPÓTESIS	21
7.METODOLOGÍA	22
7.1 DISEÑO EXPERIMENTAL	22
7.2 TRATAMIENTOS.....	22
7.3 MODELO ESTADÍSTICO	23
7.4 UNIDADES EXPERIMENTALES.....	23
7.5 SEMILLA DE CAÑA UTILIZADA.....	23
7.6 ANÁLISIS PRELIMINAR DEL SUELO.....	24

7.7 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO DEL ÁREA EXPERIMENTAL.....	24
7.9 MANEJO AGRONÓMICO DEL EXPERIMENTO.....	26
7.9.1 Labores previas a la siembra.....	26
7.9.2 Siembra.....	26
7.9.3 Fertilización.....	26
7.9.4 Metodología para determinar el efecto de la aplicación del fósforo en la producción de caña de azúcar por hectárea.....	27
7.9.4.1 Producción de toneladas de caña por hectárea.....	28
7.9.4.2 Población de tallos.....	28
7.9.4.3 Altura de tallos de caña de azúcar.....	28
7.9.4.4 Análisis foliar.....	28
7.10 MUESTREO DE SUELOS.....	29
7.11 RIEGO.....	29
7.12 Métodos estadísticos aplicados para la obtención de resultados.....	29
8.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
8.1 RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR (TM/HA).....	30
8.2 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	38

8.2.1 Población de Tallos.....	38
8.2.2 Altura de plantas.....	40
9.CONCLUSIONES	57
10.RECOMENDACIONES	59
11.BIBLIOGRAFIA	60
12.ANEXOS	60

ÍNDICE DE CUADROS

No.	CONTENIDO	Página
	CUADRO 1. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR	14
	CUADRO 2. DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ESTACIÓN UBICADA EN LA ZONA DE ESTUDIO. (AÑO 1995)	17
	CUADRO 3. DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS EN EL ESTUDIO.	22
	CUADRO 4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FERTILIDAD DE LOS SUELOS OBTENIDOS EN LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. ...	25
	CUADRO 5. RESULTADOS DEL LABORATORIO DE SUELOS DE CENGICAÑA.....	25
	CUADRO 6. RENDIMIENTOS MEDIOS DE CAÑA DE AZÚCAR EN (TM/HA) EN LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS POR EFECTO DE APLICACIÓN DE FÓSFORO.	30
	CUADRO 7. ANÁLISIS DE VARIANZA EFECTUADO PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	31
	CUADRO 8. PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE MEDIAS DE ACUERDO AL CRITERIO DE TUKEY.....	33
	CUADRO 9. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LA MUESTRA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE VIDA.....	34

CUADRO 10. VALORES OBTENIDOS EN EL MODELO DE REGRESIÓN CUADRÁTICA PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR.	35
CUADRO 11. DATOS DE LAS MEDIAS DE LAS TRES FECHAS DE LECTURAS DE POBLACIÓN.	38
CUADRO 12. RESUMEN DE ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE POBLACIÓN DE TALLOS EN TRES FECHAS DE LECTURA.	39
CUADRO 13. ALTURAS DE PLANTA EN CENTÍMETROS A LOS 120,150 Y 180 DÍAS DE EDAD DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR.	40
CUADRO 14. ANÁLISIS DE VARIANZA EFECTUADO PARA LA ALTURA DE LA CAÑA DE AZÚCAR A LOS 120 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	41
CUADRO 15. PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE MEDIAS DE ACUERDO AL CRITERIO DE TUKEY A LOS 120 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA. (MATRIZ DE DIFERENCIAS.)	42
CUADRO 16. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LA ALTURA A LOS 120 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	43
CUADRO 17. ANÁLISIS DE VARIANZA EFECTUADO PARA LA ALTURA EN CENTÍMETROS DE LA CAÑA DE AZÚCAR A LOS 150 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	44
CUADRO 18. PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE MEDIAS DE ACUERDO AL CRITERIO DE TUKEY A LOS 150 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	45
CUADRO 19. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LA ALTURA EN CENTÍMETROS A LOS 150 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	46

CUADRO 20. ANÁLISIS DE VARIANZA EFECTUADO PARA LA ALTURA DE LA CAÑA DE AZÚCAR A LOS 180 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.....	47
CUADRO 21. PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE MEDIAS DE ALTURA EN CENTÍMETROS DE ACUERDO AL CRITERIO DE TUKEY A LOS 180 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	48
CUADRO 22. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS A LOS 180 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	49
CUADRO 23. RESUMEN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE ALTURA DE PLANTA EN LAS TRES FECHAS DE LECTURA.....	50
CUADRO 24. DATOS DE ALTURA DE PLANTA Y RENDIMIENTO DE CADA TRATAMIENTO.....	51
CUADRO 25. VALORES OBTENIDOS EN EL MODELO DE REGRESIÓN CUADRÁTICA PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE CAÑA.	52
CUADRO 26. MODELO MATEMÁTICO UTILIZADO PARA AJUSTAR LOS VALORES DE ALTURA.	53
CUADRO 27. CONCENTRACIÓN FOLIAR DEL FÓSFORO.	55

INDICE DE FIGURAS

No.	CONTENIDO	Página
FIGURA 1.	MAPA DE UBICACIÓN DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR CENGICAÑA.....	15
FIGURA 2.	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LAS DOSIS DE FÓSFORO EVALUADAS SOBRE EL RENDIMIENTO DE CAÑA.....	32
FIGURA 3.	RESPUESTA ESTIMADA EN EL RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR AL UTILIZAR DIFERENTES NIVELES DE P ₂ O ₅ /HA.....	36
FIGURA 4.	RELACIÓN DE RENDIMIENTOS COMPARADOS CON ALTURAS DE LA PLANTA.....	52
FIGURA 5.	COMPORTAMIENTO DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS DE FÓSFORO	54

RESUMEN

EVALUACIÓN DE OCHO NIVELES DE FÓSFORO EN CAÑA DE AZÚCAR (SacharumoffinarumL.) EN LA FINCA CAMANTULUL DEL MUNICIPIO DE SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA.

EVALUATION OF EIGHT LEVELS OF PHOSPHORUS IN SUGAR CANE (SacharumoffinarumL.) IN THE COUNTRY ESTATE CAMANTULUL OF SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA.

El presente estudio se realizó en la finca Camantulul, propiedad del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (Cengicaña) con la finalidad de evaluar las ocho diferentes dosis de fósforo 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 270 kilogramos por hectárea su efecto sobre la producción, altura de planta y población en tres fechas de lectura, para así estudiar la respuesta del cultivo a la fertilización con fósforo, además se tomaron muestras del área foliar para análisis en laboratorio de la concentración de fósforo en este cultivo

En el establecimiento del cultivo se utilizó la variedad de caña CP722086. El fósforo se aplicó en bandas debajo de la semilla, la fuente de fósforo fue el triple superfosfato y el diseño que se empleo fue el de bloques completamente al azar con ocho tratamientos y cuatro repeticiones, teniendo el nitrógeno y el potasio como elementos constantes.

Se encontró que en la siembra de caña de azúcar con las aplicaciones de fósforo mejoro el rendimiento en la producción, otra de las variables que dio significancia fue la altura de la planta en las fechas de 120 y 180 días después de la siembra. De acuerdo con los resultados encontrados en este estudio se demostró que el tratamiento 5 de 120kg/ha de fósforo es el que presenta mejores resultados en la producción de 158.33ton/ha y 246.35cm de altura del cultivo de la caña de azúcar. No presentándose incrementos significativos en la variable población de tallos.

En el estudio se determinaron las dosis adecuadas del fertilizante con base de fósforo con la finalidad de obtener en forma integral una solución viable al problema de la dosificación con el elemento fósforo en la caña de azúcar. La dosis óptima económica se

calculó en base al modelo matemático estadístico siendo esta de 126kg/ha de fósforo en este cultivo.

Debido a que actualmente precios de los fertilizantes a nivel nacional son altos, es recomendable hacer un estudio de la fertilidad de los suelos y tomar en cuenta las dosis óptimas económicas del fertilizante para evitar las sobre dosis y de esta forma no tener pérdidas innecesarias del fósforo en el cultivo de la caña de azúcar.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar en la última década, ha alcanzado gran importancia para Guatemala; después del café; es el segundo producto que más mano de obra campesina emplea: 33,000 cortadores y 267,000 empleos directos e indirectos y en las exportaciones del producto final el azúcar ha situado al país a nivel mundial en el quinto lugar.

El área cultivada para zafra 2006-2007 fue de 192.000 hectáreas, aumentando en relación a la zafra 2005-2006 en 16,000 hectáreas en el departamento de Santa Rosa. El aumento de la producción se manifiesta al observar la zafra 2006-2007 en donde se produjeron 47.1 millones de quintales de azúcar, produciendo para zafra 2005-2006 la cantidad de 41.5 millones de quintales, lo que presenta una variación ascendente de 5.6 millones de quintales; en estos mismos incrementos se atribuyen no solamente al aumento en área sembrada sino al rendimiento en fábrica.

En cuanto al incremento de la producción en toneladas por área que es el objeto de este estudio relacionado con el insumo que en nuestro caso es la fertilización del suelo es necesario que se busquen alternativas en la implementación de programas que den como resultado el uso adecuado y razonable del recurso a través de presentar alternativas del uso de los fertilizantes con pruebas de campo adecuadas a la zona cañera.

El recurso suelo es de vital importancia para la sostenibilidad de la Industria Azucarera en Guatemala para la expansión agresiva del cultivo. Presenta un cambio en el uso de los suelos que antes se destinaban a otros productos agropecuarios. Guatemala

ocupa el primer lugar en Centroamérica en el área cosechada de Caña de Azúcar con el 45.6 % de la superficie total destinada para tal fin, según fuente de la FAO.

La caña de azúcar al ser un cultivo anual desgasta y agota los suelos donde se siembra; alrededor del 63% de los suelos presenta algún grado de erosión; este proceso extractivo exige que la pérdida de fertilidad deba ser compensada con fertilizantes naturales o sintéticos. El uso generalizado de fertilizantes sintéticos sobre todo tipo de suelos muchas veces conlleva a desbalances de los nutrientes además, de incremento en los costos de los insumos de la producción.

La fertilización de la caña de azúcar en los ingenios azucareros, se basa principalmente en el uso de fertilizantes nitrogenados; buen porcentaje el 80 % de ellos utiliza fósforo y un número bien reducido utiliza potasio, en la mayoría los programas son generales, es decir, se usa un programa único para una diversidad de suelos y ambientes. Esto implica un uso inadecuado de los fertilizantes sobresaturando el suelo de algunos nutrientes y privando al cultivo de otros. Los fertilizantes mas utilizados son los que contienen nitrógeno, fósforo y potasio.

En la aplicación de fertilizantes, solo se toman en cuenta los criterios establecidos en la finca, los precios y las recomendaciones de las compañías que los distribuyen, tratando en el presente estudio de establecer un método de aplicación práctica para la fertilización evaluando la dosificación con un solo elemento que es el fósforo y tomando los efectos en las variables de respuesta, los cuales fueron: cantidad de tallos, altura de plantas, concentración del elemento fósforo en la lamina foliar y las toneladas de caña por hectárea producidas.

Se hace necesario en la actualidad adaptar tecnologías como variedades más productivas, métodos de riego más eficientes y una fertilización en base al requerimiento del cultivo y la fertilidad natural de los suelos para optimizar algunos de los recursos de la unidad de producción agrícola la finca.

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, se planteó esta investigación con el objetivo determinar el efecto del fósforo en ocho niveles sobre la producción de caña.

En este estudio se pudo determinar que las aplicaciones del elemento fósforo que presentan los mejores rendimientos de producción se encuentran dentro del rango de 120kg/ha a 150kg/ha siendo estos los tratamientos cinco y seis respectivamente, determinando que la cantidad óptima económicamente de aplicación del elemento fósforo en el rendimiento de caña de azúcar es de 126.6kg/ha para el suelo en donde se realizó este estudio, siendo el tratamiento cinco el que presenta mayor altura y rendimiento en la caña de azúcar.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La obtención de altos rendimientos en caña de azúcar depende de la óptima interacción de varios factores. Entre los cuales, la nutrición ocupa un papel primordial, el fósforo está considerado entre los tres primeros nutrientes necesarios para el desarrollo de los cultivos.

En el XVII Congreso de la Ciencia del suelo, Mar de Plata 2000, Buenos Aires Argentina se presentaron resultados de investigaciones sobre dosificación de fósforo en el cultivo de la caña de azúcar. En Guatemala en anteriores estudios sobre la determinación de los niveles no se había evaluado el fósforo como único elemento y su efecto en el cultivo de la caña de azúcar. Se determinó primero haciendo una encuesta en el campo con los encargados de la fertilización en las fincas, solamente se hacía con base a la experiencia adquirida en el cultivo o los requerimientos del cultivo, no tomando en cuenta lo relacionado con las características químicas y edáficas de los suelos donde se cultiva, por lo que los muestreos de suelos no eran una práctica adaptada en los ingenios (3).

Otro de los problemas de la fertilización en las fincas es el uso únicamente de los nitrogenados en base a sulfato de amonio y de urea dejándose de aplicar fósforo, en algunos casos se aplica el 20-20-0, 15-15-15 por ser fórmulas comerciales en el país (17).

Las dosis anteriormente evaluadas siempre eran en forma de compuestos y no en la forma simple como se evaluó en el presente estudio, tratando de obtener la mayor información sobre los suelos de la región y su comportamiento sobre el aumento de la

producción de caña de azúcar al incrementar la dosis para mejorar la fertilidad de los suelos.

Otro de los problemas de la fertilización de la caña con fósforo, no se realizaba como política de algunos ingenios, porque se decidió aplicar solamente nitrógeno amoniacal en forma de gas por el bajo costo.

Sobre la base de lo anterior, solamente al momento de la siembra se hace una sola aplicación del elemento fósforo y se da por hecho que por la poca movilidad estará disponible durante todos los siguientes ciclos del cultivo.

La mayor importancia de la aplicación de fósforo es que al dejar de hacerlo, se reduce el número de tallos, se produce un mal desarrollo las raíces tornándose de color marrón, las hojas son angostas, pequeñas, de color rojo y púrpura trayendo como consecuencia un menor tiempo de vida, teniéndose que recurrir a las renovaciones completas del cultivo.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1.-Generalidades

La caña de azúcar es una gramínea originaria de la India. Fue introducida en Guatemala por los españoles y las primeras plantaciones se desarrollaron en San Jerónimo Baja Verapaz, posteriormente se extendió al sur del país a los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu, Santa Rosa y Sacatepéquez.

Indica que los ingenios azucareros se manejan de una manera tradicional, mas a manera de finca que como la agroindustria. El auge del sector azucarero se inicio en año 1960 con el bloque económico impuesto por los Estados Unidos de América a la isla de Cuba que era su principal abastecedor de azúcar, lo cual llevo a los países latinoamericanos a incrementar sus producciones para suplir el mercado norteamericano(3).

En la actualidad, Guatemala exporta el 68 % de su producción y el 32% restante lo destina al mercado interno.

Esto lleva a ocupar el quinto lugar en volumen de producción y el tercero en exportación dentro de los países de América y del Caribe. Guatemala esta ubica entre los diez países exportadores más importantes en el mundo. A nivel nacional el azúcar ocupa el segundo lugar en la economía del país de ingresos por concepto de impuesto a las exportaciones, precedida únicamente por el café. No permitiendo incorporar nuevas áreas de cultivo por los altos costos del transporte de la caña de azúcar desde la finca productora.

3.1.2.-Requerimiento Climático

3.1.3.- Temperatura.

La temperatura óptima para la germinación de las yemas y el desarrollo del cultivo, se ubica entre los 27° C y 33° C. A valores de 20° C el crecimiento disminuye notoriamente y si la temperatura disminuye más, el crecimiento prácticamente se paraliza. Cuando la temperatura es mayor a los 35° aumenta la respiración y disminuye la tasa fotosintética, lo que ocasiona una reducción en el crecimiento y por lo tanto, una menor acumulación de materia seca(26).

La temperatura afecta también otros procesos como el de la floración. En las zonas mas calientes, la floración es mucho mayor.

3.1.4.-Requerimiento hídrico

El suministro de agua, es necesario durante todo el periodo de crecimiento. En promedio, se requiere de 1200 a1500 mm anuales, distribuidos de la mejor forma posible durante el periodo vegetativo. La demanda aumenta en relación con el crecimiento de la planta, debido al incremento de la transpiración (26).

3.1.5.-Radiación

La radiación solar es la principal fuente de energía de las plantas. La caña de azúcar pertenece al grupo de las plantas que posee un sistema fotosintético C₄ capaz de fijar la luz de manera más eficiente. Cuanta mayor radiación exista, mayor será la eficiencia

fotosintética, aspecto muy relacionado con la producción y acumulación de carbohidratos (26).

3.1.6.-Requerimientos edáficos

El cultivo de la caña puede desarrollarse en una amplia diversidad de suelos, desde los arcillosos pesados hasta los componentes orgánicos. Es aconsejable que la textura sea franco arcilloso, franco arenosa o limosa, con buena estructura y capacidad de retención de humedad, pero a la vez, friable, con un horizonte profundo, sin problemas de drenaje y salinidad, características que deben permanecer al en los primeros 50 cm del suelo. El nivel freático debe estar ubicado preferentemente en profundidades mayores de 75 cm. El pH debe oscilar entre 5.5 y 8.0 (26).

3.2 Morfología de la caña de azúcar

Las partes básicas de la planta que determinan su forma son: la raíz, el tallo, la hoja y la flor. Todas inciden en el normal desarrollo de la planta (11).

3.3 Raíces de la estaca original

Se originan a partir de la banda de primordios radicales, localizada en el anillo de crecimiento del trozo original (estaca) que se planta o siembra.

3.4 Raíces permanentes

Brotan de los anillos de crecimiento radical de los nuevos brotes. Son numerosas, gruesas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza en la división de nuevas raíces.

3.5 El tallo

El tallo es el órgano mas importante dentro de la planta de caña de azúcar, es en él donde se almacena los azúcares. La caña de azúcar forma cepas constituidas por aglomeración de los tallos.

Los tallos están formados por nudos, que se encuentran separados por entrenudos en los que se desarrollan yemas y hojas.

La hoja de la caña de azúcar se originan en los nudos y se distribuyen en posiciones alternas a lo largo del tallo a medida que este crece. Cada hoja está formada por una lamina foliar y por una vaina o yagua.

3.6 La flor

La inflorescencia de la caña de azúcar es una panícula sedosa en forma de espiga. Está constituida por un eje principal con articulaciones en las cuales se insertan las espiguillas, una frente a la otra; estas contienen una flor hermafrodita.

3.7 Generalidades sobre nutrientes en Caña de Azúcar

Guatemala se ha visto en la necesidad de tecnificar sus campos, pues los costos de arrendamiento de la tierra se han incrementado y esto ha causado que se incrementen los costos por hectárea del cultivo. Solamente se tiene como alternativas el incremento de la producción de las áreas ya establecidas y esto se puede lograr siendo eficiente en la selección de semillas, el riego tecnificado y la aplicación de nutrientes, estos últimos son básicos para poder obtener una producción y lograrla sostener en un periodo mas

prolongado de la vida útil de la plantación. Los nutrientes son elementos o compuestos inorgánicos simples que el cultivo necesita para su normal desarrollo. Estos elementos se pueden mejorar su aplicación para generar tecnologías que se requieren para el cultivo de la caña de azúcar en esto juega un papel de suma importancia la fertilización, la cual en las fincas de los ingenios la llevan a cabo pero con fertilizantes nitrogenados en la forma de sulfato de amonio o de urea como fuente de nitrógeno, el fósforo en forma del 0-46-0 como triple superfosfato o como fertilizante compuesto, estas aplicaciones se hacen casi en el ochenta por ciento de los ingenios tomando en cuenta el criterio, la experiencia o la tradición en el uso de los fertilizantes dentro de la empresa guillados algunas veces por los precios de las compañías distribuidoras y en pocos casos basados en el análisis de suelos (3).

El presente estudio trato sobre como determinar las dosis adecuadas del fertilizante con base fósforo con el fin de integrar una solución viable al problema de la fertilización con el elemento fósforo en el sentido de determinar una dosis que sea donde se obtenga una buena respuesta del cultivo. Puesto que a nivel de otras fuentes se ha obtenido las respuestas pero solo en forma de compuestos que se hace imposible determinar a qué se deben las respuestas.

La producción puede incrementarse en 20% con la siembra de mejores variedades adaptadas a las condiciones de la zona y al uso de tecnologías apropiadas como la fertilización, control de plagas y enfermedades, riegos y maduración química, etc.

3.8 Los nutrientes en los cultivos como en la caña de azúcar

Se clasifican en dos grupos siendo estos:

A. macro nutrientes: N, P, K, Ca, Mg y S

B. micro nutrientes: Zn, B, Fe, Mo, Cu, Mn y Cl

El nitrógeno, el fósforo y el potasio son los elementos que mas frecuentemente se encuentran en cantidades deficientes en la mayoría de los suelos y regularmente son los que se encuentran en las fórmulas que se comercializan ya sea en mezclas llamadas físicas o químicas, el resto de los nutrientes se encuentran asociados a otros factores que los limitan su disponibilidad en el suelo como el pH, textura, sequía, etc. Y sus deficiencias no son tan comunes (23).

3.9 Importancia del fósforo

El fósforo es un componente estructural de los ácidos nucleicos azúcares fosforilados, también están involucrados en todos los procesos de transformación de la energía de la planta (Gastón, 1961; Greulach y Adams 1976). El fósforo es absorbido generalmente en la forma del Ion ortofosfato primario por las raíces de las plantas, el mismo es absorbido diez veces más rápido que el Ion secundario P_2O_5 (Barben 1980). (6).

La deficiencia de fósforo se manifiesta porque hay reducción del número de tallos, un mal desarrollo y origina raíces anormales de color marrón (Humberto, 1974). Anderson y Bowen (1990) señalan que el efecto generalizado sobre toda la planta, las hojas angostas y pequeñas y son de color rojo o púrpura, generalmente se seca la punta y los márgenes de

las hojas; por otro lado el exceso de fósforo puede ser dañino para el desarrollo del cultivo ya que puede inducir una deficiencia de hierro y zinc (27).

3.10 Fertilizantes fosforados

Las fuentes minerales más común es la roca fosfórica esta se obtiene en forma natural de las minas pero se toma como materia prima para producir otros fertilizantes como el triple superfosfato 0-46-0 siendo este de los más utilizados por ser una fuente de fósforo barata, también está el fosfato monoamónico o MAP que tiene un grado 10-50-0, y el fosfato diamónico que es una fuente de nitrógeno además de fósforo.

La roca fosfórica presenta muy baja solubilidad en suelos neutros 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 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 (27).

3.11 Dosis de fósforo en caña de azúcar

Las dosis utilizadas en fincas de los ingenios en Guatemala, varían desde 45-256 kilogramos de P_2O_5 por hectárea generalmente aplicado en renovaciones no así en cultivos ya establecidos al igual que para el nitrógeno no existen criterios para la estratificación en el uso de este fertilizante (Quintero 1993); así mismo en Cuba las dosis no sobrepasan los 50 kilogramos por hectárea de P_2O_5 (Villegas, 1986), Orlando 1991 reporta que en el estado de Sao Paulo Brasil dependiendo del fósforo disponible en el suelo, las dosis van desde 30

a 150 kilogramos por hectárea debido a poca movilidad que son características que presenta el elemento fósforo en el suelo, se debe colocar lo más cercano al área donde las raíces absorben los nutrientes de tal forma que se necesita una primera aplicación de fósforo en el fondo del surco, esto es de gran importancia para poder contrarrestar los efectos de fijación que tienen los suelos en relación al fósforo con otros elementos del suelo forman los fosfatos de hierro o zinc y se vuelven no disponibles para la planta, en los cultivos ya desarrollados se hace en bandas en forma manual o mecanizada aplicado a uno de los lados de las macollas cubriéndolo con suelo y se hace en una aplicación conjuntamente con el nitrógeno y el potasio para no duplicar gastos de aplicación (20).

3.12 Formas de aplicación del fósforo

Debido a la poca movilidad del fósforo en el suelo, su colocación debe ser lo más cercano posible al área de influencia de las raíces; de tal manera que en plantía es conveniente aplicarlo al momento de la siembra, en el fondo del surco, esto es de gran importancia por la fijación de fosfatos. Si es necesario, la aplicación en socas deberá hacerse en bandase incorporarlos al suelo, justamente con el fertilizante nitrogenado (20).

3.13 Tamaño del granulo o perla

El tamaño o perla del fertilizante se prefiere en contra de los pulverizados. Los diámetros de estos productos se ubican entre los 2 hasta 8 milímetros de diámetro.

Cuadro 1. Requerimientos nutricionales del cultivo de caña de azúcar

Elementos	N	P	K	Mg	S
Kg./ha	235	112	370	31	28

(Fuente: INPOFOS)

En base a los datos de extracción de los nutrientes que necesita el cultivo, estos datos son los nutrientes para una producción de 124 toneladas de caña de azúcar (10).

3.14 Análisis de suelos y foliar

El análisis de suelos sirve como base principal para determinar las fórmulas de fertilizantes que conviene aplicar en la finca, así como para determinar las dosis por hectárea por año. El análisis foliar se realiza posteriormente a la aplicación para determinar la asimilación del nutriente por la planta(8).

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 UBICACIÓN DE LA FINCA DONDE SE REALIZÓ EL EXPERIMENTO

La finca experimental de CENGICAÑA, que comprende actualmente una extensión de ochenta hectáreas, que pertenecían al Ingenio Madre Tierra es en la actualidad propiedad del Centro de investigaciones de la caña de azúcar (Cengicaña) está situada 2 kilómetros al sur oeste de la cabecera municipal de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla.

Se localiza en las coordenadas latitud $14^{\circ} 19'18''$ longitud $91^{\circ}03'12''$, a una altitud de 270 metros sobre el nivel del mar.

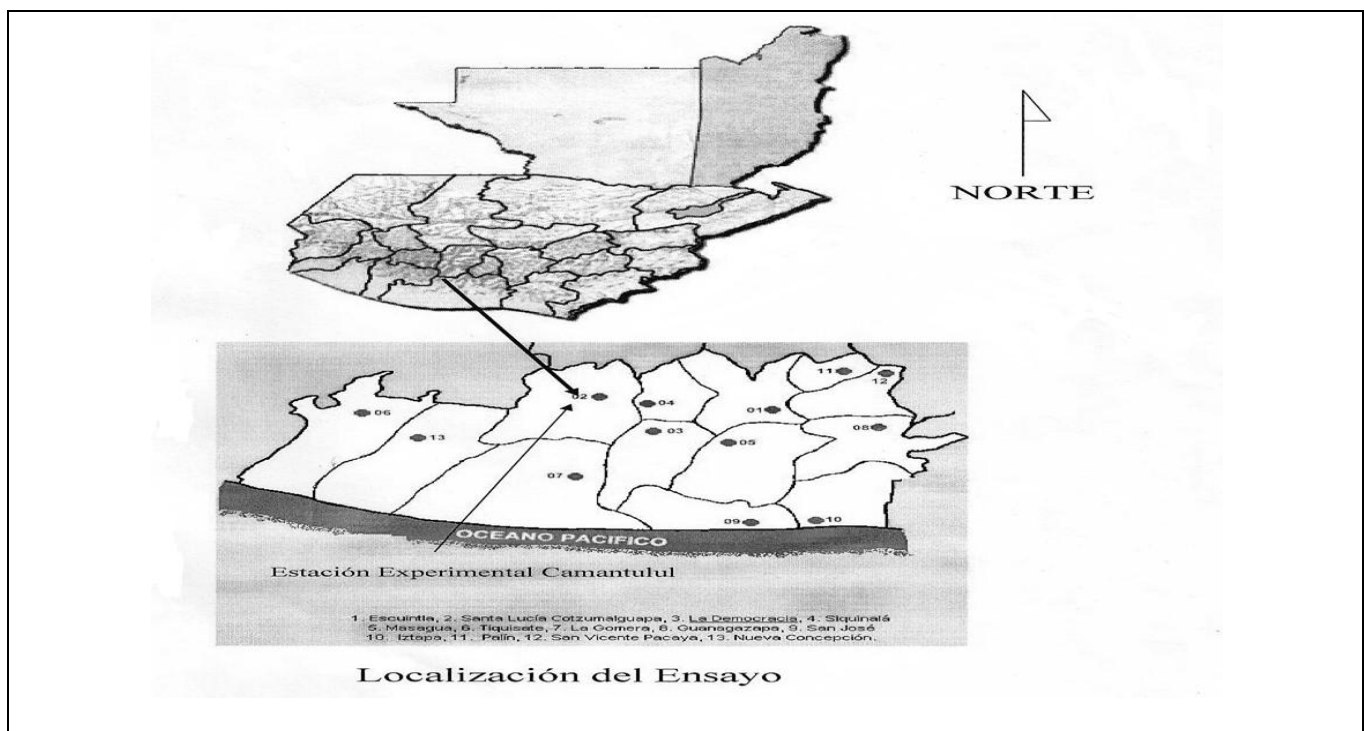


Figura 1. Mapa de ubicación del Centro de investigación de la caña de azúcar CENGICAÑA

4.2 Geología

Según el Atlas Nacional de Guatemala, a la escala 1:250,000, los suelos se han desarrollado sobre material parental de aluviones del cuaternario (qa); que han sido formados a lo largo del litoral del pacifico por los productos de la erosión de las tierras altas volcánicas, gravas, pómez y depósitos Lateríticos de espesores desconocidos. (13).

4.3 Fisiográfica y geomorfología

Las fincas se encuentran localizadas en el cuerpo de abanico al pie de la cadena montañosa del pacifico, el relieve varia de ligeramente ha fuertemente ondulado en las partes altas y ligeramente inclinado en el cuerpo de abanico. CENGICAÑA (4)

4.4 Zona de vida

El mapa elaborado por de la Cruz (7) basado en el sistema Holdrige indica que el área se encuentra en la zona de vida bosque muy húmedo subtropical cálido. La zona de vida se encuentra en el mapa con el símbolo bh-s esta zona de vida es segmentado de húmedo subtropical, correspondiente a la zona baja para diferenciarla de la alta se usa la letra © donde la biotemperatura es obtenida por medio de cálculos utilizando la temperatura de 30 grados.

La zona comprende una franja de 10 a20 kilómetros de ancho, desde la zona fronteriza del territorio Salvadoreño hasta la frontera con México limitado por el océano Pacifico. (7).

4.5 Extensión

La superficie total de esta zona de vida es de 27,000 kilómetros cuadrados, lo que representa el 24.81 por ciento, ocupa el segundo lugar en extensión de la superficie total del país. (7).

4.6 Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas varían un poco si se relacionan las de la costa sur con las de la zona norte, tanto en precipitación como en temperatura de seres vivos en la costa sur y más horas de luminosidad.

Cuadro 2. Datos Climatológicos de la estación ubicada en la zona de estudio. (Año 1995)

Estación	Zona de Vida	Precipitación	Temperatura	Humedad
		mm	°C	Relativa
Camantulul	BmH-s(c)	3577.57	24.84	80.5

(Fuente: Clasificación de la zona de vida de Guatemala)

Los terrenos correspondientes a esta zona de vida poseen por lo general una topografía suave. La vegetación natural está constituida por: *Sterculiaapetala*, *Platymiciumdimorfidium*, *Chlarolphoratintotia*, *Cordiaallidoray* otras más. (7)

El cultivo de la caña de azúcar es característico de la zona de vida

4.7 Características de la variedad de caña evaluada

4.7.1 La variedad CP-722086

Posee un color verde amarillento, sin embargo, 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). Es altamente floreadora (más del 90%), sin embargo dicha floración disminuye en las fincas de la zona baja debido principalmente al foto periodo. Para la variedad CP- 72-2086 se han encontrado valores de 14.05 % de fibra. Es una variedad de muy buen tonelaje de caña y de alta productora de azúcar. (3).

4.8 Suelos

Según Simmons (24) la finca Camantulul se encuentra localizada sobre los suelos Camantulul (cl), originados sobre cenizas volcánicas cementados de color claro, relieve fuertemente ondulado, drenaje interno moderado, con un café oscuro a muy oscuro, textura franco arcilloso, consistencia friable y un espesor aproximado de 25 centímetros.

El estudio semidetallado de la zona cañera de Guatemala ubicada en estos suelos según la taxonomía en el orden de los Andisoles, los cuales ocupan el 25.5 por ciento de los suelos de la zona cañera y se encuentra en el cuerpo y zona baja del abanico en el ápice del abanico se encuentra localizada la cadena montañosa de la sierra madre. (4).

Los Andisoles son suelos poco evolucionados, de colores de alto contenido de materia orgánica, baja densidad aparente, consistencia friable a suelta, desarrollados principalmente sobre materiales amorfos, son de reacción acida a ligeramente acida y de alta Capacidad de retención de fósforo. Las texturas de estos suelos predominantemente son franco o franco arenoso, con Ph ligeramente acido, sin ningún problema de aluminio, la materia orgánica se encuentra en un nivel alto y con buena capacidad de intercambio cationico.

Con los resultados obtenidos tomando en cuenta los niveles críticos para el elemento fósforo usando una solución extractora de Carolina del Norte, se determinó que el fósforo según los resultados de las rutinas de laboratorio se encuentra en 2.12 y menor de 0.5 ppm respectivamente en cada muestras, según la literatura consultada debería de estar entre 15-30 ppm. Los análisis se hicieron en el laboratorio Salvador Castillo de Facultad de Agronomía y en Cengicaña. Se hizo además una curva de retención para estos suelos dando como resultado que el 90 por ciento del fósforo es retenido, esto significa que de 100 kilogramos de fósforo 90 quedaran fijados en el suelo (7).

4.8.1 Condiciones del uso del suelo:

Los terrenos correspondientes a esta zona de vida, especialmente los de la Costa Sur son los mas adecuados para los cultivos y la ganadería por tener suelos bastante fértiles, profundos y bien drenados. En esta faja ocupan el primer lugar las actividades fitotecnias y pecuarias, como cultivo de la caña de azúcar, banano, palma África, hule, etc. y algunas áreas con ganado bovino.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Generar información sobre los niveles más adecuados de uso de fósforo en el cultivo de la caña de azúcar en los suelos Andisoles con antecedentes diferentes en las prácticas de fertilización.

5.2 Objetivos Específicos

- 1) Determinar el efecto del fósforo en el rendimiento de campo, en toneladas de caña por hectárea.
- 2) Determinar el efecto de las aplicaciones de fósforo sobre el aumento de la población de tallos.
- 3) Determinar el efecto en la altura de la planta
- 4) Determinar el efecto de la concentración de fósforo foliares en base a resultados del laboratorio.

6. HIPÓTESIS

- 1) Las aplicaciones de fósforo, en diferentes dosis en caña de azúcar(*Saccharumofficinarum L.*)producirán incremento en el tonelaje de caña por hectárea.
- 2) Las aplicaciones de fósforo, en diferentes dosis en caña de azúcar (*Saccharumofficinarum L.*) Producirá un incremento en la población de tallos y un aumento en altura (cm) de los mismos.
- 3) Las aplicaciones de fósforo influirán en el aumento de la concentración de fósforo foliar.

7. METODOLOGÍA

7.1 Diseño experimental

El ensayo se dispuso en el diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones.

7.2 Tratamientos

Los tratamientos considerados en el estudio fueron las dosis de fósforo que variaron de 0 a 270 kilogramos de P_2O_5 /ha; la descripción de los mismos se presenta en el cuadro 3.

Cuadro 3. Distribución de los tratamientos evaluados en el estudio.

No. de Tratamientos	Dosis de Nitrógeno	Dosis de Fosforo	K ₂ O
1	100	0	60
2	100	30	60
3	100	60	60
4	100	90	60
5	100	120	60
6	100	150	60
7	100	180	60
8	100	270	60

Fuente: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar

7.3 Modelo estadístico

El modelo estadístico que se empleó en el análisis fue el siguiente:

$$Y_{ij} = m + T_i + B_j + e_{ij}$$

Dónde:

Y_i = Producción de toneladas de caña por hectárea.

M = Media general del peso de la producción en toneladas por hectárea.

T_i = Efecto de las dosis de fósforo.

B_j = Efecto de j-esimo bloque.

E_{ij} = Error experimental asociado a la ij-esima unidad experimental.

7.4 Unidades experimentales

La unidad experimental, comprendió 105 metros, consistente en 7 surcos de 10 metros de largo, cada uno de ellos distanciados 1.5 metros entre sí. La parcela neta resultó de la eliminación de los surcos 1 y 7, dejando los surcos centrales para la toma de lecturas en el cultivo de la caña el área experimental total fue de 3464 metros. Se presenta un croquis en anexo de la posición en que quedaron los distintos tratamientos.

7.5 Semilla de caña utilizada

Variedad de caña plantía (primera siembra) de la variedad CP-722086, pues de acuerdo CENGICAÑA(1995) es la variedad comercial que más se siembra. En la 1994-1995, esta variedad fue cultivada en más 60% de la zona cañera de Guatemala. (25)

7.6 Análisis preliminar del suelo

Antes de la aplicación de los fertilizantes, se realizó un muestreo de suelos para su análisis. El muestreo se realizó tomando una submuestra por cada bloque a 0-30 cm y 30-60cm de profundidad para obtener dos muestras del área de estudio. Se envió una muestra al laboratorio de suelos y agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala y una al laboratorio de CENGICAÑA.

7.7 Características químicas del suelo del área experimental

Se obtuvo el conocimiento de las características químicas del suelo en base a los resultados de las rutinas que se realizaron en el laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos y al laboratorio de CENGICAÑA presentando en los siguientes cuadros los datos del laboratorio de los cuales podemos observar que el fósforo se reporta con un nivel muy bajo del nivel crítico para el cultivo de la caña de azúcar que deberían de estar por arriba de 15 a 30 ppm para el cultivo de la caña de azúcar.

Cuadro 4. Resultados del análisis de fertilidad de los suelos obtenidos en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

		Ppm		Meq/ml				
Profundidad	pH	P	K	Ca	Cu	Zn	Fe	Mn
0-30 cm.	5.86	2.12	88	5.3	0.5	3.5	6.5	3.0
30-60 cm.	5.77	2.12	105	4.68	0.5	2.5	7.0	2.5

Cuadro 5. Resultados del laboratorio de suelos de CENGICAÑA

		Ppm		Meq/ml			
Profundidad	pH	P	K	Ca	Cu	Zn	Mg
0-30 cm.	5.86	<0.5	53	10.44	<0.5	3.6	1.23
30-60 cm.	5.77	<0.5	16	7.47	<.0.5	.4	1.23

7.8 Reporte de laboratorio

La textura del suelo es franco arenoso, con pH ligeramente ácido, sin ningún problema de aluminio, materia orgánica en un nivel alto, con buena capacidad de intercambio catiónico. Con los datos obtenidos y tomando como base los niveles críticos para el elemento fósforo usando la solución extractora Carolina del Norte, se determinó que el fósforo está en un nivel muy bajo para las dos profundidades.

7.9 Manejo agronómico del experimento

7.9.1 Labores previas a la siembra

En secuencia la primera actividad que se realizó es el retiro de residuos que se encontraban en el terreno en el cual se hizo un paso de arado y dos de rastra se dejó mullido el suelo en el cual se trazaron los surcos con azadón y se dio un riego de germinación se colocó el fertilizante triple-superfosfato en el fondo del surco con una distribución lo más uniforme manualmente.

7.9.2 Siembra

Cortada la semilla, se le hizo una selección para verificar que los esquejes tuvieran sus yemas viables. La siembra se hizo, utilizando 12 yemas por metro lineal.

La caña utilizada fue de la variedad CP-722086, de maduración temprana, de crecimiento erecto, con entrenudos largos y delgados y de color verde, con una distancia entre surcos 1.5 metros.

7.9.3 Fertilización

Al momento de la siembra se aplicó fósforo en el fondo del surco, según los tratamientos asignados a cada parcela la fuente de fósforo que se utilizó fue el triple superfosfato (tps), el potasio se aplicó en dosis uniformes con la fertilización fosfórica, como fuente de potasio se utilizó el cloruro de potasio (K_2Cl). que su grado es 0-0-60 en la forma como se comercializa El nitrógeno se hizo una primera aplicación en dosis del 50% de la

dosis total y luego una segunda aplicación del 50%, el contenido de la urea que se utilizó es del 46% nitrógeno.

Los niveles de fertilización fueron de acuerdo a los tratamientos indicados en el cuadro 3.

a. fertilización base

Se hicieron aplicaciones uniformes de Urea y Cloruro de potasio a razón de 100 Kg. de Urea por hectárea y 60 Kg. por hectárea de Cloruro de potasio.

b. Fuente de fertilizante

La fuente nitrogenada usada fue la Urea (46 % N). La fuente del potasio es Cloruro de potasio (60 % K_2O). La fuente de fósforo es el triple superfosfato que contiene (46% P_2O_5)

c. Épocas de aplicación

El fósforo y el potasio se aplicaron en el fondo del surco, al momento de la siembra. El nitrógeno como urea se aplicó en banda e incorporado al suelo a los 30 días después de la siembra en una primera dosis equivalente al 50 % de la dosis total de todos los tratamientos. El resto del nitrógeno se hizo a los 120 días después de la siembra, a mano e incorporado.

7.9.4 Metodología para determinar el efecto de la aplicación del fósforo en la producción de caña de azúcar por hectárea.

7.9.4.1 Producción de toneladas de caña por hectárea

En cada unidad experimental se registró la producción obtenida al término del ciclo del cultivo, en función de los tallos ya maleteados y pesados, registrándose el valor en toneladas por hectárea.

7.9.4.2 Población de tallos

Se contó la cantidad de tallos presentes en los cinco surcos centrales de cada parcela experimental. Este conteo se realizó a los cuatro, cinco y seis meses de edad del cultivo.

7.9.4.3 Altura de tallos de caña de azúcar

Las lecturas se efectuaron desde los 120,150,180 días después de la siembra, se midió cada planta desde el suelo hasta la altura del último cuello visible. Se midieron (5tallos/surco) de los 5 surcos centrales de cada unidad experimental haciendo un total de las 25 plantas por parcela. Se marcaron las plantas con nylon rojo al momento de la primera lectura 120 días, se tomaron lecturas cada 30 días hasta la cosecha.

7.9.4.4 Análisis foliar

Se tomaron las muestras de la lámina de la hoja a los seis meses del cultivo. Para lo cual se tomó el tercio medio de la hoja correspondiente al primer cuello visible sin incluir la nervadura central de las hojas correspondientes al primer cuello visible sin incluir la nervadura central de las plantas de los tres surcos centrales compuesta la muestra de 15 laminas por tratamiento.

7.10 Muestreo de suelos

Estas fueron extraídas en el sitio donde se condujo el ensayo. Se extrajeron muestras del suelo al azar para la formación de una muestra compuesta, las submuestras obtenidas se mezclaron y se obtuvo una muestra compuesta de dos quilogramos, representativa de donde se estableció el cultivo. Se tomaron muestras en las siguientes profundidades de 0-30 cm. Y de 30-60 cm. tomando en cuenta la profundidad de raíces las muestras se secaron a la sombra y se llevaron a los laboratorios.

7.11 Riego

Dos días antes de la siembra de la caña se hizo un riego de mantenimiento de humedad para garantizar el nivel adecuado de agua disponible en el suelo.

7.12 Métodos estadísticos aplicados para la obtención de resultados

a) Análisis de varianza.

Las variables de respuesta estudiadas, fueron sometidas al análisis de varianza del diseño de bloques al azar para determinar el efecto principal del elemento fósforo se hizo un análisis de regresión para crear un modelo matemáticoestadístico para ver la relación de los resultados obtenido en la toneladas de caña obtenidas con la dosis de fósforo.

b) Prueba de comparación múltiple de medias de acuerdo al criterio de Tukey.

Las variables de respuesta obtenidas con los resultados del análisis de varianza, fueron sometidas a la prueba de comparación múltiple de medias de acuerdo al criterio de tukey, ya que con dicha prueba se concluye que las variedades de tratamientos de fósforo

presentan efectos diferenciados en cuanto a la producción de caña de azúcar, logrando con esto discriminar ciertos tratamientos y determinar el tratamiento óptimo.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Rendimiento de caña de azúcar(Tm/ha)

Cuadro 6. Rendimientos medios de caña de azúcar en (Tm/ha) en los tratamientos evaluados por efecto de aplicación de fósforo.

Tratamiento	Dosis de fósforo (kg. P ₂ O ₅)	Rendimiento de caña (Tm/ha)
1	0	132.76
2	30	141.47
3	60	157.38
4	90	153.33
5	120	158.33
6	150	158.71
7	180	151.32
8	270	160.35

Se presentan las medias del rendimiento de producción de caña expresado en toneladas métricas por hectárea correspondiente a los tratamientos evaluados en el sitio de estudio.

En los valores promedios presentados en el cuadro 6 se observa que el máximo rendimiento de toneladas de caña (160.35 Tm/ha) se obtuvo con la dosis más alta de fósforo evaluada en el ensayo de 270 kg de P_2O_5 /ha que corresponde al tratamiento 8; por otro lado como era de esperarse el testigo (tratamiento 1) sin aplicar fósforo es el que presentó el más bajo rendimiento (132.76 Tm/ha).

Cuadro 7. Análisis de Varianza efectuado para la variable rendimiento de caña de azúcar.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Pr>F
Tratamientos con Fósforo	7	7,175.92	1,025.13	0.0001**
Repeticiones	3	8,942.11		-----
Error Experimental	79	8,659.29	109.61	
Total	89	24,777.32		
Coefficiente de variación (%)	9.8403	-----		

En los resultados del análisis de varianza del cuadro 7, se puede observar que se obtuvieron diferencia altamente significativas para el factor en estudio en la variable rendimiento de caña; esto es congruente con los valores medios del rendimiento de caña (TM/ha) presentados en el cuadro 6 donde se observa un consistente incremento en la

producción conforme las dosis de fósforo evaluadas fueron más altas, esto a su vez indica que hay una respuesta del cultivo a la fertilización fosforada.

En la **figura 2** se presentan los rendimientos medios de caña de azúcar de acuerdo a las dosis de fósforo evaluadas en el ensayo.

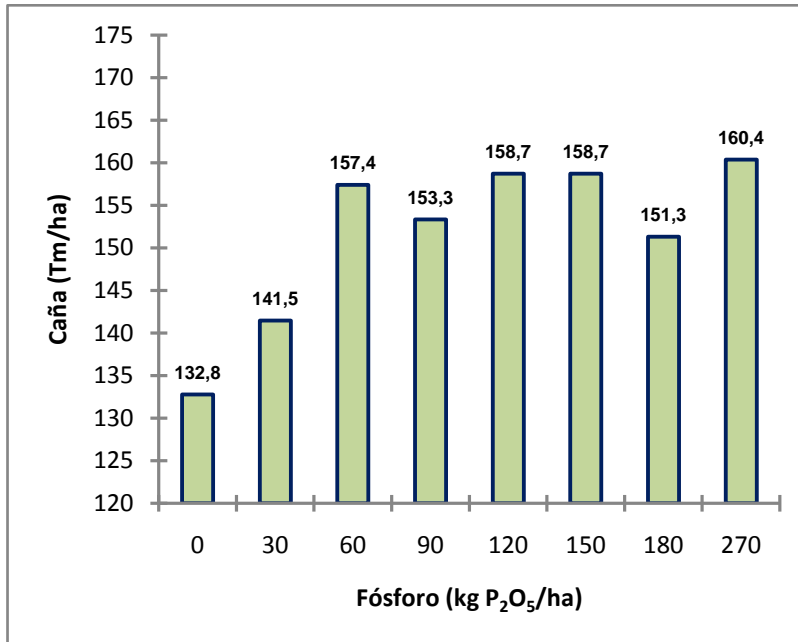


Figura 2. Efecto de la aplicación de las dosis de fósforo evaluadas sobre el rendimiento de caña.

Se puede observar en la figura 2 que todas las dosis de fósforo rindieron más en términos de producción de caña en comparación con el testigo sin fósforo. Este incremento en la producción por efecto de la aplicación de fósforo y por ende la diferencia estadísticamente significativa, determinada en el análisis de varianza era esperada debido a que en el orden de suelo Andisol correspondiente al sitio de estudio, Los Andisoles del sur del país se caracterizan por ser poco profundos y tener bajos contenidos de bases y otros

elementos (Alvarado et al. 2001). Se determinó que los suelos presentaban una fijación de fósforo mayor a 90% (y una disponibilidad menor a 10mg/l).

Cuadro 8. Prueba de comparación múltiple de medias de acuerdo al criterio de Tukey.

Matriz de diferencias.

Tratamiento	Media	8	7	6	5	4	3	2	1
		160.35	151.32	158.71	158.3	153.3	157.3	141.4	132.7
					3	3	8	7	6
1	132.76	27.59*	18.56*	25.95*	25.57	20.57	24.62	8.71	—
					*	*	*		
2	141.47	18.88*	9.85	17.24*	16.86	11.86	15.91	—	
					*				
3	157.38	2.97	-6.06	1.33	0.95	-4.05	—		
4	153.33	7.02	-2.01	5.38	5	—			
5	158.33	2.02	-7.01	0.38	—				
6	158.71	1.64	-7.39	—					
7	151.32	9.03	—						
8	160.35	—							

En el cuadro 8, se presenta la prueba de comparación múltiple de medias de acuerdo al criterio de Tukey, con este se realizó la diferenciación de los tratamientos de fósforo en caña de azúcar.

Los cálculos de los distintos tratamientos evaluados post análisis de varianza se realizaron teniendo un factor comparador igual a $W=16.73$.

Cuadro 9. Presentación de resultados obtenidos de la muestra de comparación múltiple de vida.

Tratamiento	Medio Ton/ha	Grupo Tukey
8	160.35 Ton/ha	A
6	158.71 Ton/ha	A
5	158.33 Ton/ha	A
3	157.38 Ton/ha	B
4	153.33 Ton/ha	B
7	151.32 Ton/ha	B

En el cuadro 9, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la prueba de comparación múltiple de medias de acuerdo al criterio de Tukey, en este cuadro se observa que los tratamientos ocho, seis y cinco son los que presentan las mayores medias, siendo el mayor de estos el tratamiento ocho, sin embargo este no es el tratamiento óptimo debido a que representa sobresaturación del elemento y un mayor costo, en cuanto a los tratamientos seis y cinco con 120 y 150 kg/ha de fósforo respectivamente, se comprueba que los mejores resultados de la aplicación del fósforo en la caña de azúcar son estos por haberse obtenido las mejores medias después del tratamiento ocho, se determina que dentro de este rango

se encuentra la dosis producción óptima económica siendo esta de 126.6kg de fósforo por hectárea.

Cuadro 10. Valores obtenidos en el modelo de regresión cuadrática para la variable rendimiento de caña de azúcar.

Coefficiente	Valor	Probabilidad de significancia Pr > F
bo (intercepción)	136.5348	0.0001
b1	0.2392	0.0002
b2	-0.00061	0.0084
R²	0.2629	-----

En el cuadro 10 se presentan los resultados del análisis de regresión cuadrática practicado para la variable de rendimiento de caña y los niveles de fósforo evaluados.

Se observa en el cuadro que los coeficientes de regresión cuadrática fueron significativos lo cual indica que este modelo explica el comportamiento encontrado en la variable rendimiento de caña con un coeficiente de determinación 0.222062.

Con los valores obtenidos se estructuró la ecuación de producción generando de esta manera valores estimados que se grafican en la figura 2.

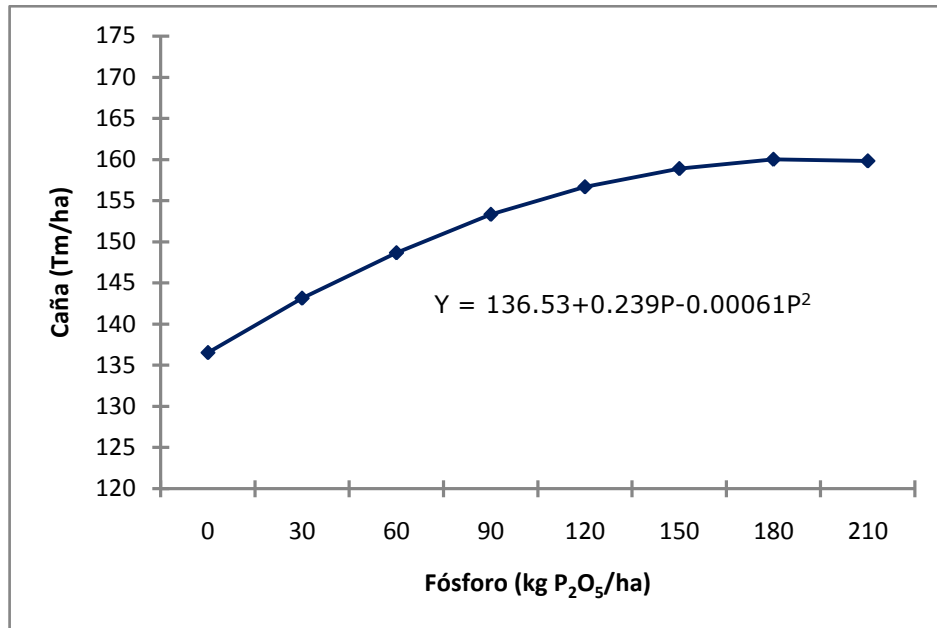


Figura 3. Respuesta estimada en el rendimiento de caña de azúcar al utilizar diferentes niveles de P₂O₅/ha.

De la ecuación se estimó la dosis óptima fisiológica (DOF) y la dosis óptima económica (DOE).

8.1.1 Cálculo de la dosis óptima fisiológica (DOF)

$$Y = 136.53 + 0.239P - 0.00061P^2$$

$$0.239 - 2(0.00061)P$$

$$0.239 - 0.00122P = 0$$

$$P = -0.239 / -0.00122$$

$$DOF = 195 \text{ kg P}_2\text{O}_5$$

Dosis óptima fisiológica

Se tomó el modelo generado por la regresión cuadrática despejando las variables obtuvimos el valor de la dosis optima fisiología 195 Kg. P₂O₅/ ha.

8.1.2Calculo de la dosis óptima económica (DOE)

Costo actual del Kg. P₂O₅/ha.= Q7.61

Relación= Insumo /precio tonelada caña

Relación= 7.61/90=0.0845

P=0.0845-0.239/-0.00122

P=-0.1545/-0.00122

DOE=126.6 Kg. P₂O₅/ha.

Dosis optima económica

Se tomó el modelo generado por la regresión cuadrática despejando las variables obtuvimos el valor de la dosis optima económica 126.6 Kg. P₂O₅ /ha.

8.2 Componentes del rendimiento.

Se presenta los promedios de población de tallos en tres fechas de lectura.

8.2.1 Población de Tallos

Cuadro 11. Datos de las medias de las tres fechas de lecturas de población.

No.	Dosis de fósforo	120 días después de la siembra	150 días después de la siembra	180 días después de la siembra
1	0	128.5	114.00	114.00
2	30	117.75	105.50	108.50
3	60	120.25	106.25	106.50
4	90	122.50	108.50	110.50
5	120	126.50	105.75	110.50
6	150	116.50	106.75	110.00
7	180	106.00	95.75	102.75
8	270	106.00	108.00	106.75

Cuadro 12. Resumen de análisis de varianza para la variable población de tallos en tres fechas de lectura.

Fuente de variación	Grados de libertad	Fecha de lectura		
		120DDS	150DDS	180DDS
Repetición	3			
Tratamientos	7			
significancia		0.21	0.23	0.50
CV	8.42	10.16	8.10	6.50
Media		121	106.31	109

CV= coeficiente de variación

DDS= Días después de la siembra

En el cuadro 12 se puede observarse que no existe significancia para la variable población de tallos en las tres fechas de lecturas efectuadas, de manera que la variación en los niveles de fertilizante fosforado no provoca diferencias significativas.

Se realizó la prueba de comparación múltiple de medias de acuerdo al criterio de Tukey, con la cual no se logró discriminar ninguno de los tratamientos de aplicación de fósforo en la caña de azúcar, en las distintas épocas de lectura debido a que los coeficientes de comparación obtenidos para llevar a cabo dicha prueba son altos lo que no permitió realizar la discriminación de los tratamientos.

Las medias observadas no difieren grandemente en cada uno de los muestreos con una tendencia a disminuir al final de las tres lecturas. Aunque un ligero incremento en la población de tallos que se observó en el tratamiento 5 con 120Kg. de P_2O_5 /ha. En el análisis estadístico no presenta diferencia significativa.

8.2.2 Altura de plantas

Cuadro 13. Alturas de planta en centímetros a los 120,150 y 180 días de edad del cultivo de la caña de azúcar.

ALTURA	120 DDS	150DDS	180DDS
1	94.00	165.00	227.25
2	103.00	172.00	234.75
3	102.00	170.75	239.50
4	107.75	174.00	244.00
5	109.50	181.00	248.75
6	108.00	180.00	245.75
7	109.50	176.00	248.25
8	114.25	182.00	245.50

DDS= días después de la siembra

En el cuadro 13. Se observa un incremento en las alturas lo que podemos concluir que hay incremento de la producción debido a la altura de las plantas a partir de los 150 días después de la siembra.

8.2.2.1 Análisis de las alturas a los 120 días después de la siembra.

Cuadro 14. Análisis de Varianza efectuado para la altura de la caña de azúcar a los 120 días después de la siembra.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Pr>F
Repeticiones	2	666.75		0.0016
Error Experimental	25	994.21	39.76	
Total	27	1660.96		
Coefficiente de variación (%)	6.0079	-----		

Cuadro 15. Prueba de comparación múltiple de medias de acuerdo al criterio de Tukey a los 120 días después de la siembra. (Matriz de diferencias.)

Tratamiento	Media (cm)	8	7	6	5	4	3	2	1
		114.25	109.50	108.00	109.5	107.7	102.0	103.0	94.00
					0	5	0	0	
1	94.00	20.25*	15.50*	14.00*	15.5*	13.75	8.00	9.00	—
						*			
2	103.00	11.25*	6.50	5.00	6.50	4.75	1.00	—	
3	102.00	12.25*	7.50	6.00	7.50	5.75	—		
4	107.75	6.25	1.75	0.25	1.75	—			
5	109.50	4.75	—	—	—				
6	108.00	6.25	0.50	—					
7	109.50	4.75	—						
8	114.25	—							

Coefficiente de comparación = 10.43

***Valores mayores al coeficiente de comparación**

Cuadro 16. Presentación de resultados de la altura a los 120 días después de la siembra.

Tratamiento	Medio (cm)	Grupo Tukey
8	160.35	A
7	109.50	A
5	109.50	A
6	108.00	A
4	107.75	A
3	102.00	B
2	103.00	B

A= Tratamientos mayores al coeficiente de comparación.

B= Tratamientos menores al coeficiente de comparación.

De acuerdo al cuadro 15 se puede observar que los tratamientos que determinaron mayor altura a la planta a los 120 días después de la siembra fueron el tratamiento ocho, siete, cinco y seis, por lo tanto se demuestra que las cantidades del fósforo en cada uno de estos tratamientos son las adecuadas para el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar durante esta etapa fenológica.

8.2.2.2 Análisis de las alturas a los 150 días después de la siembra.

Cuadro 17. Análisis de Varianza efectuado para la altura en centímetros de la caña de azúcar a los 150 días después de la siembra.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Pr>F
Repeticiones	10	1383.50		0.067
Error Experimental	21	1353.37	64.44	
Total	31	2736.87		
Coefficiente de variación (%)	6.0079	-----		

Cuadro 18. Prueba de comparación múltiple de medias de acuerdo al criterio de Tukey a los 150 días después de la siembra.

Matriz de diferencia.

Tratamiento	Media (cm)	8	7	6	5	4	3	2	1
		182.00	176.00	180.00	181.0	174.0	170.75	172.0	165.0
1	165.00	*17.00	11.00	*15.00	*16.00	9.00	5.25	7.00	—
2	172.00	10	4.00	8.00	8.00	2.00	1.25	—	
3	170.75	11.25	5.25	9.25	10.25	3.25	—		
4	174.00	8.00	2.00	6.00	6.00	—			
5	181.00	1.00	—	—	—				
6	180.00	2.00	—	—					
7	176.00	6.00	—						
8	182.00	—							

Coefficiente de comparación = 13.53

***Valores mayores al coeficiente de comparación**

Cuadro 19. Presentación de resultados de la altura en centímetros a los 150 días después de la siembra.

Tratamiento	Medio (cm)	Grupo Tukey
8	182.00	A
5	181.00	A
6	180.00	A
7	176.00	B
4	174.00	B
2	172.00	B
3	170.75	B

Según lo observado en el cuadro 18 los tratamientos ocho, cinco y seis siguen con la misma tendencia de los resultados a los 120 días, siendo estos tratamientos que dan como resultado un mayor desarrollo del cultivo de caña de azúcar.

8.2.2.3 Análisis de las alturas a los 180 días después de la siembra.

Cuadro 20. Análisis de Varianza efectuado para la altura de la caña de azúcar a los 180 días después de la siembra.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Pr>F
Repeticiones	10	1840.31		0.1149
Error Experimental	21	2100.15	100.007	
Total	31	3940.46		
Coefficiente de variación (%)	4.13	-----		

Cuadro 21. Prueba de comparación múltiple de medias de altura en centímetros de acuerdo al criterio de Tukey a los 180 días después de la siembra.

Matriz de diferencia.

Tratamiento	Media (cm)	8	7	6	5	4	3	2	1
		245.50	248.25	245.75	248.75	244.0	239.5	234.75	227.25
1	227.25	18.25*	21.00*	18.50*	21.50*	16.75	12.25	7.5	—
2	234.75	10.75	13.5	11	14	9.25	4.75	—	
3	239.50	6.00	8.75	6.25	9.25	4.5	—		
4	244.00	1.50	4.25	1.75	4.75	—			
5	248.75	—	—	—	—				
6	245.75	—	2.5	—					
7	248.25	—	—						
8	245.50	—							

Coefficiente de comparación = 16.86

***valores mayores del coeficiente de comparación**

Cuadro 22. Presentación de resultados a los 180 días después de la siembra.

Tratamiento	Medio (cm)	Grupo Tukey
5	248.75	A
7	248.25	A
6	245.75	A
8	245.50	A
4	244.00	B
3	239.50	B
2	234.75	B

De acuerdo a lo observado en el cuadro 21 se determinó que el tratamiento cinco presenta un mayor desarrollo fenológico del cultivo de la caña de azúcar a los 180 días después de la siembra siendo este el tratamiento que muestra el desarrollo óptimo del cultivo.

Cuadro 23. Resumen del Análisis de varianza para la variable altura de planta en las tres fechas de lectura.

Fuente de variación	Grados de libertad	Fecha de lectura		
		120DDS	150DDS	180DDS
Bloque	3			
Tratamientos	7			
significancia		0.01**	0.07 (NS)	0.05*
CV		6.34	4.67	3.85
Media		106.3	175.44	241.28

** Altamente significativa.

* Significativa

NS = No significativa.

En el cuadro 23 se observa alta significancia para los 120 DDS, en la segunda lectura no dio significancia y en la tercera lectura dio significancia para el tratamiento número 8. En relación con el testigo. En el análisis estadístico presenta una diferencia significativa para la variable altura de planta, las diferencias van desde el testigo con 94 cm, hasta los tratamientos 5 y 7 con 109 cm esto en relación a los 120 DDS.

A los 150 días de edad del cultivo el testigo presenta una lectura 165 cm. Y el tratamiento 8 presenta una altura promedio de 182 cm.

En la tercera lectura a los 180 días se presenta el testigo sin fósforo con una altura de 227 cm. Y el tratamiento 5 con una altura promedio de 248 cm.

8.2.3 Relación entre altura de la planta y rendimiento.

Cuadro 24. Datos de altura de planta y rendimiento de cada tratamiento.

TRTAMIENTO	ALTURA DE PLANTA (cm)	RENDIMIENTO (ton/ha)
1	227.25	132.76
2	234.75	141.47
3	239.50	157.38
4	244.00	153.78
5	248.75	158.33
6	245.75	158.71
7	248.25	151.32
8	245.50	160.35

En la **figura 4** se presentan la relación de los rendimientos comparados con las alturas en relación a la cantidad de fósforo aplicado en los tratamientos.

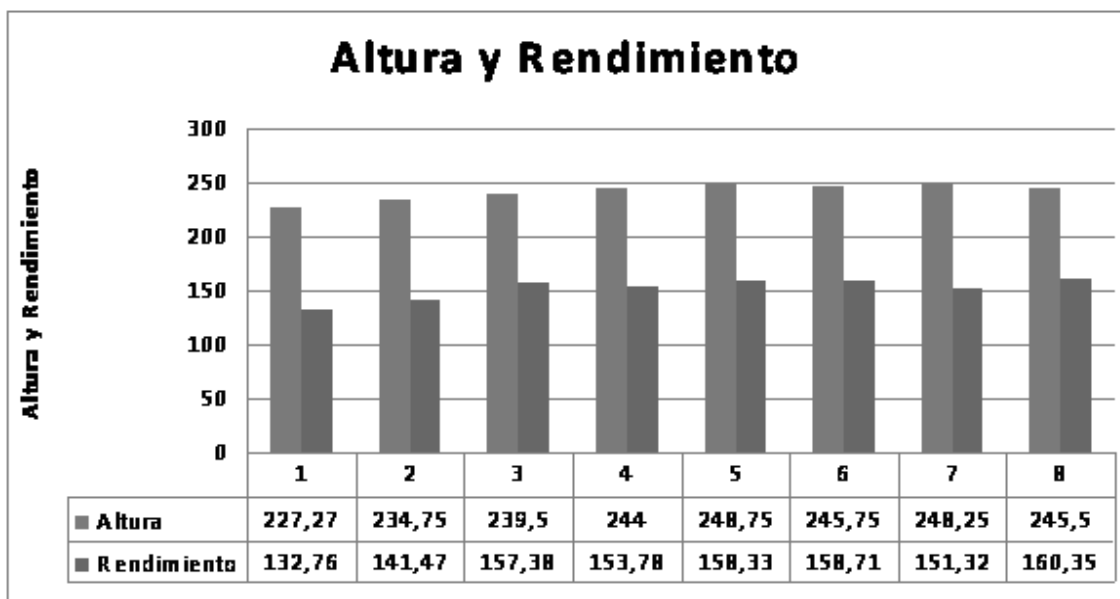


Figura 4. Relación de rendimientos comparados con alturas de la planta.

8.2.4 Regresión de altura y rendimiento

Cuadro 25. Valores obtenidos en el modelo de regresión cuadrática para la variable rendimiento de caña.

Coeficiente	Valor	Probabilidad de significancia Pr >T
bo (intercepción)	228.10	0.001
b1	0.2239724	0.0013
b2	-0.0005986	0.0131

Cuadro 26. Modelo matemático utilizado para ajustar los valores de altura.

Modelo utilizado $Y = 228.10 + (0.2239724) (P) - (0.0005986) (P^2)$

TRATAMIENTO	CANTIDAD DE FOSFORO	REGRESION DE ALTURAS (Y)	RENDIMIENTO (ton/ha)
1	0	228.10	132.76
2	30	234.28	141.47
3	60	239.38	157.38
4	90	243.40	153.78
5	120	246.35	158.33
6	150	248.22	158.71
7	180	249.02	151.32
8	270	244.93	160.35

En la **figura 5** se presenta la gráfica del comportamiento de los distintos tratamientos de fósforo en relación al rendimiento y a la regresión de alturas.

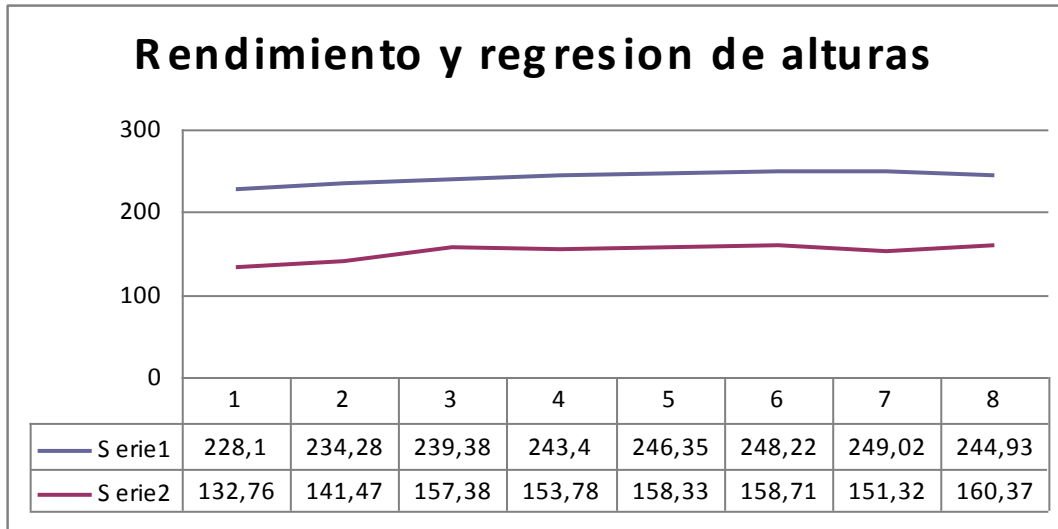


Figura 5. Comportamiento de los distintos tratamientos de fósforo

Se puede observar en la figura 5 que existe un comportamiento ascendente tanto en rendimiento como en la regresión de la altura, en forma paralela mantienen un comportamiento similar las dos curvas, demostrando que los puntos más altos se encuentran en los tratamientos cinco y seis, analizando esta grafica se puede determinar la relación existente entre la altura como un componente del rendimiento de la caña de azúcar.

8.2.5 Determinación de la concentración del fósforo en el área foliar.

Cuadro 27. Concentración foliar del fósforo.

Tratamiento	Media
1	0.132
2	0.140
3	0.150
4	0.155
5	0.132
6	0.130
7	0.152
8	0.152

Cuadro 27. El elemento fósforo en el área foliar se determinó en el laboratorio con las muestras obtenidas en el campo, por lo que se puede observar de acuerdo a los distintos datos y en comparación con los tratamientos, se manifiesta la concentración del nutriente. El tratamiento número 4 con 90 Kg/ha. Fue el que presentó la media más alta de 0.155ppm de fósforo. Luego el tratamiento 7 con 180 Kg/ha, y el 8 con 270 Kg/ha, los dos presentaron una concentración de fósforo 0.152ppm de fósforo.

8.2.6 Dinámica del fósforo en el suelo.

Los aniones del fosfato (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) se ponen en contacto con la superficie de la raíz principalmente por difusión en la solución del suelo. Sin embargo, la intercepción de las raíces y la abundancia de filamentos en ellas incrementan significativamente la oportunidad de absorción del fósforo (P). Las bajas temperaturas y un bajo contenido de humedad en el suelo, pueden reducir la absorción de fósforo, y por ende, crear una deficiencia de fósforo.

Los fertilizantes de fósforo (P) varían considerablemente en cuanto a su solubilidad en agua, lo cual puede afectar la respuesta del cultivo. El método de aplicación también influye.

9. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los datos obtenidos podemos concluir que se encontraron diferencias no significativas entre el testigo y las primeras dosis de fósforo aplicado, aunque se observó un incremento de 132 toneladas entre el testigo y el tratamiento 1 (30 Kg P_2O_5 / ha) de 141.5 TCH/ ha, determinando que las mejores medias estaban en el tratamiento 5 y 6 con 158.33 y 158.71 toneladas por hectárea. Se graficó el modelo matemático para determinar la dosis óptima económica que es de 126.6 Kilogramos por hectárea por lo que podemos concluir que la aplicación de fósforo si tiene influencia en el incremento del tonelaje de la caña de azúcar.
2. En relación a la población de tallo, no se observó variación alguna entre los efectos de los distintos tratamiento, en ninguna de las lecturas de 120, 150 y 180 días después de la siembra del cultivo, se presentó en base al análisis estadístico ninguna diferencia significativa. Para lo que se concluye que, como respuesta a esta variable el elemento fósforo no influye en el incremento de la población de tallosse realizó la prueba de medias para esta variable pero el comparador es alto por lo que se dieron números negativos se concluyen que el fósforo en este caso no tuvo efecto sobre la germinación de la semilla.
3. Para la variable altura, se observó un mayor desarrollo del área foliar del cultivo en los tratamientos en los que se aplicó fósforo contra el testigo dando en el tratamiento 5 y 6 mayor significancia estadística se realizó la prueba de medias en base al

criterio de Tukey, llegándose a determinar que el mejor tratamiento, teniendo como factor determinante el fósforo es el tratamiento número cinco con 120 Kg de fosforo para este tipo de suelo, presentando en el campo del cultivo de la caña de azúcar una mayor madurez fisiológica, con esto concluimos que si hay un efecto de los tratamientos de fósforo en estos suelos del sitio de estudio como respuesta tenemos una mayor altura del cultivo de la caña de azúcar.

4. En base a los datos de análisis foliar, las muestras manifiestan un incremento en la concentración de fósforo, el tratamiento número cuatro con 90 Kg. /ha de fósforo, presento la media más alta de concentración en el área foliar 0.155 ppm de fósforo. No se observaron diferencias significativas en la concentración de fósforo foliar para ninguno de los tratamientos evaluados, probablemente debido al efecto de dilución, pero en base a los resultados podemos decir que la aplicación de fósforo tiene una influencia positiva sobre la concentración de fósforo foliar de la planta.

10. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda no hacer aplicaciones de fertilizante sin tener conocimiento de la fertilidad natural de los suelos de las fincas. Tratar de desarrollar programas de muestreo para llegar a elaborar un plan de manejo sostenible de los suelos. Para la presente investigación se recomiendan los tratamientos cinco y seis de las dosis 120 y 150 kg/ Ha de fósforo respectivamente. Este es el rango de aplicación de fósforo adecuado y la dosis optima económica se determinó en 126.6 kg /ha para este suelo donde se realizó este estudio.
2. Bajo las mismas condiciones de fertilidad natural y clima en las que se hizo el presente estudio, se recomienda la aplicación de fósforo como fertilizante para el mantenimiento de la fertilidad, tomando en cuenta lo que extrae la planta sea en plantía o en las socas de los suelos.
3. Debido a los altos precios de fertilizantes a nivel nacional, se recomienda tomar en cuenta las dosis óptimas económicas de fertilizante para evitar desperdiciar los recursos, ya que la planta solamente responderá a la dosis adecuada.

11. BIBLIOGRAFIA

1. Álvarez, C. 1982. Determinación del tamaño óptimo de la parcela experimental en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) bajo condiciones de la finca Bulbuya. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 49 p.
2. AZASGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala, GT). 1995. Efecto del N P K en el cultivo de la caña de azúcar, sobre la serie de suelos Guacalate franco: informe preliminar. Guatemala, Estación Experimental Camantulul, Depto. Técnico. 19 p.
3. Buenaventura O, CEE. 1982. Estudio para la formación del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Guatemala. Guatemala, Cengicaña. 52 p. (Documento técnico no. 1).
4. Cengicaña (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 1995. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala. 242 p.
5. Clements, HF. 1955. La absorción y distribución del fósforo en la planta de caña de azúcar. *Agronomía Tropical* 5(1):3-25.
6. Cobaquil García, AR. 1984. Estudio de los niveles de N P K para la fertilización de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en la Unidad Docente Productiva Sabana Grande, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 76 p.
7. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
8. Días Romeo, R; Hunter, A. 1978. Metodología del muestreo de suelos y análisis del tejido vegetal y de investigaciones de invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
9. Donahue, RL; Millar, RV; Shickluna, JCV. 1981. Introducción al estudio de los suelos y al crecimiento de las plantas. Englewood Cliffs, Prentice Hall International. 624 p.
10. Espinosa, J. 2005. Informaciones agronómicas. Perú, Instituto de la Potasa y el Fósforo. 172 p.
11. Flores, S. 1976. Manual de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Guatemala, Intecap. 172 p.
12. IGM (Instituto Geográfico Militar, GT). 1983-1990. Mapa topográfico de la república: hoja Santa Lucía Cotzumalguapa, no. 1958-I. Guatemala. Esc.1:50,000. Color.
13. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). s.f. Mapa fisiográfico de la república de Guatemala. Guatemala. Esc.1:1.000,000.

14. _____. 1970. Atlas geográfico nacional. Guatemala. p. 46-64.
15. Guerrero, R. 1984. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. *In* Silva, M. Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. 2 ed. Bogotá, Colombia, Sociedad Colombiana del Suelo. p. 141-199.
16. Little, TM; Hills, JF. 1981. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. México, Trillas. 270 p.
17. Mas López, CE. 1983. Evaluación de los niveles de N, PO, KO y épocas de aplicación en sobre el rendimiento en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en la finca Bulbuya. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 44 p.
18. Molina Velásquez, JG. 1989. Evaluación de cuatro niveles de N y P en caña en el ingenio Tulula, San Andrés Villa Seca, Retalhuleu. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 42 p.
19. Nájera Caal, MA. 1978. Respuesta de la caña de azúcar a la aplicación de N P K. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 78 p.
20. Pérez, O. 2001. 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. p. 86-90.
21. Quinteros, R. 1986. Algunos aspectos relacionados con los suelos y la fertilización de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. Colombia, Tecnicaña. 473 p.
22. Sánchez, P. 1981 Suelos del trópico, características y manejo. Trad. Ediberto Cauracho. San José, Costa Rica, IICA. p. 301-340.
23. Silva Mojica, F. 2000. Fundamentos para interpretación de suelos, plantas y aguas de riego. 3 ed. Bogotá, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 323 p.
24. Simmons, C; Tárano T, JM; Pinto Zúñiga, JM. 1959. Clasificación de reconocimiento de suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
25. Soto, G; Orozco, H; Cevallos, L. 1999. Censo de variedades de caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, CENGICANA. 46 p. (Documento Técnico no. 16).
26. Subiros, F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. San José, Costa Rica, EUNED. 441 p.
27. Thopson, LM; Troeh, FR. 1982. Los suelos y su fertilidad. 4 ed. España, Reverté. 270 p.

28. Tobías Vásquez, MR. 1994. Evaluación de dos suelos del Centro de Agricultura Tropical Bulbuxyá, cultivados con caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) cacao (*Teobroma cacao* L.). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 54 p.

12. ANEXOS

Cuadro 14. Promedio de la población y altura de planta, en la primera lectura a los 120 días después de la siembra de la caña de azúcar. Las medias de las cuatro repeticiones por tratamiento.

Tratamiento	Población			altura	
	numero	Medias	SD	medias	SD
1	4	128.50	14.6628	94.00	7.7459
2	4	117.75	15.1299	103.00	7.0415
3	4	120.25	7.08872	102.00	6.6017
4	4	122.50	12.0138	107.75	8.8459
5	4	126.50	11.5036	109.50	5.3229
6	4	116.50	15.3839	108.00	5.7735
7	4	106.00	17.5119	109.50	3.3166
8	4	106.00	14.2916	114.25	11.9268

Cuadro 15. Promedio de población de altura de planta, para la segunda lectura a los 150 días después de la siembra.

Tratamiento	Población			altura	
	numero	medias	SD	medias	SD
1	4	114.00	7.1647	165.00	10.0995
2	4	105.50	7.7674	172.00	6.7823
3	4	106.25	11.0566	170..75	11.3541
4	4	108.50	8.8881	174.00	11.0867
5	4	105.75	6.3442	181.00	4.9916
6	4	106.75	9.9791	180.00	6.7019
7	4	95.75	11.7595	176.00	9.0000
8	4	108.00	9.0921	182.00	13.5277

Cuadro 16. Promedio de población y altura de planta, tercera fecha de lectura 180 días después de la siembra

	Población			Altura	
tratamiento	numero	medias	SD	medias	SD
1	4	114.00	8.6023	227.25	11.6726
2	4	108..50	5.0662	234.75	3.8622
3	4	106.00	11.9443	239.50	10.5987
4	4	110.50	8.2663	244.00	11.9443
5	4	110.25	3.5000	248.75	7.8898
6	4	110.00	10.8627	245.75	10.7509
7	4	102.75	13.8172	248.25	5.9090
8	4	106.75	6.7019	245.50	13.1782