

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE FÓSFORO EN EL CULTIVO
DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN PRIMERA
SOCA, VARIEDAD PR-872080, EN SUELOS ANDISOLES DE
LA FINCA CAÑAVERALES DEL SUR, SANTA LUCÍA
COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE
LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

LUCIANO SAN JUAN REYNOZO
EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO
EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DEL 2,003

DL
01
7(2028)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

M.V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez Ovalle
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	Ing. Agr. Luis Antonio Raguay Pírique
VOCAL QUINTO	Bachiller Juan Manuel Corea Ochoa
SECRETARIO	Ing. Agr. Pedro Peláez Reyez

Guatemala, Noviembre del 2,003

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR
FACULTAD DE AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Distinguidos Señores:

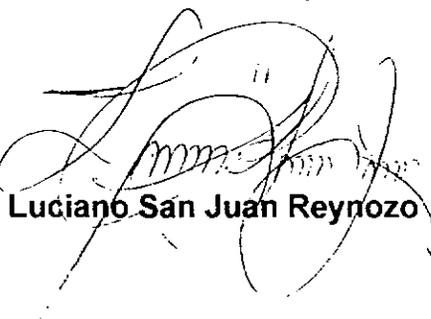
De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE FOSFORO EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR (Saccharum spp) EN PRIMERA SOCA, VARIEDAD PR-872080, EN SUELOS ANDISOLES DE LA FINCA CAÑAVERALES DEL SUR, SANTA LUCIA COTZ, ESCUINTLA.

Presentándolo como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Considerando que la presente investigación llena los requisitos necesarios para la aprobación me suscribo.

Atentamente,



Luciano San Juan Reynozo

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS, A LA VIRGEN DE SANTA LUCIA:

Por darme su protección, amor, fuerza y voluntad, para alcanzar mis metas.

MIS PADRES:

Sr. Guillermo San Juan Najarro, y Crimilda de San Juan, por su amor, abnegación.

MI ESPOSA:

Alida Aida de San Juan, por su apoyo incondicional.

MIS HERMANOS:

Dr. Omar, Alfredo, Victor Hugo San Juan (Q.E.D.P), por sus consejos.

MIS ABUELAS:

Marta Luz Garcia, Jesús Najarro Vda. De San Juan (Q.E.D.P),

MIS TIOS:

Edwin David Juarez, con especial cariño

MIS SOBRINOS:

Andrés, Rodrigo, Victor Hugo, Alfredo, Julio Cesar San Juan, con especial aprecio.

MI FAMILIA EN GENERAL:

Por su ayuda en el desarrollo de mis estudios.

MIS AMIGOS:

Eduardo, Juan Carlos, German , Juan Romero Suarez, por su valiosa amistad.

UN AMIGO ESPECIAL:

P. Agr. José Leopoldo Fillipi Castellanos (Q.E.D) que aun en su ausencia su recuerdo sigue vivo.

TESIS QUE DEDICO

A:

MI PATRIA GUATEMALA

MI CIUDAD SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTA DE AGRONOMIA

MIS CENTROS DE ESTUDIO:

Instituto Técnico Experimental del Sur (I. T. E. S.)

Colegio Particular Mixto Sagrado Corazón

AGRADECIMIENTOS

A:

INGENIO MADRE TIERRA

CENGICAÑA

Ing. Agr. Ovidio Pérez (Edafólogo CENGICAÑA)

Ing. Agr. Aníbal Sacbajá

Ing. Agr. Ana Celena Carias

Ing. Agr. Cesar Castillo (Gerente Zona 3)

P. Agr. Roderico Méndez (Superintendente de Campo Ingenio Madre Tierra)

Sr. Agustín Brán (Mayordomo Ingenio Madre Tierra)

Sr. Elvido Flores

Sra. Maria Ester Tun Santos

“TODAS LAS PERSONAS QUE CONTRIBUYERON PARA ALCANZAR MI ANHELADA META, GRACIAS”.

INDICE

	Pg
INDICE DE CUADROS.....	xi
RESUMEN.....	xii
1.- INTRODUCCION.....	1
2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
3.- MARCO TEORICO.....	3
3.1.- MARCO CONCEPTUAL.....	3
3.1.1.- La caña de azúcar.....	3
A.- Orígenes de la caña.....	3
B.- Localización geográfica del cultivo.....	3
C.- Fisiología de la caña.....	4
C.1.- Fotosíntesis.....	4
3.1.2.- Generalidades sobre los nutrientes en caña de azúcar.....	4
A.- Importancia del fósforo.....	4
B.- Formas del fósforo en el suelo.....	5
C.- Factores que afectan la disponibilidad de P.....	5
C.1.- Tipo de arcilla.....	5
C.2.- Tiempo de reacción.....	6
C.3.- El pH y la disponibilidad.....	6
3.1.3.- Fertilizantes fosforados.....	6
a.- Triple superfosfato.....	6
b.- Fosfato de amonio simple.....	7
c.- Superfosfato simple.....	8
d.- Acido fosfórico.....	9

e.- Roca fosfórica.....	9
3.1.4.- Trabajos realizados sobre fertilización en caña de azúcar.....	10
3.1.5.- Características principales de los suelos Andisoles.....	11
3.1.6.- Respuesta de la aplicación de fósforo en la siembra de caña en suelos Andisoles.....	13
3.1.7.- Interacción Nitrógeno-Fósforo.....	13
3.1.9.- Ventaja de aplicar fósforo cada año en suelos Andisoles.....	14
3.2.- Fertilización fosforada en caña de azúcar en la zona cañera de Guatemala, primera soca.....	14
3.3.- MARCO REFERENCIAL.....	15
3.3.1.- Descripción de las regiones cañeras.....	15
3.3.1.1.- Características de los suelos.....	16
3.3.1.2.- Clima de las regiones cañeras.....	16
3.3.1.3.- Localización de la finca Cañaverales del Sur.....	17
a.- Zona de vida.....	18
b.- Suelos.....	18
3.3.1.4.- Características de la variedad a utilizar.....	19
A.1.-Variedad PR-872080.....	19
A.1.- Aspecto General.....	19
A.2.- Tallos.....	19
A.3.- Follaje.....	19
A.4.- Características agroindustriales.....	20
4.- OBJETIVOS.....	21
4.1.- Objetivo general.....	21
4.2.- Objetivo específico.....	21

5.- HIPOTESIS.....	22
6.- METODOLOGIA.....	23
6.1.- Metodología experimental.....	23
6.1.1.- Factores de estudio.....	23
6.1.2.- Diseño experimental.....	24
6.1.3.- Modelo estadístico.....	24
6.1.4.- Unidad experimental.....	24
6.1.5.- Variedad de caña (periodo de soca).....	24
6.2.- Análisis preliminar del suelo.....	24
6.3.- Variables medidas.....	25
6.3.1.- Población (miles de plantas/ha).....	25
6.3.2.- Altura de tallos (cms).....	25
6.3.3.- Diámetro de tallos (cms.).....	26
6.3.4.- Rendimiento de la caña de azúcar.....	26
6.3.5.- Concentración de azúcar.....	26
6.3.6.- Extracción total de fósforo por la planta.....	26
6.3.7.- Análisis de tejido foliar.....	27
6.4.- Manejo agronómico.....	27
6.5.- Análisis económico de la aplicación de fósforo.....	27
6.6.- Tabulación y análisis estadístico de los resultados.....	28
6.6.1.- Análisis de varianza.....	28
6.6.1.1.- Variables principales.....	29
6.6.1.2.- Variables secundarias.....	29
6.6.2.- Prueba de medias.....	29
6.6.3.- Contrastes con comparaciones preplaneadas.....	29

7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
7.1.- Variables de respuesta.....	29
7.2.- Producción de caña (tm/ha) y concentración de azúcar (%).....	30
7.3.- Análisis y discusión de contrastes de tratamientos de interés.....	31
7.4.- Poll, Brix y Pureza de jugos.....	32
7.5.- Discusión de la variable: extracción total de P por el cultivo, P en hoja.....	34
7.6.- Altura de plantas.....	34
7.7.- Densidad de población.....	35
7.8.- Diámetro de tallos.....	35
7.9.- Análisis de costos.....	36
8.- CONCLUSIONES.....	38
9.- RECOMENDACIONES.....	39
10.- BIBLIOGRAFÍA.....	40
11.- APÉNDICE.....	43

INDICE DE CUADROS

No. de Cuadro.	Pg
1	Propiedades físico químicas de cinco suelos (Andisoles Y Mollisoles) de la zona cañera de Guatemala.....12
2	Efecto de la interacción N*P en la producción de caña.....13
3	Efecto de la aplicación de fósforo en la producción de caña (Tm/ha), en el segundo año de cultivo, en suelos Andisoles.....14
4	Descripción de tratamientos.....23
5	Resultados del análisis de suelo del área experimental.....25
6	Medias observadas, análisis de varianza y prueba de medias Tukey para las variables Peso de caña y concentración de azúcar.....30
7	Resumen de análisis de contrastes Tukey (0.05).....32
8	Medias observadas, prueba de medias Tukey (0.05) y análisis de varianza para las variables P en la hoja y extracción total de P.....33
9	Resumen del análisis del presupuesto parcial de tratamientos evaluados.....36
10	Orden ascendente de los trat. en función de sus costos variables.....37
11	Resultados de los muestreos de las variables: población altura y diámetro de tallos.....43
12	Media de población, altura y diámetro de tallos correspondiente a los seis meses y prueba de medias Tukey (0.05).....43
13	Análisis de varianza para las variables Brix, Pol y Pureza.....43
14	Resumen de resultados del efecto de los tratamientos sobre las variables Brix. Pol y Pureza.....44

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE FOSFORO EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum spp*) EN PRIMERA SOCA, VARIEDAD PR-872080, EN SUELOS ANDISOLES DE LA FINCA CAÑAVERALES DEL SUR, SANTA LUCIA COTZ, ESCUINTLA.

EFFECT OF THE PHOSPHORUS APPLICATION IN THE CULTIVATION OF THE CANE OF SUGAR (*Saccharum spp*) IN FIRTSA RATOON VARIETY PR-872080, IN SOILS ANDISOLES, THE FARMS CAÑAVERALES OF THE SOUTH, SANTA LUCIA COTZ, ESCUINTLA.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la Finca Cañaverales del Sur, del Ingenio Madre Tierra, con la finalidad de evaluar la respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) en periodo de soca a la aplicación de cuatro fuentes de fósforo y diferentes formas y épocas de aplicación.

Las fuentes de fósforo utilizadas fueron Triple superfosfato, Fosfato de amonio simple, Superfosfato simple y Acido fosfórico diluido al 60%; aplicados a los 20 días después del corte en dosis de 80 Kg de P_2O_5 /ha. Adicionalmente para la evaluación de la forma y época de aplicación, se incluyeron los siguientes tratamientos; Testigo sin fósforo; Triple superfosfato (80 Kg de P_2O_5 /ha), sobre la cepa sin incorporar (20 días); Triple superfosfato (80 Kg de P_2O_5 /ha), aplicado a los 70 días después del corte en banda e incorporado; y Triple superfosfato a razón de 40 Kg de P_2O_5 /ha, en banda e incorporado a los 20 días.

La investigación se realizó en primera soca de la variedad PR-872080; en suelos Andisoles conociendo así las posibilidades de aprovechar en mejor forma el fertilizante y alcanzar rendimientos de caña y azúcar más cercanos a los rendimientos potenciales de las socas y de los suelos de la región.

La finca Cañaverales del Sur, cuenta con suelos Andisoles en un 70 por ciento de su área de cultivo; en el ensayo se evaluaron los efectos inducidos por los diferentes tratamientos, teniendo como objetivo mejorar el rendimiento del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum spp*), en la zona, corrigiendo y aplicando en forma adecuada la

fertilización fosforada. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con 4 repeticiones.

Los resultados indicaron que el efecto en la producción de Triple superfosfato (TSP) y Fosfato monoamónico (MAP), fueron superiores que el efecto del Superfosfato simple y del Acido fosfórico. La aplicación de fertilizante a los 20 y 70 días tienen efectos similares en la producción y que la aplicación en banda e incorporada del fertilizante es mejor que la aplicación sobre la cepa sin incorporar.

1.- INTRODUCCIÓN

Dentro de la gama de tecnologías que requiere el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum spp*), la fertilización juega un papel muy importante, la cual es una práctica común en los ingenios. La constante exigencia de la producción plantea la necesidad de nuevas técnicas y metodologías en busca del mejor aprovechamiento de los recursos, más economía en las inversiones y rendimientos superiores de las cosechas (5)

El fósforo bien sea en forma de triple superfosfato o como fertilizante compuesto, es aplicado en el 80% de los ingenios a razón de dosis no mayores de 100 kg de P_2O_5 /ha, y su uso se restringe exclusivamente en las áreas de renovación o siembras nuevas; las cuales se hacen cada 5 años o más dependiendo de la calidad de rebrote (23)

Aproximadamente el 25% de los suelos usados para la producción de caña de azúcar en Guatemala son Andisoles (27). Las clases texturales de los suelos varían desde arcillosas a franco arcillo arenosas (Cengicaña 1,994). Según Ishisuka y Black 1,977 citado por Pérez (27) "las arcillas amorfas predominan en estos suelos, en las que la fijación de fósforo y azufre son su característica principal".

Con el propósito de encontrar formas más eficientes de la aplicación de fósforo en socas de caña de azúcar, se realizó la investigación sobre fuentes de éste nutriente y así mismo evaluar diferentes formas y épocas de aplicación utilizándose la variedad PR-872080.

El ensayo se realizó en un suelo representativo de la finca Cañaverales del Sur, del Ingenio Madre Tierra, y se llevó a cabo en los meses de marzo de 2,001 a mayo 2,002; en caña de primer corte (primera soca).

2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los suelos Andisoles presentan materiales amorfos, con una alta capacidad de fijación de fósforo en sus formas solubles. La alta fijación se debe a su alta superficie de exposición, y a que no tienen una estructura definida.

Resultados experimentales en suelos Andisoles (25% del área) de la región han indicado que la aplicación de fósforo en forma de Triple superfosfato en las socas (retoños) es rentable, y se ha determinado que hay muy poco efecto residual del fósforo de una cosecha a otra favorecido por la alta fijación de fosfatos que es característica de éstos suelos(15). La magnitud de los porcentajes de fijación de fósforo en los suelos Andisoles de la zona cañera de Guatemala, está arriba del 90% (26).

Por otro lado se ha observado que los incrementos de rendimiento del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*) debido al fertilizante fosforado en las socas, son relativamente bajos si se compara con los obtenidos en la plantía en éstos suelos (28). Otras fuentes de fósforo, la colocación ideal del fertilizante y la época de aplicación, podrían favorecer mejores condiciones para el aprovechamiento del fósforo por el cultivo.

En este sentido no hay investigación a nivel local en éstos suelos sobre como se puede mejorar la eficiencia del aprovechamiento del fósforo aplicado en las socas en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum spp*).

3.- MARCO TEORICO

3.1.- MARCO CONCEPTUAL

3.1.1.- La caña de azúcar

A.- Orígenes de la caña

La caña de azúcar (*Saccharum spp*) es una gramínea originaria de la India, cuya distribución en países del continente asiático se pierde en la historia de la época antigua. En China apareció 800 años antes de Cristo y se utilizaba en el pago de tributos y contribuciones (16).

Se reporta que Cristóbal Colón en su segundo viaje en 1,493 introdujo esta planta al continente americano, siendo en la isla La Hispaniola (ahora República Dominicana), donde se fabricó por primera vez azúcar en 1,509. De este lugar se extendió su cultivo e industrialización a Cuba, Jamaica, y otras islas en las Antillas (16).

Para el caso de Guatemala, es Pedro de Alvarado al que se le atribuye la introducción, siendo cerca de San Jerónimo Verapaz en donde se establecieron los primeros molinos y luego se extendió hacia el sur de la Antigua Guatemala hasta Escuintla y Santa Rosa (16).

A la fecha la industria azucarera de Guatemala es una de las fuentes de producción más importantes de la economía nacional, y de acuerdo con informes presentados por la Asociación de Azucareros de Guatemala, para el año 1,997 la producción alcanzó un nivel de 32.9 millones de quintales.

B.- Localización geográfica del cultivo

La región cañera se localiza en la vertiente del Océano Pacífico, en los departamentos de Santa Rosa, Escuintla y Suchitepéquez a los largo de la planicie costera. La planicie costera comprende una extensa faja de 300 kilómetros de largo; de la frontera con la República mexicana hasta la de El Salvador al oriente, y los terrenos agrícolas se localizan desde los 1,830 metros sobre el nivel del mar hasta la costa (16).

C.- Fisiología de la caña

De la fisiología incluye las siguientes fases: crecimiento, procesos internos de la planta y factores que afectan su desarrollo. Los procesos internos principales son: fotosíntesis, translocación de los productos a través de la planta, transporte de agua y solutos, y respiración (2).

C.1.- Fotosíntesis

En la fotosíntesis de la caña ocurre primero una formación de azúcares simples llamados **glucosa y fructosa**, (azúcares invertidos). La condensación posterior de estas dos moléculas llega a producir una molécula de sacarosa (Amaya, 1,986).

Cuando la planta necesita la energía almacenada durante la fotosíntesis, la reacción anterior se invierte y a este proceso se le denomina respiración.

3.1.2.- Generalidades sobre los nutrientes en caña de azúcar

Los nutrientes son elementos o compuestos inorgánicos que el cultivo necesita para su normal desarrollo. Estos nutrientes se pueden clasificar en dos grandes grupos.

- Macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg y S.
- Micronutrientes: Zn, B, Fe, Mo, Cu, Mn y Cl.

El nitrógeno, el fósforo y el potasio son los tres elementos que más frecuentemente se encuentran en cantidades deficientes en la mayoría de los suelos y regularmente son aplicados en forma de fertilizante para la producción de cultivos; el resto de los elementos se encuentran asociados con algún otro factor limitante del suelo (pH, textura, sequía, etc.), y sus deficiencias no son tan comunes (6,7).

A.- Importancia del fósforo

El fósforo es un componente estructural de los ácido nucleicos, azúcares fosforilados; también está involucrado en los procesos de transformación de la energía (14).

En comparación con la absorción del nitrógeno y potasio la del fósforo es baja; las plantas los absorben en forma de $H_2PO_4^-$ (14).

El P es absorbido generalmente en forma de ión primario ortofosfato (H_2PO_4^-) por las raíces de las plantas, la absorción del ión ortofosfato primario es diez veces más rápida que la del HPO_4^{2-} (3).

La deficiencia de P reduce el macollamiento, hay apariencia del un mal desarrollo y origina raíces anormales de color marrón (Humbert, 1,974), Anderson y Bowen (3), señalan que el efecto es generalizado sobre toda la planta, las hojas son angostas y pequeñas, generalmente se seca la punta y los márgenes de las hojas. Por otro lado, un exceso de P puede ser dañino para el desarrollo del cultivo por inducir deficiencias de zinc y hierro.

Está presente en todas las células, con tendencia a concentrarse en las semillas y zonas de crecimiento de las plantas (meristemos y raíces), en las hojas se encuentra generalmente en forma de fosfato y forma parte activa de la fotosíntesis. El fósforo es absorbido por las plantas de caña de azúcar durante los primeros 6 meses de crecimiento (3).

El fósforo lo mismo que el nitrógeno y el azufre forman aniones complejos con el oxígeno, pero la solubilidad de los fosfatos es baja lo cual reduce prácticamente su disponibilidad y constituye una desventaja (3).

B.- Formas del fósforo en el suelo

La mayor parte de fósforo absorbido por las plantas pertenece a la forma de ión ortofosfato primario y el fósforo en el suelo generalmente está en forma orgánica o inorgánico (3).

C.- Factores que afectan la disponibilidad del P en el suelo

C.1.- Tipo de arcilla: se ha señalado que el P es más retenido por las arcillas de tipo 1:1 que por las 2:1. Los suelos con minerales arcillosos, que se hallan en lugares de fuertes lluvias y elevadas temperaturas pueden fijar mayor cantidad de P. La presencia de hidróxidos de Fe y Al contribuyen a la fijación de P (16).

C.2.- Tiempo de reacción: cuanto mayor sea el tiempo en que el suelo y el P añadido están en contacto, mayor será la cantidad de fijación. También es importante la colocación del P en el suelo (16).

C.3.- El pH y la disponibilidad de P

La relación general entre el pH y la disponibilidad de nutrientes es muy importante. Buckman (6) reporta que los nutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) así como los secundarios (azufre, calcio y magnesio) están disponibles o más disponibles a un pH de 5.5 y 6.5 para suelos orgánicos y minerales. El mismo autor, también reporta que los elementos menores como el hierro, manganeso, cloro y zinc, están menos disponibles a un pH de 5.5 y 6.5 que a reacciones más ácidas (6).

La disponibilidad de P es máxima en un orden de pH que oscila de 5.5 a 7, disminuyendo cuando el pH cae debajo de 5.5 y disminuyendo cuando el valor sube por encima de 7 (6).

3.1.3.- Fertilizantes fosforados

Las fuentes minerales más comúnmente utilizadas como fertilizantes son el Triple superfosfato, Fosfato de amonio simple (MAP), y Roca fosfórica. Todas las fuentes, exceptuando la Roca fosfórica son 100% solubles en citrato, solamente el Fosfato de amonio doble (DAP) es 100 % soluble en agua.

La roca fosfórica tiene baja solubilidad en suelos con pH arriba de 6, de tal manera que esta fuente debe utilizarse cuando el pH es ácido y no es aconsejable usarlo cuando se necesita una rápida disponibilidad de P por el cultivo.- El DAP y el MAP contienen además de P, 18 % de N y 11% de K respectivamente (17).

Información general sobre fuentes de fósforo

a.- Triple Superfosfato (TSP)

46% Fósforo (P_2O_5)

20% Calcio (CaO)

Características físicas y químicas:

- ◆ Fórmula química: $Ca(H_2PO_4)_2$
- ◆ Peso molecular (g/mol): 132.05
- ◆ Nombre químico: Fosfato de calcio, monobásico
- ◆ Color y forma: Cristales blancos

- ◆ Densidad (kg/m^3): 1040 - 1088
- ◆ Solubilidad: Moderadamente soluble en agua: aprox. 1.8g/100ml de agua a 30°C
- ◆ Acidez equivalente al carbonato de calcio neutro
- ◆ Índice de salinidad: 10.1
- ◆ Compatibilidad: compatible con la mayoría de fertilizantes. Compatibilidad limitada con urea y fosfato de amonio doble.
- ◆ Manejo y almacenamiento: no requiere de manejo o precauciones en su almacenamiento; sin embargo deben seguirse todas las practicas de un buen manejo. Como todos los fertilizantes, tienden a ser corrosivos, por lo que se prefiere emplear estructuras de madera, para su almacenamiento. Tiende a apelmazarse al ser estibado, pero los grumos son fáciles de romper.
- ◆ Comportamiento en el suelo: reacción levemente ácida en el suelo. Su pH es solución acuosa es aproximadamente de 4. Material de velocidad media de liberación del fósforo (17).

b.- Fosfato de Amonio Simple (MAP)

10% Nitrógeno total (N)

10% de Nitrógeno amoniacal (NH_4^+)

50% Fósforo (P_2O_5)

Características físicas y químicas

- Formula química: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$
- Peso molecular: 115.0
- Nombre químico: fosfato de amonio, monobásico; Fosfato diácido de amonio.
- Color y forma: Color variable, desde blanco (cristal, grado técnico) hasta café (granular).
- Densidad: (kg/m^3): 944-1024
- Solubilidad: 40g/100 ml de agua
- Humedad crítica relativa (a 30°C): 92%
- Acidez equivalente a carbonato de calcio: 65 (Partes del carbonato de calcio necesarias para neutralizar el efecto acidificante de 100 partes de MAP)

- Índice de salinidad: 24.3
- Compatibilidad: compatible con la mayoría de fertilizantes.
- Manejo y almacenamiento: por su alta humedad crítica relativa, no requiere de manejo o precauciones especiales en su almacenamiento; sin embargo todas las practicas de buen manejo, principalmente evitando el contacto con la humedad.
- Comportamiento en el suelo: es más soluble y asimilable en suelos ligeramente neutros (pH entre 6.5 a 7). No debe aplicarse junto con productos alcalinos, para evitar pérdidas de nitrógeno amoniacal. Su efecto neto en el suelo es acidificante. El pH en solución acuosa es aproximadamente de 4. Este producto puede emplearse como fuente de nitrógeno (10%) o de fósforo (50%) (17)

c.- Superfosfato Simple

5% de Calcio (Ca)

10% de Azufre (S)

20% Fósforo (P₂O₅)

Características físicas y químicas

- ✓ Formula química: Ca(H₂PO₄)₂
- ✓ Peso molecular: 172 gr.
- ✓ Nombre químico: Superfosfato Simple de Calcio.
- ✓ Color y forma: Polvo de color café (granular) dependiendo del tipo de ácido y roca fosfórica utilizada en su manufactura.
- ✓ Densidad (g/mol): 1.26
- ✓ Humedad Máxima: 6.0
- ✓ Acidez libre máxima: 4.0
- ✓ Compatibilidad: con la mayoría de fertilizantes.
- ✓ Manejo y almacenamiento: producto soluble en agua, de presentación terrosa con algunos grumulos, de olor picante, con cierto contenido de ácido libre, tendiendo a apelmazarse al ser amontonado, no recomendando almacenaje por largos periodos de tiempo.

- ✓ Recomendación para su uso: El Superfosfato simple es adecuado para todo tipo de cultivo recomendándose su aplicación en las siembras y transplantes o en las primeras etapas de crecimientos obteniéndose plantas vigorosas. Se recomienda utilizar este producto con fertilizantes nitrogenados.

d.- Acido Fosfórico

El ácido fosfórico contiene 52.4% de P_2O_5 total (72.3% H_3PO_4), con una densidad de 1.16 en 150 ml; y 1.08 en 300 ml. A un 100% y el P_2O_5 proveniente de H_3PO_4 . El uso de ácido fosfórico concentrado como fuente de fósforo en caña de azúcar puede ser utilizado como sustituto del fertilizante convencional N-P-K, reportando buenas respuestas en plantía. El ácido fosfórico es adecuado utilizarlo con una dilución al 60% debido a que como se trata de un ácido, aplicarlo a concentraciones más altas produce quemaduras en las plantas dañándolas de tal manera que baja el rendimiento. En el caso del fertilizante N-P deberá aplicarse en soca o plantía. El peso específico del ácido fosfórico es 1.34 kg/lit (17).

e.- Roca fosfórica de Carolina del Norte

Nutrientes principales:

30% de Fósforo (P_2O_5)

48.7% de Calcio (CaO)

Características físicas y químicas.

Formula química: $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$

Peso molecular: (g/mol) 1,004.78

Color y forma: Cristales oscuros con apariencia de "arena negra".

Densidad: (kg/m^3) 1360 – 1520

Solubilidad: Prácticamente insoluble en agua.

Compatibilidad: Compatible con la mayoría de fertilizantes.

Manejo y almacenamiento: no requiere precauciones ni condiciones especiales de manejo y almacenamiento.

Comportamiento en el suelo: material de liberación lenta de P, sin embargo posee alta reactividad comparada con otros fosfatos minerales. Reacción alcalina en el

suelo, por lo que no debe mezclarse con cal, ya que ambas tienen efecto básico. Es efectiva en suelos con pH menor de 6.5.

Observaciones: es aceptada para producción en agricultura orgánica. Materia prima para producir Triple superfosfato (17).

3.1.4.- Trabajos realizados sobre fertilización en caña de azúcar

Con el objeto de conocer el efecto de los macroelementos (N, P, K) sobre la caña de azúcar, Saravia (31) realizó un ensayo de fertilización sobre suelos francos. Este ensayo fue conducido durante tres años de estudio, lográndose determinar que la dosis óptima económica recomendable que puede suministrarse al suelo es de 149 kg de N/ha. Además Saravia (31) también determinó que el elemento limitante para que el nitrógeno sea absorbido es el potasio (31)

En el año 1,988, Gaitán evaluó tres niveles de N, P, K. en la Unidad Docente Productiva Sabana Grande. De acuerdo con los resultados obtenidos concluyó que la variable rendimiento de caña en peso fue afectada por el factor fósforo (29). Durante la zafra 93/94, Pérez (27) realizó un estudio exploratorio de N, P, y K, con el fin de obtener información para poder priorizar y organizar la investigación en cada uno de estos nutrientes. Este estudio dio inicio con el establecimiento de ensayos de campo en diferentes ingenios y con diferentes tipos de suelos; los factores evaluados fueron: Nitrógeno (50, 100, 150 y 200 kg/ha), Fósforo (0, 50, 100 y 150 kg de P₂O₅/ha), y potasio (0, 50, 100 y 150 kg K₂O/ha). Para el año 1,995, los resultados obtenidos durante el primer ciclo (plantía), reportados por Pérez, en relación al Nitrógeno, en suelos Andisoles se reportaron efectos significativos de este elemento sobre la producción de caña en las fincas El Baúl con la variedad CP-722086 y Cañaverales del sur, con la variedad PR-872080, siendo la aplicación de 150 kg de N/ha la que mayor incremento reportó (Pérez 1997). En relación con el fósforo, se encontró un efecto altamente significativo en dos sitios (Finca El Baúl y Cañaverales del Sur), determinándose fuertes incrementos con la aplicación de 100 kg P₂O₅/ha, en comparación con el testigo sin fósforo (27).

Para el segundo ciclo (soca), se obtuvieron incrementos en la producción de caña por efecto de la aplicación del fósforo y potasio en banda a 30 días después del corte. Para los suelos Andisoles, el efecto alcanzó un incremento promedio de 12.4 tm/ha; sin embargo, aunque no alcanzó significancia estadística en los otros sitios, en todos los casos la producciones fueron mayores cuando se aplicó fósforo y potasio en las socas (27).

Para el cuarto ciclo, los resultados reportados por Pérez (28), observaron ligeros incrementos por efectos residuales de P y K en un suelo Andisol (El Baúl); tanto que con la aplicación reciente (anual) de P y K en dosis de 50 – 50 kg de P_2O_5 y K_2O /ha se presentó un incremento de 10.8 tm/ha de caña comercial. Este aspecto ha sido consistentemente observado en los años anteriores y en otros suelos Andisoles (28).

3.1.5.- Características principales de los suelos Andisoles

Los suelos Andisoles ocupan aproximadamente el 25% (88,000 ha) de área actual y potencial en donde se sitúa la agroindustria azucarera de Guatemala. Se localizan principalmente en el cuerpo y el ápice de los abanicos aluviales cerca de la cadena volcánica en la Costa Sur. Son poco evolucionados, desarrollados de ceniza volcánica reciente. La fracción arcillosa de éstos, está dominada por alófanos, un silicato de aluminio que por su estado amorfo tiene una alta superficie específica. Los alófanos le confieren a los suelos ciertas propiedades físico químicas y microbiológicas muy especiales, tales como: acumulación de humus, alta retención de formas solubles de fósforo (P) y azufre (Ishishhuka & Black, 1997), (24). El horizonte superficial de éstos suelos es de color gris muy oscuro (alto contenido de M.O.) y son de moderadamente profundos a profundos, con buenas características físicas y limitados en forma general, por presencia de sedimentos gruesos (piedra, grava, talpetate) (1).

En áreas tropicales, por las condiciones prevalecientes (de alta humedad y temperatura), existe una rápida oxidación de la materia orgánica del suelo, sin embargo, en presencia abundante de alófanos en éstos, hay formación de

complejos húmicos minerales que protegen a la materia orgánica de la oxidación (mineralización); por éste motivo tienen altos contenidos de carbono orgánico (26). La magnitud de los porcentajes de fijación de fósforo en los Andisoles de la zona cañera de Guatemala están arriba del 90%. En el cuadro 1 se presentan datos de las propiedades físico químicas más importantes de 5 de éstos suelos (2 Andisoles y 3 Mollisoles) de la región (13).

El pH en floruro de sodio elevado (mayor 10.5) de suelos Andisoles es un indicativo de la abundancia de minerales amorfos (alófano). El fósforo extractable con soluciones extractoras convencionales (Mehlich I y Mehlich II) muestran niveles bajos de éste elemento (menor de 5 ppm) comparado con los determinados en los Mollisoles. Se observan también niveles más altos de materia orgánica en los Andisoles (26).

Cuadro 1. Características químicas importantes de suelos representativos de orden Andisoles y Mollisoles de la zona cañera de Guatemala

Finca	Orden de Suelo	Fijación de P(%)	pH(agua)	pH NaF	P*(ppm)	MO (%)	Text.
B. Vista, Siquinalá	Andisol	95	5.9	11.4	< 5	5.7	FA
Bálsamo, Siquinalá	Andisol	92	6.1	11.2	< 5	> 6.0	FA
La Gomera	Mollisol	61	6.9	8.8	87.5	3.3	FA
Verapaz, Tiquisate	Mollisol	57	6.6	8.3	45.8	2.3	FA
California, Taxisco	Mollisol	48	6.4	7.7	54.6	2.1	FArL

Fuente: Perez 1,996.(24)

F.A: Franco Arcilloso, FAr: Franco Arcillo Limoso, M.O: Materia Organica.

3.1.6.- Respuesta de la aplicación de fósforo en la siembra de caña en suelos Andisoles

La fertilización fosforada al fondo del surco con Triple superfosfato (TSP), ha presentado una respuesta positiva incrementando la producción en suelos con características fijadoras de P (suelos Andisoles). Según Pérez,(24), en experimentos realizados en fincas como Cañaverales del sur, ingenio Madre Tierra, Ingenio el Baúl y El Bálsamo de Pantaleón, se han observado incrementos

de 29.4, 20.6 y 8.9 tm/ha, respectivamente con aplicaciones de 100 kg. de P_2O_5 /ha, siendo más evidentes las altas deficiencias en suelos de El Baúl y Madre Tierra (24). Se observa que hubo un aprovechamiento del fertilizante fosforado, debido a una respuesta positiva de las dosis óptimas económicas (DOE), las cuales fueron estimadas en 94 y 84 kg de P_2O_5 /ha, esto indica que en condiciones de campo, la fijación de P no es tan fuerte como podría considerarse, aunque puede ser que existan otros factores limitantes de la producción, si se compara con las medias del Bálsamo, Pantaleón, la cual fue menor pero siempre incrementando su producción en 8.9 tm/ha, con 100 kg de P_2O_5 /ha, aplicados.

3.1.7.- Interacción Nitrógeno-Fósforo

Aplicar fósforo en la plantilla produce un mayor incremento en la producción, que cuando se hacen aplicaciones sólo de nitrógeno, debido a que el factor limitante en estos suelos es el fósforo. Cuando se aplica el mismo (P), se favorece la absorción del nitrógeno (cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de la interacción N*P en la producción de caña en un suelo Andisol

Kg de N/ha	Kg de P_2O_5 /ha	
	0	100
50	132.8 tm/ha	146.7 tm/ha
100	130.7 tm/ha	157.8 tm/ha

Fuente: Perez, 1,996. (24)

En el cuadro 2 se observa que cuando no se aplica P en la siembra en suelos Andisoles no hay efecto al aplicar más N, siendo todo lo contrario cuando se aplica P (factor limitante) a razón de 100 kg de P_2O_5 /ha, es evidente el efecto del N.

3.1.8.- Ventaja de aplicar fósforo cada año en suelos Andisoles

Generalmente el P es aplicado solo en renovaciones o siembras nuevas cada 5 años dependiendo de la calidad del rebrote. Esto tienen su fundamento en que el P es un elemento poco móvil por lo que permanece en el suelo, y que la aplicación en el fondo del surco es la posición ideal para colocar el fertilizante más cerca de las raíces del cultivo. Pero se tienen reportes de una muy baja residualidad del P,

de un año a otro, siendo el primer año excelente y luego se observa una alta reducción de los rendimientos. En el cuadro 3 se nota un ligero incremento en el orden 1.3, 5.1 y 1.2 tm/ha, de caña, respectivamente en el segundo año para el Ingenio El Baúl, Madre Tierra y Pantaleón cuando se fertilizaron con 100 Kg de P_2O_5 /ha en el momento de la siembra, del año anterior. Sin embargo, cuando el fósforo fue aplicado también el segundo ciclo, en dosis de 50 Kg de P_2O_5 /ha, en banda e incorporado 30 días después del corte para completar la dosis total, las producciones consistentemente fueron superiores (24).

Cuadro 3. Efecto de la aplicación de fósforo en la producción de caña de caña (tm/ha) en el segundo año de cultivo, en suelos Andisoles

P (Kg/Ha)	Epoca de aplicación	El Baúl	Madre Tierra	Pantaleón
0	-----	121.7	125.6	120.2
100	100 % ciclo 1	123.0	130.7	121.4
100*	50% ciclo 1 + 50% ciclo 2	127.13	143.13	126.93

La dosis se fraccionó en los 2 años.

Fuente: Perez, 1,996,(24)

3.2.- Fertilización fosforada en caña de azúcar en la zona cañera de Guatemala, primera soca

Los suelos de la parte central de la costa sur del país son derivados de cenizas volcánicas, en dicho suelos se encuentra gran parte de la zona cañera. El programa de fertilización de los ingenios se limita a aplicar P sólo en renovaciones o siembras nuevas (plantía) en dosis no mayores del 100 kg de P_2O_5 /ha cada 5 o más años, y aplicaciones periódicas de nitrógeno (27).

Los suelos derivados de cenizas volcánicas especialmente los suelos Andisoles presenta un factor limitante, la baja residualidad de P, debido a la presencia de materiales amorfos (arcillas), que son las responsables de las altas fijaciones de P por dichos suelos.

Con aplicaciones de P en plantía y en primera soca se incrementa significativamente el rendimiento de caña de azúcar en suelos con bajo P

disponible, alta retención de P y suelos superficiales menores de 50 cms, limitados por presencia de talpetate en el perfil (27).

3.3.- MARCO REFERENCIAL

3.3.1.- Descripción de las regiones cañeras

La región cañera, productora de azúcar de Guatemala, se localiza en la vertiente del Océano Pacífico, en los departamentos de Guatemala, Santa Rosa, Escuintla y Suchitepequez, a lo largo de la planicie costera; de norte a sur, comienza en las estribaciones de la Sierra Madre a unos 1,220 metros sobre el nivel del mar; y se extiende hasta cerca del litoral a unos 150 metros sobre el nivel del mar (18).

La planicie costera del Pacífico, comprende una extensa faja de 300 kilómetros de largo, desde la frontera con la República Mexicana al poniente, hasta la de El Salvador al oriente y los terrenos agrícolas se localizan desde los 1,830 metros sobre el nivel del mar hasta la costa; es quizá la región más rica del país, donde se encuentran las plantaciones de café, caña de azúcar, banano, arroz, cacao, maíz y potreros para ganado. Cuenta con tierras fértiles, topografía plana a ondulada propia para trabajarlas como maquinaria agrícola.

El cultivo de la caña de azúcar se hace con el fin primordial de la producción de azúcar. Para la producción de azúcar el cultivo tiene la mayor distribución ocupando valles y cañadas donde predominan los terrenos de topografía ondulada, poca profundidad y clima cálido generalmente (22).

3.3.1.1.- Características de los suelos

La mayor parte de la superficie agrícola del departamento, de Escuintla que se cultiva con café, caña de azúcar y maíz, se localiza en la faja del declive del Pacífico.

TOROLITA: éstos suelos se ha desarrollado sobre una corriente lodosa volcánica, son profundos, su textura es franco arcillosa y de color café rojizo muy oscuro. La reacción es ligeramente ácida con pH de 6.0; el contenido de materia orgánica es alto y muy rico en potasio; se localizan al sudeste de Escuintla a elevaciones de 137 a 274 metros (6).

COYOLATE: son suelos profundos, bien drenados y desarrollados sobre material volcánico de color café claro, ocupan relieves planos y están asociados con los suelos de Tiquisate en la faja del litoral del Pacífico. Son de texturas franco arcilloso, reacción medianamente ácida, con pH de 6.0; pobres en materia orgánica y nitrógeno; muy pobres en fósforo y muy ricos en potasio. Se localizan al suroeste de Patulul en los departamentos de Escuintla y Suchitepequez (6).

TIQUISATE: son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre depósitos marinos aluviales; se distinguen por su textura franca y de color café oscuro a muy oscuro. Son terrenos fértiles, capaces de producir todos los cultivos tropicales y fáciles de trabajar con maquinaria agrícola por su topografía casi plana. Son muy ricos en materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio; la reacción es alcalina y el pH es de 7.0; se localizan en los departamentos, de Suchitepequez, Escuintla y Santa Rosa (6).

3.3.1.2.- Clima de las regiones cañeras

El área de dispersión de la caña está limitada por un conjunto de factores que influyen para su buen desarrollo, entre los cuales el clima es uno de los más importantes. La temperatura, la humedad y la insolación, son determinantes para el crecimiento normal de las plantas y para inducir la madurez industrial, elevando al mismo tiempo los rendimientos de campo y mejorando la pureza de los jugos cuando llega la época de la zafra (8).

En la región de la planicie costera del Pacífico donde se localizan la fincas cañeras y los ingenios azucareros no se marcan los cambios de las 4 estaciones: invierno, primavera, verano y otoño, debido a su posición geográfica; pero en cambio hay 2 épocas del año bien diferenciadas: la temporada seca y de lluvias; la primera comprende los meses de noviembre a mayo y se llama "verano"; la segunda inicia en el mes de mayo y finaliza en noviembre y se le designa "invierno" (Cedillo 1,995). Los índices de temperatura para mejor desarrollo de la caña son:

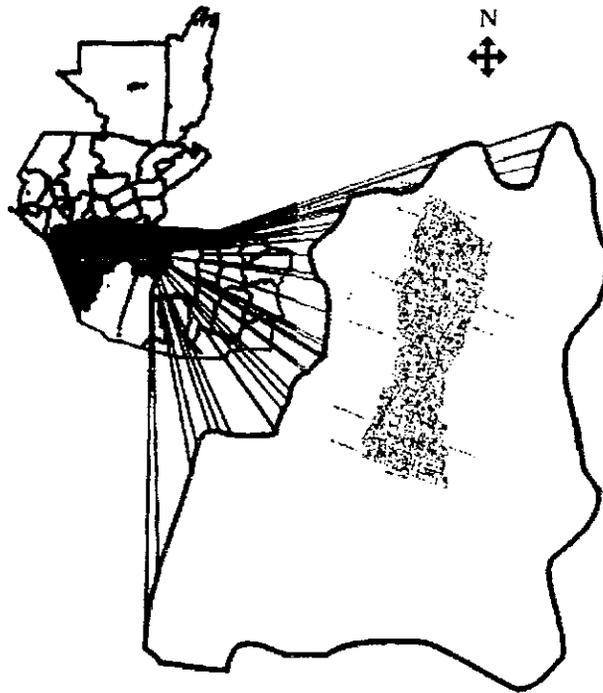
- 1.- La óptima para la germinación de las yemas se obtiene entre los 32°C.
- 2.- La temperatura óptima tanto para el crecimiento como para la mejor absorción de nutrimentos es de 27°C (8).

3.- El margen de desarrollo normal fluctúa de 21° a 38°C; las plantas retardan su crecimiento de 10° a 21°C; las funciones fisiológicas se paralizan a menos de 10°C y la caña sufre daños a menos de 2°C por efectos de bajas temperaturas (22).

3.3.1.3.- Localización de la finca Cañaverales del Sur

La finca Cañaverales del Sur, pertenece a la zona cañera tres del Ingenio Madre Tierra. La cual cuenta con una área de 1,148.58 hectáreas. La finca se encuentra ubicada geográficamente en el Municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa, departamento de Escuintla; a 14°18'' latitud norte y 91°05'' longitud oeste, a 97 kilómetros de la ciudad capital y a 4 kilómetros debajo de la carretera que conduce a Santa Lucia Cotzumalguapa (CA-2) (18). La Finca Cañaverales del Sur se encuentra a 230 msnm, sus colindancias son al norte con finca Concepción, al sur con finca Limones, al este con las fincas Concepción Buena Vista, San José Palmira, San Sebastián y Santiaguito; al oeste con las fincas Madre Tierra, Victory, San Pedro y Camantulul, el área cultivada es de 1,148.58 hectáreas (19).

**MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LA
FINCA CAÑAVERALES DEL SUR**



a.- Zona de Vida

Según De La Cruz (1982), la finca se encuentra dentro de la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido), con temperaturas máximas de 32.4°C y mínimas de 25.25°C, tendiendo a elevarse en los meses de febrero a mayo. La precipitación pluvial está comprendida de 2,500 a 3,000 mm/año, distribuidos de mayo a octubre, con un promedio de humedad relativa del 82% y un promedio diario de 10 horas luz.(22)

b.- Suelos

Según el estudio de suelos a nivel semidetallado realizado por CENGICAÑA (1993), describe que la zona cañera tres posee suelos de tipo ANDISOLES que presentan textura Franco arenosa a Franca fina, en ellos predominan las arcillas tipo alofano (amorfas). La capacidad de intercambio cationico (C.I.C.), es alta y esta determinada por la cantidad y tipo de arcilla (alófana). La saturación de sales esta relacionada con el clima y la posición dentro del paisaje (22).

3.3.1.4.- Características de la variedad

A.- Variedad PR - 872080

A.1- Aspecto general

La variedad PR 872080 a la edad de 9 meses se distingue por su follaje abundante cuyas hojas superiores se muestran en forma de espada, el grupo de hojas a media altura son decumbentes y las hojas bajas son caídas. Estas tres posiciones observadas en la lámina foliar se presentan en proporciones similares. La floración es nula (11).

A.2.- Tallos

Los tallos crecen erectos y muestran un deshoje natural regular además de uniformidad en la composición y altura de los tallos. Plantas acamadas no hay presencia de lalas. La forma del entrenudo es cilíndrico ligeramente en zigzag con abundante cera en la banda cerosa y a lo largo del entrenudo. El canal de la yema es casi superficial que abarca $\frac{1}{4}$ del entrenudo (11).

El nudo tiene la forma de un cilindro y el anillo de crecimiento semiancho presenta protuberancia lisa al tacto. En la banda de las raíces se observan 3 hileras en el lado de la yema mientras que en el lado opuesto de la yema se observan 2, ambas se arreglan al tresbolillo y son protuberantes. El nudo en el lado de la yema mide 10 mm y en el lado opuesto a la yema 6 mm (11).

La yema ligeramente prominente es ovalada con punta corta cuya base se localiza adherida a la cicatriz foliar y ligeramente sobrepasa el anillo de crecimiento (11).

A.3.- Follaje

La vaina de la hoja es verde claro con poca cera sin presencia de afate. Las vainas a lo largo del tallo se adhieren parcialmente al mismo, pero con forme se aproxima al cogollo éstas se adhieren totalmente. En la base de la lámina foliar una de las aurículas es lanceolada larga y la otra transicional ascendente. El último cuello visible es verde claro cuya superficie es lisa y velluda en el borde. Al observar la lígula su patrón es creciente lineal (12).

A.4.- Características agroindustriales

La planta presenta buenas características en periodo de plantía y primera soca, es una variedad que no presenta floración, con un 3.3 por ciento de corcho; y es resistente la carbón, escaldadura, mosaico, YLS y a la roya (9). Esta variedad es de maduración tardía con una altura uniforme y con un 12 por ciento de fibra, como también un daño de barrenador de 2.86 por ciento y ácame de un 23 por ciento. Dicha variedad se desarrolla mejor en suelos Mollisoles y a una altura mayor de 300 metros sobre el nivel del mar; y también responde a aplicaciones de madurante (10).

□ **Aspectos Relevantes:**

Porte Erecto

Cogollo Corto

Uniformidad en la Composición

de los tallos

4.- OBJETIVOS

4.1.- General:

Determinar la respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum spp*), variedad PR-872080, en periodo de primera soca a la fertilización fosforada, en un suelo Andisol.

4.2.- Específicos:

- Determinar la fuente de fertilización fosforada más adecuada (triple superfosfato, fosfato monoamónico, superfosfato simple y ácido fosfórico) para el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum spp*), variedad PR-872080, en suelos Andisoles.
- Evaluar la aplicación de P, en banda y sobre la cepa con Triple Superfosfato; en caña de azúcar (*Saccharum spp*), durante la primera de soca, variedad PR-872080, en suelos Andisoles.
- Determinar la época más adecuada de aplicación con Triple Superfosfato, aplicado a los 20 días vrs. 70 días después del corte, en caña de azúcar (*Saccharum spp*), variedad PR-872080, en periodo de soca, en suelos Andisoles.
- Determinar la extracción total de fósforo por parte de la planta, con las cuatro fuentes aplicadas, en caña de azúcar (*Saccharum spp*), variedad PR-872080, en un suelo Andisol, en periodo de soca.
- Determinar los costos de aplicación a través del presupuesto parcial (Análisis económico).

5.- HIPÓTESIS

5.1.- Por los menos una fuente de fósforo (triple superfosfato, fosfato monoamónico, superfosfato simple y ácido fosfórico), inducirá diferencias significativas, en el rendimiento del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum spp*), variedad PR-872080, en un suelo Andisol.

5.2.- Por lo menos una de las dos formas de aplicación (en la banda e incorporado vrs sobre la cepa) del triple superfosfato presentará diferencias significativas, en el rendimiento del cultivo de la en caña de azúcar (*Saccharum spp*), variedad PR-872080, en un suelo Andisol.

5.3.- Al menos una época de aplicación (20 vrs 70 días después del corte o cosecha), con Triple Superfosfato presentará diferencias significativas en el rendimiento del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum spp*), variedad PR-872080, en un suelo Andisol.

6.- METODOLOGÍA

6.1.- Metodología experimental

6.1.1.- Factores de estudio

Los factores de estudio evaluados fueron las fuentes de fósforo (Triple superfosfato, Superfosfato simple, Acido fosfórico, Fosfato de amonio simple), dos formas de aplicar el Triple superfosfato (en la banda y sobre la cepa), y dos épocas de aplicación del Triple superfosfato (20 y 70 días después del corte). En el cuadro 4 se presentan los tratamientos evaluados en la investigación.

Cuadro 4. Descripción de tratamientos

Trat.	Fuente	P Kg. de P ₂ O ₅ /Ha.	Epoca	Forma
1	-----	0	-----	-----
2	Triple Superfosfato (TSP)	80	20 ddc	en la banda
3	Acido Fosforico (A. fosf)	80	20 ddc	Asperjado
4	Fosfato Monoamonico (MAP)	80	20 ddc	en la banda
5	Superfosfato Simple (SSP)	80	20 ddc	en la banda
6	Triple Superfosfato (TSP)	80	20 ddc	sobre la cepa
7	Triple Superfosfato (TSP)	80	70 ddc	en la banda
8	Triple Superfosfato (TSP)	40	20 ddc	en la banda

Fuente: Autor

ddc: días después del corte (cosecha)

El ácido fosfórico se trabajó con una dilución al 60%.

Además de P, las fuentes utilizadas contienen otros elementos: el Triple superfosfato contiene 20% de Ca, el Fosfato monoamónico contiene 10% de N, y el superfosfato simple contiene 5% de Ca y 10% de S, pero el criterio utilizado en la investigación fue el de tomar dichas fuentes con sus formulaciones comerciales como salen al mercado.

6.1.2.- Diseño Experimental

Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar, con 8 tratamientos y 4 repeticiones.

6.1.3.- Modelo Estadístico

Para el análisis del experimento el modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = u + T_i + B_j + E_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1,2,\dots,8 \text{ (tratamientos)} \\ j = 1,2,3,4 \text{ repeticiones} \end{array}$$

donde:

Y_{ij} = Respuesta de la caña de azúcar obtenida en la ij -ésima unidad experimental.

u = Efecto de la Media general.

t_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

B_j = Efecto del j -ésimo bloque experimental (repeticiones)

E_{ij} = error experimental asociado a la ij -ésima U. Exp.

6.1.4.- Unidad experimental

La unidad experimental consistió en 6 surcos de 10 mts, de longitud, sembrados a una distancia de 1.5 mts, entre surco (7.5 mts, de ancho) que equivale a una parcela bruta de 90 m^2 . La parcela neta estuvo conformada por tres surcos centrales.

6.1.5.- Variedad de caña

La variedad de caña de azúcar (*Saccharum spp*), utilizada fue la PR-872080, en el periodo de primera soca.

6.2.- Análisis preliminar del suelo

Antes de la aplicación de los fertilizantes, se realizó un muestreo de suelos del área donde se estableció el ensayo para su análisis. El muestreo se realizó tomando una submuestra por cada bloque del experimento a 20 cms., de profundidad. Las submuestras se mezclaron para obtener una muestra homogénea del área de estudio. Se envió la muestra al laboratorio, para su análisis y los resultados se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados de análisis de suelos del área experimental

	mg/Kg		cm(+)Kg-1		mg/Kg			
pH	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
5.6	0.29	170	6.55	0.92	0.5	3.0	3.0	10.5

Fuente: Análisis realizados en el Laboratorio de la Facultad de Agronomía.

6.3.- Variables medidas

Se determinó el efecto de la aplicación de diferentes fuentes, formas y épocas de fertilizante fosforado sobre los principales componentes del crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar en suelos Andisoles. (Variables de respuesta)

6.3.1.- Población (Miles de plantas/ha)

Se contó la población total de tallos de los tres surcos centrales de la unidad experimental, y con los datos recolectados se obtuvo un promedio de número de tallos dentro de 15 m², logrando con este valor obtener el número de tallos existentes en una hectárea. La lectura de población se realizó a los 6 meses después del corte.

Se tomó el criterio de realizar la toma de datos de las variables altura, diámetro y población, al sexto mes después del corte, con la finalidad de uniformizar y homogenizar las lecturas dentro de los tratamientos, pues se ha encontrado que a partir de esta edad el número de tallos se estabiliza dentro de la plantación (Amaya E., et. al., 1,995), siendo posible también correlacionar estos valores con la productividad del cultivo.

6.3.2.- Altura de tallos (cms)

Seis meses después de la cosecha se medieron 15 tallos de los tres surcos centrales (5 tallos/surco). La medición de la altura se realizó desde la base del tallo hasta el último cuello visible o punto natural de quiebre. Con los datos obtenidos en el campo se obtuvo un valor promedio representativo para la unidad experimental.

6.3.3.- Diámetro de tallos (cms)

Las medidas de diámetro se realizaron utilizando un vernier y se tomaron en la parte central del entrenudo que se encuentra a un metro del nivel del suelo de los 15 tallos seleccionados para la medición de la altura. La toma de datos se realizó a los 6 meses después de establecido el ensayo. De los datos obtenidos en el campo se obtuvo un valor promedio representativo de la unidad experimental.

6.3.4.- Rendimiento de la caña de azúcar

Para determinar el rendimiento de caña, se cosecharon las parcelas experimentales, para obtener el rendimiento de campo en peso de la unidad; expresado en toneladas de caña por hectárea (tm/ha). La cosecha de los ensayos se llevó a cabo a los 12 meses de edad del cultivo cosechando y registrando el peso de tallos de los 3 surcos centrales de la parcela.

6.3.5.- Concentración de azúcar

Una semana antes de la cosecha se realizaron los muestreos precosecha en las área experimentales, tomándose muestras de caña de cada unidad. Las muestras estuvieron formadas por 5 tallos molederos seleccionados al azar en los tres surcos centrales, los cuales se analizaron en el laboratorio de CENGICAÑA, determinando los grados Brix, Pol y Pureza.

Pol es la abreviatura de la palabra polarización. Es la lectura en la escala del polarímetro (grado Z). Es una muestra de solución normal de azúcar, la pol es igual al porcentaje en peso de sacarosa.

Pureza es la abreviatura de sacarosa contenida en los sólidos solubles, siendo denominada "pureza real". La "pureza aparente" es una estimación calculada a partir de los valores de Brix y Pol (12).

Las muestras de caña se picaron y luego se tomaron 500 gr de muestra de los que se colocaron en una prensa hidráulica y se presionó por espacio de 1 minuto, obteniendo 200 ml de jugo (12).

El procedimiento para efectuar dichas mediciones es el siguiente; medir 200 ml de jugo en un Baeker plástico de 250 ml, luego adicionar una medida de subacetato

de plomo en polvo, para así agitar la solución. Seguido filtrar la muestra a través de papel filtro Whatman no. 1; decantar los primeros 10 ml del filtrado, el cual se coloca al tubo del polarímetro y se efectúa la medida, para luego realizar el siguiente cálculo:

$$\text{Pol del jugo} = \text{lectura polarimétrica} * 26 / (0.3949 \text{ Lec Brix} + 99.71)$$

$$\text{Pureza de jugo} = \text{Pol jugo} * 100 / \text{Brix jugo}$$

Los grados Brix se define como el contenido porcentual de sólidos disueltos en el jugo y pueden medirse por refractometría y por hidrometría. En el jugo la sacarosa y los azúcares reductores forman la mayor parte de los sólidos disueltos.

El procedimiento para la medición de los grados Brix es el siguiente; se ajusta el refractómetro a 0 con agua destilada, luego se coloca en la unidad óptica la cantidad de muestra de jugo necesaria para tomar la lectura. Seguido se toma la lectura indicada en el refractómetro. Luego remover la muestra con ayuda de papel absorbente y limpiar el refractómetro con agua destilada. La lectura del Brix del jugo es la que el aparato registra directamente (12).

6.3.6.- Extracción total de fósforo por la planta

Previo al corte total del experimento se seleccionaron cuatro tratamientos (fuentes de P), y se cosechó la totalidad de tallos del surco 5. Se separaron y pesaron los tallos molederos, hoja seca, hoja verde y cogollos obtenidos. De cada porción se tomaron muestras representativas de 1 kg las cuales se enviaron al laboratorio de CENGICAÑA a las cuales se les determinó el porcentaje de humedad, fósforo existente en cada parte vegetativa. Finalmente, en base a los datos reportados por el laboratorio, se determinó la concentración y extracción de fósforo por cada una de las partes vegetativas analizadas.

6.3.7.- Análisis de tejido foliar

Con el fin de determinar el estado nutricional de las plantas después de la aplicación de los tratamientos, se llevó a cabo un muestreo y análisis foliar a 6 meses después de establecido el ensayo, pues de acuerdo con Anderson y

Bowen (3) recomienda hacer los análisis foliares (plantilla y soca) en las edades comprendidas entre los 4 a 6 meses.

Para llevar a cabo el muestreo se cortaron 15 hojas correspondientes a la última hoja con cuello o lígula de cada unidad experimental. Las hojas obtenidas se dividieron en tres partes; eliminándose los extremos y considerando sólo el tercio medio de la hoja.

A todas las láminas obtenidas del tercio medio se les eliminó la nervadura y finalmente se enviaron al laboratorio de CENGICAÑA en donde se les determinó la concentración total de P.

6.4.- Manejo agronómico.

Se utilizó el control químico de malezas, paso de cultivadora y control manual. Se aplicó la fertilización base utilizada por el ingenio, la cual consistió en la 120 Kg de N/ha y 80 Kg de K₂O/ha, los cuales fueron aplicados en banda e incorporados a los 70 días después de establecido el ensayo (4).

Es importante indicar que este suelo había recibido el año anterior (plantía) el equivalente a 60 kg de P₂O₅/ha, el cual corresponde al nivel de fertilización utilizado en el ingenio (4).

6.5.- Análisis económico de la aplicación de fósforo.

Para ellos se utilizó la metodología del presupuesto parcial, propuesto por Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (20), para los tratamientos evaluados.

6.6.- Tabulación y análisis estadístico de los resultados

6.6.1.- Análisis de varianza

Los datos de las variables de respuesta estudiadas fueron sometidos al análisis de varianza (ANDEVA) por el diseño de bloques al azar.

Las variables analizadas fueron las siguientes:

6.6.1.1.- Variables principales: rendimiento de caña (Tm/Ha), % de sacarosa, extracción total de P por el cultivo, análisis de tejido foliar, Brix, Poll y Pureza.

6.6.1.2.- Variables secundarias: altura de tallos, diámetro de tallos y población de tallos.

6.6.2.- Prueba de medias

Se realizaron pruebas de medias utilizando la prueba de Tukey (α 0.05), a las variables con diferencias estadísticamente significativas. La comparación de formas y épocas de aplicación del triple superfosfato se hizo a través de contrastes.

6.6.3.- Contrastes con comparaciones preplaneadas

Se realizaron contrastes con comparaciones predeterminadas, siendo las siguientes:

- ❖ TSP en banda Vrs. TSP (s/cepa) (tratamiento 2 vrs. Tratamiento 6)
- ❖ TSP (20 ddc) Vrs. TSP (70 ddc) (tratamiento 2 vrs. Tratamiento 7)
- ❖ Testigo (Sin P) Vrs. TSP (s/cepa) (tratamiento 1 Vrs. Tratamiento 6)
 - TSP: Triple superfosfato

7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos al término del periodo de investigación.

7.1.- Variables de respuesta: (variables principales).

7.2.- Producción de caña (tm/ha), y concentración de azúcar (% de sacarosa)

En el cuadro 6 se presentan las medias de los tratamientos y el análisis de varianza con respectivo para las variables producción de caña, y concentración de azúcar (% de sacarosa).

Cuadro 6. Medias observadas, análisis de varianza y prueba de medias Tukey para las variables Peso de caña, y concentración de azúcar

Trat.	Fuentes de Fósforo	Kg de P ₂ O ₅ /ha	Forma de Aplicación	Epoca de Aplicación	Azúcar (% Sac)	Caña tm/ha
1	Testigo	0	-----	-----	11.3 b	94.14 b
2	TSP	80	Incorp. En la banda	20 ddc	12.3 a	117.87 a
3	A. Fosf.	80	Asperj./cepa	20 ddc	11.9 a b	106.30 a b
4	MAP	80	Incorp. En la banda	20 ddc	12.2 a	117.07 a
5	SSP	80	Incorp. En la banda	20 ddc	11.8 a b	108.89 a b
6	TSP	80	Sin Incorp.	20 ddc	11.3 b	104.86 a b
7	TSP	80	Incorp. En la banda	70 ddc	12.5 a	121.63 a
8	TSP	40	Incorp. En la banda	20 ddc	11.4 b	107.29 a b
Valor de F					1.0948	1.1431
Pr>F					0.0374	0.0355
Significancia					*	*
Coeficiente de Variación					2.11	4.34

Fuente: Autor

Referencias cuadro 11

* : significativo al 5%

ns: no significativo al 5%

CV: Coeficiente de variación (%).

Pr>F: Probabilidad de obtener un valor de F igual o mayor al observado.

Se encontraron efectos estadísticamente significativos de las diferentes fuentes de P y manejo del fertilizante fosforado sobre la dos variables de Interés. La medias obtenidas para cada variable se presentan en el cuadro 6 y se presenta el resumen de la prueba de medias según Tukey (0.05).

El tratamiento que reportó el mayor rendimiento en producción fue el tratamiento siete (TSP, aplicado en banda 70 días después del corte), con una media de 121.63 tm/ha.

El menor rendimiento se obtuvo con el tratamiento testigo sin fósforo (T1) con una producción de 94.1 tm de caña/ha comparado con el rendimiento de 117.87 tm/ha del tratamiento dos que recibió P con Triple superfosfato a razón de 80 kg de P_2O_5 /ha, siendo ambas estadísticamente significativas. Estos resultados ratifican la respuesta de la fertilización fosforada en primera soca en estos suelos. La fertilización convencional en socas en estos suelos es hasta ahora exclusivamente con nitrógeno, de tal manera que existe potencial para incrementar los rendimientos con la aplicación de P en primera soca. Estos resultados son congruentes con lo encontrado en experimentos anteriores, en donde se observó poco efecto del P de un año a otro (Pérez, 1,996). En relación a las cuatro fuentes de P el Triple superfosfato y el Fosfato monoamónico aplicados en banda e incorporados ambos a los 20 días después del corte, tuvieron similar efecto y correspondieron con las más altas producciones (117 tm/ha) y superaron al Superfosfato simple (108 tm/ha) y ácido fosfórico (106.3 tm/ha). En resumen los tratamientos que tuvieron mejores rendimientos fueron los aplicados en banda e incorporados (TSP, MAP), exceptuando el Superfosfato simple (SSP) el cual no contiene Nitrógeno, pero si contiene Calcio y azufre en bajas proporciones, lo cual pudo ser el factor limitante. El Acido fosfórico fue afectado por la localización del fertilizante y la poca movilidad del fósforo, por lo que los tratamientos que mejores rendimientos reportaron fueron los que se aplicaron en banda e incorporados. En relación al efecto de la posición y la época de aplicación del fertilizante sobre la producción, en el cuadro 7 se presentan las comparaciones estadísticas a través de dos contrastes; 1) trat. 2 vrs. trat. 7: efecto de la época de aplicación del TSP y 2) trat. 2 vrs. trat. 6: efecto de la forma de aplicación del TSP. Lo claro que se observa es que la localización del fertilizante si es determinante para el mejor aprovechamiento del mismo, siendo en banda e incorporado la forma más cerca de colocar el mismo de las raíces.

Cuadro 7. Resumen de análisis de contrastes

Contraste	Gl	Sc Contrastes	Fc	Pr>F
Trat.2 Vrs. Trat.6 En banda, incorp. Vrs. sobre la cepa sin incorp.	1	338.3511	7.00	0.0151
Trat.2 Vrs. Trat.7 (20 días vrs. 70 días)	1	28.3128	0.59	0.4526
Trat.1 Vrs. Trat.6 (Testigo sin P vrs. sobre la cepa sin incorp)	1	229.7189	4.75	0.0408

Fuente: Autor

7.3.- Análisis y discusión de contrastes de tratamientos de interés

Aunque los mayores rendimientos de caña se lograron al fertilizar hasta los 70 días después del corte (121 tm/ha), éste no superó significativamente en términos estadísticos a la aplicación convencional en banda e incorporado a los 20 días (117.8 tm/ha). El mismo permitiría fertilizar el cultivo entre 20 y 70 días a conveniencia con similares resultados. Por otro lado se observa la diferencia significativa que existe entre el tratamiento dos y el tratamiento seis, la cual se debe a la posición del fertilizante en banda e incorporado, la cual favorece la absorción de P, debido a que el fertilizante se encuentra más cerca de las raíces. También se observa diferencia significativa entre el tratamiento 1 (testigo sin P), y el tratamiento 6 (TSP sin incorporar), esta se debió que aún siendo colocado sobre la cepa hubo absorción de P, en este tratamiento la cual marcó diferencia respecto al testigo.

En relación al porcentaje de sacarosa (Cuadro 6) que aquellos tratamientos que produjeron los menores rendimientos de caña también produjeron las menores concentraciones de azúcar. Estos corresponden a: 1.) Testigo sin P, 2.) Nivel medio de P (40 kg P₂O₅/ha) y 3.) aplicación sobre la cepa sin incorporar. Estos resultados respaldan lo discutido anteriormente en cuanto a la deficiencia de P en el sitio estudiado.

7.4.- Poll, Brix y Pureza de jugos.

En el cuadro 13 (ver anexo) se presenta el resumen de los resultados del análisis de varianza para las variables Poll, Brix y Pureza.

El análisis de varianza indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, para ninguna de las tres variables, las medias observadas para Brix, Pol y Pureza se presentan en el cuadro 13. (Ver anexo)

A los datos de los muestreos de las variables Brix, Pol y Pureza se les realizó el respectivo análisis de varianza (ANDEVA), en el cual no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. (ver anexo cuadro 14).

Tal como se indicó, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los ocho tratamientos evaluados. Sin embargo en forma consistente se observa que el tratamiento siete alcanzó los valores más altos en las tres variables analizadas y concuerda con lo que ocurrió con la población, diámetro y altura de tallos presentados. El tratamiento siete fue aplicado con Triple superfosfato, en banda e incorporado, siendo la posición del mismo la más cercana a las raíces la que puede estar marcando la diferencia en cuanto a los otros tratamientos.

En el cuadro 8 se presenta la extracción total de P en cada uno de los tratamientos, con el resumen del análisis de varianza respectivo.

Cuadro 8. Medias observadas, prueba de medias Tukey (0.05) y análisis de varianza, para las variables P en la hoja y extracción total de P

Trat.	Fuente	P Kg./ha.	P en hoja (%)	Extracción Total de P, en Kg/ha.
1	-----	0	0.10 d	14.6
2	Triple Superfosfato	80	0.15 b	18.2
3	Acido Fosforico	80	0.12 cd	16.4
4	Fosfato Monoamónico	80	0.13 bcd	18.1
5	Superfosfato Simple	80	0.13 bc	16.8
6	Triple Superfosfato	80	0.12 bcd	16.2
7	Triple Superfosfato	80	0.18 a	18.8
8	Triple Superfosfato	40	0.13 bc	16.6
Significancia			*	Ns.
Valor de F			10.39	2.2768
Pr>F			0.001	0.1080
Coeficiente de Variación			10.21	10.10

Fuente: Autor

Referencias cuadro 12

* : significativo al 5%

ns: no significativo al 5%

CV: Coeficiente de variación (%).

Pr>F: Probabilidad de obtener un valor de F igual o mayor al observado.

7.5.- Discusión de la variable: extracción total de P por el cultivo y P en la hoja

Los valores de P total extraídos variaron de 14.6 kg/ha para el testigo sin P (tratamiento 1) a 18.8 para el tratamiento con 80 kg de P_2O_5 /ha, aplicado a los 70 días (tratamiento 7). Aunque al parecer las diferencias en extracción variaron poco a nivel de tratamientos, éstas diferencias influyeron significativamente en los rendimientos finales hasta en 27.5 toneladas de caña más por hectárea.

Las pequeñas diferencias en las extracciones de P entre los tratamientos fertilizados con P y el testigo sin fertilizante indican bajas eficiencias de recuperación de P, por el cultivo. Esto es congruente con la naturaleza de este nutriente y especialmente debido a la alta fijación de fosfatos característicos de los suelos Andisoles. En lo que fue el P en la hoja si se observaron diferencias significativas, siendo el tratamiento 7 el que reporto la mayor extracción de P por la hoja siendo la misma de 0.18 %. El nivel del fósforo en la última hoja con cuello o lígula visible (6 meses) fue adecuado únicamente en el tratamiento fertilizado hasta los 70 días y que coincide con el tratamiento de máximo rendimiento de caña. Valores muy bajos de P fueron observados en el testigo.

En el cuadro 11 (ver anexo) se presenta el resumen del análisis de varianza de las variables población, altura y diámetro de tallos; y en el cuadro 12 (ver anexo) las respectivas medias observadas de estas tres variables con su correspondiente comparación de medias (Tukey 0.05)

En el cuadro 10 se observa que de las tres variables secundarias, sólo la altura de tallos fue estadísticamente afectada por los tratamientos. Los coeficientes de variación en todos los casos fueron adecuados (<10%)

7.6.- Altura de plantas (cms)

Para la variable altura de tallos se obtuvieron diferencias significativas, por lo que se le realizó la prueba de comparación de medias Tukey (cuyo resumen se observa en el cuadro 12 ver anexo). La comparación de medias dio como resultado que el tratamiento siete (Triple superfosfato, aplicado en banda 70 días después del corte) produjo el mayor crecimiento en altura, dando como resultado

una altura promedio de 249 cms. El tratamiento que reportó el segundo valor promedio de alturas fue el tratamiento dos, con 245 cms, este tratamiento llevó también 80 Kg. de P_2O_5 como triple superfosfato igual que el tratamiento siete, con la diferencia que fue aplicado a los 20 días después del corte. Medias significativamente más bajas fueron obtenidas con el testigo (tratamiento 1) y con la aplicación de 40 Kg. de P_2O_5/ha (Tratamiento 8). Estos resultados indican un efecto positivo de fósforo en primera soca, este efecto pudo ser inducido por la colocación del fertilizante debido, a que el tratamiento que mayor altura reportó fue el tratamiento siete, el cual el fertilizante fue aplicado en banda e incorporado.

7.7.- Densidad de Población (miles de plantas/ha)

No se observaron diferencias significativas en la población de tallos en ninguno de los tratamientos evaluados. Al parecer la fertilización fosforada tiene poco efecto sobre la población de tallos del cultivo de caña de azúcar la cual tiene una alta capacidad de rebrote natural, lo cual promueve la homogeneidad en la población de tallos.

7.8.- Diámetro de Tallos

Luego de realizar el análisis de varianza se observó que no hubo diferencias estadísticas por efecto de las aplicación de los tratamientos. Sin embargo se observa que el tratamiento siete (TSP, en banda 70 días después del corte), reportó la mayor media (2.93 cms), aunque similar al tratamiento dos aplicado con TSP, a los 20 días después del corte (2.53 cms), y al tratamiento cuatro aplicado con MAP (2.50 cms) (Cuadro 12 ver anexo). Por otro lado fue evidente el menor diámetro logrado con el testigo sin fósforo.

Dicha variable es difícil de cuantificar, debido a que las magnitudes en que se mide son muy pequeñas, lo que dificulta el determinar las diferencias entre los tratamientos.

7.9.- Análisis de Costos

El análisis de los costos de los tratamientos, se realizó por medio del presupuesto parcial determinando los costos que varían para cada tratamiento, para luego observar las diferencias entre los mismos.

El presupuesto parcial realizado se muestra en el cuadro 8, detallando las variaciones de costos entre tratamientos y los beneficios netos de los mismos.

Cuadro 9. Resumen del análisis de presupuesto parcial de tratamientos evaluados

Costos/Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Precio del Fertilizante (Q)	0	78.00	2.00	101.74	60.00	78.00	78.00	78.00
Cantidad Usada	0	1.74*	75.00**	1.60*	4.00*	1.74*	1.74*	0.87*
Costo del Fertilizante (Q/ha)	0	135.72	150.00	162.78	240.00	135.72	135.72	67.86
Precio de la Mano de obra (Q)	0	24.83	49.00	24.83	24.83	24.83	24.83	12.42
Mano de Obra Aplic. de Fert.	0	1 día						
Costo de M.O. Aplic. de Fert.	0	24.83	49.00	24.83	24.83	24.83	24.83	12.42
Rendimiento Medio (tm/ha)	94.14	117.87	106.30	117.07	108.89	101.86	121.63	107.29
Rendimiento Ajustado (tm/ha)	84.73	106.68	95.67	105.37	98.01	94.38	109.47	96.57
Benef. Brutos de Campo (Q/ha)	5,931.11	7467.60	6696.90	7375.90	6860.70	6606.60	7662.90	6759.90
Total Costos que Varían (Q/ha)	0	160.55	199.00	187.61	264.83	160.55	160.55	80.28
Beneficios Netos. (Q/ha)	5,931.11	7307.05	6497.90	7188.29	6565.87	6446.05	7502.35	6679.62

Fuente: Autor

* : Sacos de 46 Kg. por ha.

** : Litros de Acido Fosforico al 60%/ ha.

A continuación en el cuadro 9 se presenta los costos variables de los tratamientos ordenados en forma ascendente con sus respectivos beneficios netos con la finalidad de observar claramente que tratamientos son más rentables. Se utilizó el precio de campo de caña (Precio de campo Q 90.00 – CAT Q 20.00 = Q 70.00).

Cuadro 10. Orden ascendente de los tratamientos en función de sus costos variables.

Trat.	C.V. (Q/ha)	B.N. (Q/ha)
1	0.00	5931.10
8	80.28	6679.60*
2	160.55	7265.00*
6	160.55	6446.00
7	160.55	7502.30*
4	187.60	7188.30*
3	199.00	6497.90
5	264.83	6595.80

Fuente: Autor

C.V. Costos Variables, B.N. Beneficio Neto

El tratamiento 7 es el que reporta mayor beneficio neto, siendo el mismo de Q 7,502.30/ha; los tratamientos 2 y 4 son los que le siguen con un beneficio neto de Q 7,265.00/ha y Q 7,188.30/ha respectivamente.

Esto fue debido a que el tratamiento 7 fue el que mayor rendimiento tuvo en cuanto a producción de caña se refiere (121.63 tm/ha). Los tratamientos que con menores beneficios netos fueron el testigo sin P, (Q 5,931.10) y el tratamiento 3 aplicado con Acido Fosfórico (Q 6,497.90/ha).

El Superfosfato simple (20% P₂O₅) reportó rendimientos inferiores (108.89 tm/ha), y su costo se eleva por que para cubrir la dosis de P (80 kg de P₂O₅/ha) requerida hay que aplicar el doble en proporción con los otros fertilizantes (TSP 46% y MAP 50% de P₂O₅)

El análisis indica que los únicos tratamientos de interés son: trat. 8, trat. 2, y trat. 7. Los resultados son congruentes con el análisis estadístico e indican que el tratamiento siete y el tratamiento dos son los que ofrecen los mejores beneficios económicos; el tratamiento ocho tiene menor costo pero la dosis aplicada es la mitad (40 kg de P₂O₅/ha), por lo tanto ofrece menor rendimiento y beneficio neto. Como ya se discutió, esto quiere decir que la aplicación de 80 kg de P₂O₅/ha, es económicamente factible y que el mismo podría aplicarse entre los 20 y 70 días a conveniencia, según oportunidad con otras labores.

8.- CONCLUSIONES

8.1.- Se determinó que el Triple Superfosfato (TSP) y el Fosfato Monoamónico (MAP) tuvieron similares efectos (117.87 y 117.07 tm/ha respectivamente) en el aumento de los rendimientos y ambos fueron superiores al efecto de Superfosfato Simple y Acido Fosfórico en la fertilización del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*), en primera soca variedad PR-872080.

8.2.- Se determinó que la aplicación del fertilizante Triple superfosfato (TSP) a los 20 y 70 días después del corte tienen efectos similares en el aumento de los rendimientos de caña y azúcar. (entre un 10 y 15% con respecto al testigo absoluto que no se le aplicó fósforo)

8.3.- La aplicación de Triple superfosfato (TSP) en banda e incorporado superó en términos de rendimiento de caña en relación a cuando el mismo fue aplicado sobre la cepa sin incorporar.

8.4.- Se determinaron similares extracciones de fósforo por el cultivo con Triple superfosfato TSP (18.2 kg P/ha), con Fosfato monoamónico MAP (18.8 kg P/ha); siendo superiores al Superfosfato simple y al ácido Fosfórico, esto se debe a la localización del fertilizante, en la banda e incorporado, la que mejores efectos obtuvo.

8.5.- La aplicación de Triple superfosfato TSP a los 70 días y la aplicación temprana (20 ddc) fueron los tratamientos con mayores beneficios económicos, similares a los obtenidos con la aplicación de Fosfato monoamónico MAP (20 ddc).

Elaborado por: [Firma]
[Firma]

9.- RECOMENDACIONES

Se recomienda la aplicación de P, en socas, usando como fuente de P, Triple superfosfato (TSP), o Fosfato monoamónico (MAP), en banda e incorporado, en dosis de 80 Kg de P_2O_5 /ha, entre 20 y 70 días después del corte.

La razón de recomendar el TSP y el MAP, es porque fueron las fuentes que mejores resultados presentaron durante el desarrollo del ensayo, y la forma de aplicar en banda e incorporado es la manera más adecuada de colocar el fertilizante fosforado, debido a que se encuentra más cerca de las raíces, favoreciendo la absorción del mismo, dado el problema de la poca movilidad de dicho nutriente y la susceptibilidad a la fijación por la arcilla alófana (amorfa), presentes en los suelos Andisoles de la región.

La época de aplicación del fertilizante puede variar, pero el rango recomendado reportó rendimientos adecuados (de 20 a 70 días después del corte).

10.- BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar De León, J. 1989. El cultivo de la caña de azúcar. Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 212 p.
2. Amaya Esteves, A *et al.* 1995. Fisiología de la caña de azúcar. Cali, Colombia, ed. XYZ. 203 p.
3. Anderson, DL; Bowen, JE. 1994. Nutrición de la caña de azúcar. Quito, EC, Instituto de la Potasa y el Fósforo. 324 p.
4. ATAGUA (Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala, GT). 2000. Guatemala. ATAGUA 1:9-12.
5. AZASGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala, GT). 1997. Informe anual 1,996/1,997. Guatemala. 78 p.
6. Buckman, HO; Brady, NC. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. R. Salord Barceló. España, Montaner y Simmon. 489 p.
7. Buenaventura, CE. 1992. El cultivo de la caña de azúcar. Cali, CO, s.e. 473 p.
8. Cedillo, H. 1995. Evaluación de ocho niveles de fósforo en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en la fase de plantía en la finca Camantulul en el municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 29 p.
9. CENGICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, GT). 1994. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala. 242 p.
10. _____. 1999. Implementación y desarrollo de la investigación en suelos y fertilización en caña de azúcar en la costa sur de Guatemala. Boletín Informativo Cengicaña 1:7-12.
11. _____. 2000a. Presentación de resultados de investigación; zafra 1,999-2,000. Guatemala. 133 p.
12. _____. 2000b. Variedades en expansión y promisorias de caña de azúcar para la agroindustria azucarera de Guatemala. Guatemala. 11 p.
13. Chávez Solera, MA. 1991. La maduración, su control y la cosecha de la caña de azúcar. Colombia, s.e. p. 28-40.

14. Clemens, HF. 1997. La absorción y distribución del fósforo en la planta de caña de azúcar. *Revista Agronomía Tropical* 2(3):42-51.
15. Donahue, RL; Miller, RV; Shickluna, JC. 1995. Introducción al estudio de suelos y al crecimiento de las plantas. México, Trillas. 624 p.
16. Flores, S. 1976. Manual de la caña de azúcar. Guatemala, INTECAP. 75 p.
17. Grupo Disagro, GT. 2000. Hoja técnica; información general sobre productos: triple super fosfato (TSP), fosfato de amonio simple (MAP), fosfato de amonio doble (DAP). Guatemala. 3 p.
18. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1994. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja Santa Lucia Cotzumalguapa, no. 1958-I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
19. _____. 1994. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja Patulul, no. 1959-II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
20. Little, T; Hills, F. 1978. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. México, Trillas. 220 p.
21. Mas López, CE. 1993. Evaluación de los niveles de N, P₂O₅, K₂O y épocas de aplicación sobre el rendimiento de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en la finca Bulbuxyá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 44 p.
22. Morales, J. 1994. Diagnóstico general del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), y sus principales problemas, en la finca Cañaverales del Sur, Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 50 p.
23. Pérez, O. 1994. Fertilización de la caña de azúcar. Guatemala, CENGICANA. 121 p.
24. Pérez, O. 1996. Estudio exploratorio de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos Andisoles de Guatemala. Guatemala, Ingenio Pantaleón. 95 p.
25. Pérez, O. 1996. Importancia de la fertilización fosforada en la caña de azúcar en suelos Andisoles. *Revista Agricultura* 5:26-29.
26. _____. 1997. Avances de investigación en la fertilización de la caña de azúcar en Guatemala. *In* Curso nacional de post-grado (1., 1997, Guatemala). Memorias. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 112 p.

27. Pérez, O *et al.* 1999. Memoria de la presentación de resultados de investigación zafra 1998-1999. Guatemala, CENGICAÑA. p. 129-137
28. Pérez, O; Melgar, M. '1998'. Sugar cane to nitrogen, phosphorus and potassium application in Andisol soils. *Better Crop Internacional* 12(2):20-24.
29. Quintero Duran, R. 1997. Respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) variedad CC 85-92 (plantilla) a las aplicaciones de N y K en tres suelos del valle del río Cauca. *In* Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar (4., 1997, Colombia). Memorias. Cali, CO. 155 p.
30. Quintero, R. 1986. Algunos aspectos relacionados con los suelos y la fertilización de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. Nicaragua, Tecnicaza. 473 p.
31. Saravia Gómez, LF. 1983. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en el cultivo de la caña de azúcar sobre la serie de suelos Guacalate franco en Guatemala; informe preliminar. Guatemala, Asociación de Azucareros de Guatemala, Depto. Técnico. 85 p.
32. Saravia R, ME. 1990. Cultivos tradicionales de exportación. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Programa de Fortalecimiento Académico de las sedes regionales. 244 p.



No. 30.

Juan De La Roca

11.- APENDICE

Cuadro 11 Resultados de los muestreos de las variables: población, altura y diámetro de tallos.

Variable	Valor de F	Pr>F	Significancia	C.V.
Altura	8.16	0.001	*	9.52
Diámetro	1.31	0.297	Ns	7.69
Población	2.15	0.122	Ns	6.45

Fuente: Autor.

Referencias cuadro 6

*: Significativo al 5%

Ns: No significativo al 5%

C.V.: Coeficiente de Variación (%)

Pr>F: Probabilidad de obtener un valor de F igual o mayor al observado

Cuadro 12 Medias de población, altura y diámetro de tallos, correspondiente a los 6 meses y prueba de medias Tukey (0.05)

Trat.	Fuentes de Fósforo	Dosis P (Kg.P ₂ O ₅ /ha)	Forma de Aplicación	Epoca de Aplicación	Población Tallos/ha	Altura Cms	Diámetro cms
1	Testigo	0	-----	-----	79,564	196 b	2.29
2	TSP	80	Incorp. En la banda	20 ddc	75,889	245 ab	2.53
3	A. Fosf.	80	Asperj./cepa	20 ddc	78,325	228 ab	2.36
4	MAP	80	Incorp. En la banda	20 ddc	81,143	242 ab	2.50
5	SSP	80	Incorp. En la banda	20 ddc	77,780	240 ab	2.43
6	TSP	80	Sin Incorp.	20 ddc	79,503	225 ab	2.36
7	TSP	80	Incorp. En la banda	70 ddc	75,486	249 a	2.93
8	TSP	40	Incorp. En la banda	20 ddc	78,551	218 b	2.35

Fuente: Autor

ddc: días después del corte (o cosecha)

Cuadro 13 Análisis de varianza para las variables Brix, Poll y Pureza

Variable	Significancia	Valor de F	Pr>F	C.V.
Brix	Ns	0.2365	0.870	1.90
Pol	Ns	0.8060	0.507	2.23
Pureza	Ns	0.6409	0.600	1.80

Fuente: Autor

Referencias cuadro 8

* : significativo al 5%

ns: no significativo al 5%

CV: Coeficiente de variación (%)

Pr>F: Probabilidad de obtener un valor de F igual o mayor al observado.

Cuadro 14 Resumen de resultados del efecto de los tratamientos sobre las variables Pol, Brix y Pureza.

Trat.	Fuentes de Fósforo	Dosis P Kg. P ₂ O ₅ /ha	Forma de Aplicación	Epoca de Aplicación	Brix	Pol	Pureza
1	Testigo	0	-----	-----	18.56	16.90	89.68
2	TSP	80	Incorp. En la banda	20 ddc	19.06	17.55	92.49
3	A. Fosf.	80	Asperj./cepa	20 ddc	18.58	16.90	90.94
4	MAP	80	Incorp. En la banda	20 ddc	19.01	17.50	92.32
5	SSP	80	Incorp. En la banda	20 ddc	18.97	17.29	91.55
6	TSP	80	Sin Incorp.	20 ddc	18.85	17.13	91.28
7	TSP	80	Incorp. En la banda	70 ddc	19.17	17.58	92.53
8	TSP	40	Incorp. En la banda	20 ddc	18.88	17.24	90.48

Fuente: Autor

ddc: días después del corte (o cosecha)



REF. Sem. 20-2003/02

FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA:

" EFECTO DE LA APLICACIÓN DE
FÓSFORO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE
AZUCAR (*Saccharum spp*) EN PRIMERA
SOCA, VARIEDAD PR-872080, EN SUELOS
ANDISOLES DE LA FINCA CAÑAVERALES
DEL SUR, SANTA LUCIA COTZ.,
ESCUINTLA".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE :

LUCIANO SAN JUAN REYNOZO

CARNE:

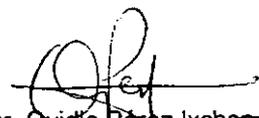
9210277

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES :

Ing. Agr. José Jesús Chonay Pantzay
Ing. Agr. Edgar Amílcar Martínez Tambito
Ing. Agr. Iván Dimitri Santos

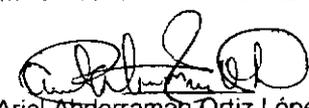
Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.


Ing. Agr. Ovidio Anibal Sacbajá Galindo
A S E S O R


Ing. Agr. Ovidio Pérez Ixchop



I M P R I M A S E


Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
D E C A N O



DMS/nm
c.c. Archivo
IIA

Control Académico

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.
TEL/FAX (502) 470-9794
e-mail: llusac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>