

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

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CACHAZA, NITRÓGENO Y FÓSFORO EN CAÑA DE AZÚCAR
(Saccharum officinarum L.), EN EL CONJUNTO DE SUELOS TONQUÍN (*Lithic
Hapludands*), FINCA PANTALEON, SIQUINALA, ESCUINTLA.

TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
POR
ERWIN ALBERTO MORALES MAYÉN
En el acto de investidura como
INGENIERO AGRÓNOMO
EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, MAYO DE 1,999.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Ing. Agr. EFRAÍN MEDINA GUERRA

RECTOR

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO:	Ing. Agr. JOSÉ ROLANDO LARA ALECIO.
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. JUAN JOSÉ CASTILLO MONT.
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. WILLIAM ROBERTO ESCOBAR LOPEZ.
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. ALEJANDRO ARNOLDO HERNANDEZ FIGUEROA.
VOCAL CUARTO:	Br. OSCAR JAVIER GUEVARA PINEDA.
VOCAL QUINTO:	Br. JOSÉ DOMINGO MENDOZA CIPRIANO.
SECRETARIO:	Ing. Agr. GUILLERMO EDILBERTO MÉNDEZ BETETA.

Guatemala, mayo de 1999.

Honorable Junta Directiva.
Honorable Tribunal Examinador.
Facultad de Agronomía.
Universidad de San Carlos de Guatemala.

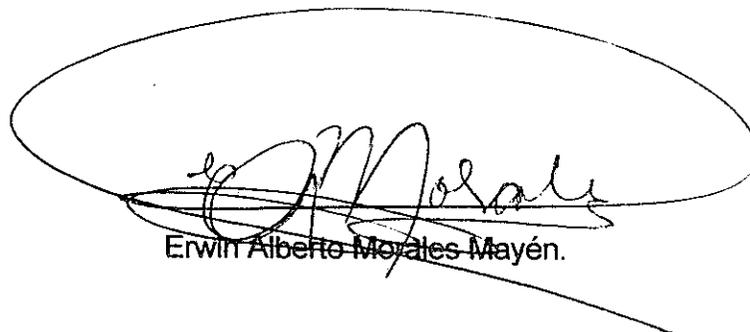
Distinguidos miembros:

De la manera más atenta y de acuerdo con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CACHAZA, NITRÓGENO Y FÓSFORO EN CAÑA DE AZÚCAR
(Saccharum officinarum L.), EN EL CONJUNTO DE SUELOS TONQUÍN (*Lithic Hapludands*),
FINCA PANTALEÓN, SIQUINALA, ESCUINTLA.**

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

En espera de su aprobación, quedo de ustedes deferentemente,



Erwin Alberto Morales Mayén.

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS:

Nuestro buen Padre.

MIS PADRES:

Lionel Alberto Morales Martínez y Dina Zahí Mayén Alonzo de Morales, quienes me han brindado su apoyo en todo momento, este triunfo es recompensa de sus esfuerzos.

**MIS HERMANOS Y
HERMANAS:**

Edwin Lionel, David Alfredo, Omar Alejandro, Boris Wilfredo, Dina Monica y Zahí Dinorah, por su comprensión y apoyo en la culminación de mi tesis.

AGRADECIMIENTOS A:

MIS ASESORES DE TESIS:

Ing Agr. Efraín Medina.
Ing. Agr. Ovidio Pérez.
Ing. Agr. Romeo Montepeque.

Por su valiosa colaboración y asesoría que hizo posible culminar exitosamente la presente investigación.

COLABORADORES:

Ing. Agr. M.C. José de Jesús Chonay por su valioso aporte técnico y conocimientos.
Byron González por su ayuda en el proceso de análisis estadístico y aporte de material audiovisual.

MIS AMIGOS:

José Adolfo Contreras, Lorena Corado por su apoyo y ayuda durante el proceso de la presente investigación.

EMPRESA PANTALEÓN, S.A.:

Por permitirme desarrollar el presente trabajo en la finca Pantaleón. Gracias también al Ing. Agr. Rogelio Gómez, Ing. Agr. Roberto Ventura, José Sánchez y a todas las demás personas que en algún momento estuvieron involucrados en algún proceso de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

	<u>Página</u>
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA	
3.1. MARCO CONCEPTUAL	
3.1.1. OBJETIVOS E IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR	3
3.1.2. ECOLOGÍA DEL CULTIVO	3
3.1.2.1. Extracción de nutrimentos	4
3.1.3. NITRÓGENO	5
3.1.3.1. Fijación del nitrógeno	5
3.1.3.2. Mineralización del nitrógeno	6
3.1.3.2. Requerimientos de nitrógeno	6
3.1.4. FOSFORO DEL SUELO	7
3.1.4.1. Requerimientos de fósforo	8
3.1.5. FERTILIZACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR	
3.1.5.1. MÉTODOS Y ÉPOCAS DE APLICACIÓN DE FERTILIZANTES	
3.1.5.1.1. Para caña plantía	9
3.1.5.1.2. Para caña soca	9
3.1.5.1.3. Uso inadecuado de los abonos	10
3.1.6. FERTILIZANTES ORGÁNICOS	11
3.1.7. CACHAZA	11
3.1.7.1. Composición de la cachaza	12
3.1.7.2. Factores agroindustriales que influyen en la composición de la cachaza	
3.1.7.2.1. Variedad de la caña	14
3.1.7.2.2. Tipo de cosecha	14
3.1.7.2.3. Clima	14
3.1.7.2.4. Temperatura del agua de imbibición en el proceso de molienda	14
3.1.7.2.5. Proceso de clarificación	14
3.1.7.2.6. Bagacillo añadido	14
3.1.7.3. Almacenamiento	14
3.1.7.4. Usos	15
3.1.7.5. Efectos beneficiosos de la cachaza	16
3.2. MARCO REFERENCIAL	
3.2.1. HISTORIA	18
3.2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA VARIEDAD CP-722086	18
3.2.3. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL	19
3.2.4. ECOLOGÍA DEL ÁREA EXPERIMENTAL	19
3.2.5. CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ÁREA EXPERIMENTAL	19
3.2.6. CONDICIONES EDAFICAS DEL ÁREA EXPERIMENTAL	20
3.2.7. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DEL ÁREA EXPERIMENTAL	20
3.2.7.1. Suelos tipo Mangalito	20
4. OBJETIVOS	22

5. HIPÓTESIS	23
6. METODOLOGIA	
6.1. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL SUELO	24
6.2. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL EXPERIMENTAL	25
6.2.1. Cachaza	25
6.3. DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y CACHAZA	25
6.4. DISEÑO EXPERIMENTAL	25
6.5. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	26
6.6. TAMAÑO DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL	26
6.7. VARIABLES A EVALUAR	
6.7.1. Concentración de nutrientes en la hoja	26
6.7.2. Variables de rendimiento	
6.7.2.1. Producción de caña	27
6.7.2.2. Rendimiento de azúcar	27
6.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO	
6.8.1. Preparación del terreno	27
6.8.2. Siembra	27
6.8.3. Fertilización	27
6.8.4. Aplicación de riego	28
6.8.5. Control de malezas	28
6.9. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	
6.9.1. Análisis de varianza	28
6.9.2. Prueba de medias	29
6.9.3. Análisis de contrastes	29
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
7.1. RENDIMIENTO DE CAÑA Y SACAROSA	
7.1.1. Análisis de varianza general (14 tratamientos)	30
7.1.2. Análisis de varianza del factorial (12 tratamientos)	31
7.1.3. Análisis de contrastes	34
7.1.4. Concentración de nitrógeno y fósforo en la hoja	35
8. CONCLUSIONES	37
9. RECOMENDACIONES	38
10. BIBLIOGRAFIA	39
11. ANEXOS	42

INDICE DE CUADROS

<u>Cuadro</u>	<u>Página</u>
1. Composición química de cachaza de distintos países	13
2. Composición media de cachaza fresca procedente de cinco fábricas en Trinidad	13
3. Análisis microbiológico de cachaza almacenada en pilas (unidades formadoras de colonias/gramo)	15
4. La cachaza y las propiedades químicas del suelo tras 30 meses de aplicación	16
5. Análisis físico químico del suelo, previo a la siembra de la caña de azúcar en el campo experimental el Sauce, finca Pantaleón	24
6. Resultados del análisis de laboratorio para la cachaza, en base seca	25
7. Estructura de tratamientos con las respectivas combinaciones de cachaza, nitrógeno y fósforo aplicados por hectárea	26
8. Medias de rendimiento de caña y sacarosa obtenidas en los catorce tratamientos, finca Pantaleón	30
9. Análisis estadístico para las variables producción de caña y porcentaje de sacarosa, en los catorce tratamientos de la investigación realizada en la finca Pantaleón	31
10. Análisis de varianza para las variables rendimiento de caña y porcentaje de sacarosa, en las combinaciones de cachaza, nitrógeno, fósforo	31
11. Comparación de medias de cachaza utilizando el estadístico de Tukey	32
12. Análisis de suelos bajo tres niveles de cachaza, previo a la cosecha en el campo experimental el Sauce, finca Pantaleón	34
13. Análisis de contrastes para el tratamiento cinco (30 t/ha cachaza, 52 kg/ha nitrógeno y 0 kg/ha fósforo) versus el tratamiento catorce (0 t/ha cachaza, 104 kg/ha nitrógeno y 84 kg/ha fósforo)	34
14. Concentración de nitrógeno en la hoja, por efecto de la aplicación de cachaza y N ₂	35
15. Concentración de fósforo en la hoja, por efecto de la aplicación de cachaza y P	36
16A. Distribución de los tratamientos dentro del área experimental	42
17A. Producción media obtenida para los tratamientos con cachaza y nitrógeno	42
18A. Producción media obtenida para los tratamientos con cachaza y fósforo	42
19A. Producciones medias para los tratamientos con nitrógeno y fósforo	43
20A. Producciones medias para los tratamientos con cachaza, nitrógeno y fósforo	43

INDICE DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1. Ubicación del campo experimental el Sauce dentro de la finca Pantaleón	44

RESUMEN.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CACHAZA, NITRÓGENO Y FÓSFORO EN CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum officinarum L.), EN EL CONJUNTO DE SUELOSTONQUÍN (*Lithic Hapludands*), FINCA PANTALEON, SIQUINALA, ESCUINTLA.

EFFECT EVALUATION OF FILTER CAKE, NITROGEN AND PHOSPORUS IN SUGAR CANE (Saccharum officinarum L.), IN THE TONQUÍN SOILS (*Lithic Hapludands*), FARM PANTALEON, SIQUINALA, ESCUINTLA.

El estudio se realizó en el campo experimental el Sauce de la finca Pantaleón, ubicada en el Municipio de Siquinalá, Departamento de Escuintla. El suelo corresponde al conjunto Tonquín clasificado como un suelo Andisol (*Lithic Hapludands*). La humedad relativa promedio anual es de 70%, con una precipitación pluvial promedio de 3, 721 mm, y una temperatura media anual de 26.15°C. El objetivo fue determinar la dosis de cachaza por hectárea y su interacción con nitrógeno y fósforo que muestre los mas altos rendimientos en producción de caña y rendimiento de azúcar.

Los tratamientos evaluados fueron: tres dosis de cachaza (0, 30 60 t/ha), dos de nitrógeno (52, 104 kg/ha) y dos de fósforo (0, 42 kg/ha); organizados en un arreglo factorial 3x2x2. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones. Para el estudio se adicionaron dos tratamientos que consistieron en testigo absoluto: sin fertilizante y otro con la dosis usual de fertilizante que aplica la finca (104-84 kilogramos de nitrógeno y fósforo/hectárea). La variedad utilizada de caña de azúcar fue CP-722086. La unidad experimental consistió en 5 surcos de caña de 10 metros de longitud.

Las principales variables evaluadas fueron la producción de caña expresada en t/ha y el porcentaje de sacarosa.

Los resultados indican que la cachaza aumentó significativamente la producción de caña, no así para el contenido de sacarosa. Se evidenció también la igualdad de efectos de 30 y 60 toneladas de cachaza por hectárea sobre la producción de caña.

La dosis de treinta toneladas de cachaza, cincuenta y dos kilogramos de nitrógeno y cero fósforo se definió como una opción adecuada de combinación para fertilizar la caña de azúcar.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.), es de características extensivas; es decir que para su explotación se siembran áreas extensas del mismo y se utilizan gran cantidad de insumos como fertilizantes químicos, herbicidas, fungicidas, etc. Su objetivo de siembra es para obtener azúcar por medio de la molienda en los ingenios. Durante el proceso de obtención de azúcar, se obtienen grandes cantidades de subproductos como bagazo de caña, energía eléctrica, melaza, cachaza y otros. La cachaza es un filtrado obtenido durante el proceso de clarificación del jugo de la caña en la obtención del azúcar. Esta contiene altas cantidades de materia orgánica y es una fuente importante de nutrientes como nitrógeno, fósforo y calcio.

La empresa Pantaleón en la actualidad produce diariamente más de 600 toneladas de éste subproducto y éste se incorpora al agua de riego (en caudal de 0.122 m³/seg). Su aprovechamiento no es cuantificado ya que no se sabe exactamente la dosis aplicada. La presente investigación duró doce meses, iniciándose en mayo de 1,997 y el objetivo general fue determinar alternativas de fertilización en el cultivo de la caña de azúcar utilizándose para ello la cachaza.

Algunas experiencias de la utilización de la cachaza en Guatemala (11), han determinado que en aplicaciones al voleo e incorporado en las renovaciones de caña de azúcar se necesitan 100 toneladas o más de cachaza fresca para la obtención de buenos rendimientos. De ésta manera la limitante del uso de la cachaza en los campos cañeros, son los grandes volúmenes que se deben manejar; debido a los altos contenidos de humedad de este material.

Con la finalidad de reducir los volúmenes que se necesitan aplicar cuando la cachaza es incorporada o al voleo, se planteo el presente estudio con aplicaciones directas al surco. Así también se combino con diferentes cantidades de nitrógeno y fósforo para poder reducir las fertilizaciones químicas y darle utilización a este subproducto.

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

La molienda promedio del ingenio Pantaleón durante el período 96-97 fue de diecisiete mil toneladas diarias (17,000 t), produciéndose un promedio de 38 kilogramos de cachaza/tonelada de caña. La Empresa Pantaleón en la actualidad utiliza la cachaza al incorporarla al agua de riego, por medio de un canal utilizado exclusivamente para esta actividad. Se riega un área aproximada de 676 hectáreas de caña y áreas con mucha presencia de arena. Por el contenido de nutrientes de este subproducto, se puede utilizar en la fertilización de la caña de azúcar (Sacharum officinarum L.), como se hace en otros países productores de caña; considerando que es un material disponible dentro de la misma empresa.

Aunque la empresa utiliza la cachaza, no se ha cuantificado la dosis que aplican y en Guatemala existe escasa información acerca de la cantidad por hectárea que permita aumentar la producción de caña y rendimiento de sacarosa, así como también de la necesidad de variar las dosis de fertilización química en el cultivo.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1. OBJETIVOS E IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El cultivo de la caña de azúcar, a partir de 1985, se ha incrementado considerablemente en todo el país. Existiendo para el año 1997 un área de 168,000 hectáreas de este cultivo. Los ingenios azucareros han crecido considerablemente durante los últimos años, así también sus producciones de azúcar. Para el periodo 96-97 se obtuvo una producción nacional de 1,499,100 t de azúcar(32,980,201.75 qq), unos rendimientos promedios de 87 t de caña/ha y 10.2% de azúcar (225 lbs de azúcar/t de caña). (6)

Ambos fenómenos constituyen un incremento en los empleos, divisas y subproductos (melaza, cachaza, bagazo, etc.). Durante el año 1996 el ingreso de divisas fue de \$296, 225 millones y para 1997 se incremento a \$318,184 millones. El azúcar represento el 19.4% del valor de la producción agrícola y un 1.90% del PIB (Producto Interno Bruto) en exportaciones totales; aproximadamente 3% del PIB. (6)

La industria azucarera genera alrededor de 45,000 empleos directos, de los cuales dependen 225,000 guatemaltecos y sus ingresos. Del total de empleos directos, 18,000 corresponden a cortadores de caña. (6)

3.1.2. ECOLOGÍA DEL CULTIVO

La caña de azúcar es un cultivo que se adapta a un rango bastante amplio de condiciones climáticas; pero se desarrolla mejor en condiciones tropicales cálidas con amplia radiación solar. La temperatura optima para este cultivo oscila entre los 25 y 28°C. Una alta temperatura, en conjunto con alta humedad del suelo y aire, favorece el desarrollo vegetativo del cultivo. Por el contrario un ambiente seco y caliente promueve la maduración de la planta. (6)

En cuanto a los suelos se refiere, la caña de azúcar crece bien en diferentes tipos de suelos, pero prefiere los suelos franco o franco-arcillosos, bien drenados y profundos. El pH óptimo es 6.5 (ligeramente ácido), aunque tolera suelos ácidos e incluso alcalinos. La existencia de un pH próximo o menor de 4.5, la acidez del suelo limita la producción, principalmente por la presencia del aluminio intercambiable y micronutrientes como hierro y manganeso que pueden ocasionar toxicidad y muerte de la planta. (23)

3.1.2.1. Extracción de nutrimentos

Existen 16 elementos nutritivos esenciales para la caña de azúcar, dentro de estos encontramos al carbono, hidrógeno y oxígeno, los cuales no son minerales y la planta los toma del bióxido de carbono y del agua. Los nutrientes restantes son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Los micronutrientes necesarios para el desarrollo normal de la planta son boro, cinc, cloro, cobre, hierro, manganeso y molibdeno; estos se requieren en cantidades muy pequeñas.(4)

El incremento de la producción de caña por hectárea requiere la conjugación de varios factores que actúan simultáneamente para lograr mayores tonelajes. Para aumentar y conservar los rendimientos del campo cañero es indispensable impulsar la fertilización procurando aplicar dosis adecuadas y efectuar las prácticas de cultivo, principalmente el combate de las malas hierbas en el momento oportuno. (4)

La mayoría de los suelos responden a la fertilización y producen incrementos del 30 % o más en comparación con campos no abonados. Desde luego que dicho comportamiento depende del manejo del fertilizante y aplicación de la dosis adecuada en la época conveniente para el mejor desarrollo de las plantas y una colocación que pueda ser fácilmente absorbido por las raíces. (16)

3.1.3. NITROGENO DEL SUELO

El nitrógeno es un componente esencial de las células vivas y se encuentra principalmente en las partes jóvenes de la planta en estado de crecimiento. Es absorbido por las plantas en forma de NO_3^- y NH_4^+ ; ya dentro de esta, se reduce y pasa a formar carbohidratos que componen algunas proteínas. (25)

Su deficiencia en la planta, se manifiesta por una coloración verde amarilla, en las hojas inferiores. Al existir una deficiencia severa, se secan las puntas de las hojas y este secado avanza hacia la parte media de la hoja por la nervadura central. También es notado un escaso desarrollo de cepas y número de tallos por metro lineal. (23)

3.1.3.1. Fijación del nitrógeno

Fassbender (15), indica que una de las mayores fuentes de nitrógeno del suelo es la **fijación del nitrógeno**, una acción microbial en la cual nitrógeno (N_2) es tomado del aire y fijado al suelo en formas utilizables por las plantas. La fijación de nitrógeno por organismos es de dos tipos simbiótica y asimbiótica. En la **fijación simbiótica**, la bacteria causa la formación de nódulos radiculares (crecimiento anormal de la raíz) en ciertas plantas huéspedes (principalmente leguminosas).

En libre o **fijación asimbiótica**, tipos específicos de microorganismos (ciertas bacterias y microorganismos del alga azul - verde) que viven independientemente en el suelo y en el agua, convierten nitrógeno (N_2) en nitrógeno que forma parte del tejido de su cuerpo, dejándolo para que la planta lo use después que se mueren y descomponen. El nitrógeno fijado por asimbiosis varía de pocas libras por hectárea a más de 112 kg/ha.

A pesar que los nutrientes pueden influenciar la fotosíntesis, la traslocación y almacenamiento de los azúcares, su mayor contribución es asegurar el crecimiento máximo de la caña y obtener el mayor tonelaje de caña por hectárea. Para obtener resultados óptimos, el nitrógeno debe aplicarse en

los tres primeros meses de crecimiento de la caña de un ciclo de 12 meses, desde el brote de las yemas hasta la cosecha. (10)

3.1.3.2. Mineralización del nitrógeno

La mayor fuente de nitrógeno en el suelo es la materia orgánica . Cuando la materia orgánica del suelo se mineraliza, el nitrógeno es liberado con un ion utilizable, amonio. Originalmente el amonio se conoció incorrectamente como la única forma mineral de nitrógeno, porque la conversión de nitrógeno orgánico en forma de amonio se denominó **amonificación**. Esta liberación de nitrógeno de la descomposición de la materia orgánica es la fuente más importante de nitrógeno utilizable en campos no fertilizados. (14)

Aunque la materia orgánica del suelo contiene aproximadamente 5 % peso de nitrógeno . Sólo cerca de 2 a 5 % del total es liberado anualmente por descomposición. La descomposición es más rápida en suelos cálidos, bien aireados y húmedos, como las arenas en el verano y es lenta en las arcillas en la primavera fría. Mineralizando el 3 % de la materia orgánica de un suelo que contiene sólo un 4 % , el suelo obtendría 134 kg/ha de nitrógeno como amonio. (15)

3.1.3.3. Requerimientos de nitrógeno

Experimentos realizados en Colombia (23), sobre fertilización de la caña de azúcar, se pudo establecer que el nitrógeno es el mayor limitante en la producción de este cultivo y que sus requerimientos varían según el tipo de suelo, número de corte y variedad utilizada.

Las características de un suelo que influyen en la aplicación de este elemento son la materia orgánica, drenaje y profundidad del nivel freático. Esto quiere decir, que para suelos con bajo contenido de materia orgánica, pobremente drenados y niveles freáticos muy superficiales, tendrán mayores requerimientos de este nutrimento. Un suelo bajo en contenido de materia orgánica,

presentaría menos de 2%; entre 2 y 4% sería un suelo en contenido medio y mayor de 4% sería un contenido alto. (23)

3.1.4. FÓSFORO DEL SUELO

El fósforo, al igual que el nitrógeno, es considerado un nutrimento primario. Es absorbido por las plantas en forma de H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} siendo en menor proporción el segundo. (23)

Constituyente importante de ácidos nucleicos, fosfolípidos y del adenosin trifosfato (ATP). El ATP es importante en los procesos metabólicos que requieren energía. Además es esencial para la síntesis de clorofila y está íntimamente relacionado con la formación de la sacarosa. (23)

El fósforo como nutriente es doblemente crítico porque el total suministro de fósforo en la mayoría de los suelos es bajo y no está realmente disponible para las plantas. El fósforo total en un suelo arable promedio es aproximadamente 0.1 % por peso, del cual sólo una infinitésima parte está disponible a las plantas. La fuente original de fósforo en el suelo es la aptita ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{Fl}$), un fosfato cálcico de baja solubilidad. Los iones solubilizados, H_2PO_4^- , reaccionan rápidamente en suelo para formar fosfatos insolubles, llamados **fijación de fosfatos**, con iones de calcio o con hidróxidos de hierro y aluminio. En suelos ácidos, los fosfatos reaccionan con hierro y aluminio solubles o con sus formas sólidas para formar nuevos fosfatos aún menos solubles. En suelos alcalinos, fosfato tricálcico es formado, que también es poco soluble. Como se puede ver, el fósforo no es muy móvil en las soluciones del suelo y debe ser aplicado donde se necesita. Pérdidas por lavado son bajas. (14)

No sólo las formas minerales de fósforo tienen baja solubilidad, sino que no hay un mecanismo eficiente para absorción de iones de H_2PO_4^- , como iones intercambiables en los cristales de arcilla o partículas de humus por cationes como resultado, el fósforo usado por las plantas, más que el aplicado como fertilizante, es derivado principalmente de los fosfatos liberados durante la descomposición de la materia orgánica en el suelo. (19)

Tisdale (25), indica que el fósforo en el suelo puede clasificarse en general como orgánico o inorgánico, dependiendo de la naturaleza de los compuestos en que se halla. La fracción orgánica se halla en el humus y otros materiales orgánicos, que pueden o no estar asociados con él. La fracción inorgánica se halla en numerosas combinaciones con hierro, aluminio, calcio, flúor y otros elementos. Estos compuestos usualmente son tan sólo muy ligeramente solubles en agua. Los fosfatos reaccionan también con los barros para formar complejos barro-fosfatados, insolubles por lo general.

Las naturaleza y las reacciones del fósforo orgánico del suelo no son tan bien conocidas como aquéllas del fósforo inorgánico del suelo. (15)

Generalmente el fósforo orgánico que ha sido identificado específicamente en los suelos se halla en tres formas principales: fosfolípidos, ácidos nucleicos, y fosfatos de inositol. (19)

La deficiencia de fósforo reduce el macollamiento y desarrollo de la planta, originando raíces anormales de color marrón. Un exceso de este nutriente puede perjudicar el crecimiento de las plantas, induciendo a deficiencias de micronutrientes como cinc y hierro. Además, interfiere con la normal apertura de los estomas de ciertas plantas, creando temperaturas 10 % más altas en las hojas, durante períodos de sol que en las hojas de plantas con adecuado fósforo. (10)

Las altas temperaturas en las hojas pueden afectar críticamente el crecimiento de la planta en áreas donde la temperatura aumenta. Lo contrario es también cierto; en suelos bajos en fósforo, aplicaciones de zinc pueden tender a acentuar la carencia de fósforo ya que éste será "atrapado" en los fosfatos insolubles de zinc. (23)

3.1.4.1. Requerimientos de fósforo

La respuesta de la caña a la aplicación de fósforo ha sido escasa, contrario a lo que se ha encontrado con la aplicación de nitrógeno. Los resultados de las investigaciones solo mostraron una ligera tendencia a incrementar la producción de caña y azúcar, cuando el elemento se aplico en un suelo *Vertic Tropaquept* con 0.9 ppm de fósforo disponible. En algunos suelos se han notado

incrementos en el contenido de fósforo en las hojas de caña, como resultado de la aplicación de este nutriente, pero no se encontró relación entre estos contenidos foliares y la producción de caña/hectárea. (23)

3.1.5. FERTILIZACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR

3.1.5.1. MÉTODOS Y ÉPOCAS DE APLICACIÓN DE FERTILIZANTES

3.1.5.1.1. Para caña plantilla:

En plantilla o primer corte generalmente se recomienda entre 40 y 140 kg/ha de nitrógeno. La aplicación puede ser al fondo del surco o en bandas para luego incorporarlo al suelo. (23)

Un aspecto importante en el manejo de la fertilización nitrogenada es la época de aplicación. Resultados experimentales han demostrado que se puede aplicar en una sola dosis a los 30 días después de la siembra o el corte, o bien en partes iguales a los 60 y 120 días. (23)

Las fuentes de nitrógeno utilizadas son la urea (46%N), el sulfato de amonio (21% N), el amoníaco anhidro (82%N), el fosfato diamónico o DAP (18% N y 20% P) y triple 15 (15 N -15P y 15K).

La dosis de fósforo que se recomienda aplicar varía entre 0 y 22 kg/ha (1 kg de P = 2.29 kg de P_2O_5). Debido a la poca movilidad del fósforo en el suelo, su aplicación se realiza al fondo del surco en caña plantilla, próxima al sistema radical de la planta (4). Según Quintero (23), para suelos con altos contenidos de fósforo disponible (mayor de 10 mg/kg), en términos generales no se justifica la aplicación de este nutrimento. Las fuentes comerciales de fósforo más utilizadas son triple superfosfato (20% P y 14% Ca), fosfato diamónico o DAP (20% P y 18% N) y la roca fosfórica (9.6% P y 28% Ca).

3.1.5.1.2. Para caña soca:

En los cortes posteriores (socas) es necesaria una mayor cantidad de nitrógeno, variando entre 75 y 200 kg/ha. La época de aplicación del nitrógeno funciona mejor dentro del mismo rango de tiempo que para caña plantilla. (23)

Aplicar a un lado del surco, junto al tronco de las cepas y tapar con tierra. En caso de una sequía extrema es preferible hacer una sola aplicación con toda la dosis, pero hasta el inicio de la temporada de lluvia. **(16)**

El fósforo para caña soca, cuando es necesario, se aplica en banda e incorporado al suelo junto con el nitrógeno, 30 días después del corte. **(23)**

En la actualidad se recomienda mezclar el abono con los insecticidas que se necesiten para prevenir el ataque de insectos que viven en el suelo como la gallina ciega, gusano de alambre, picudos, etc. Los fertilizantes sólidos se aplican a mano o con máquinas especiales accionadas con tractor. No se debe tirar el abono sobre las hojas de las plantas, ni dejarlo a la intemperie, sino que siempre habrá que taparlo con tierra. **(23)**

3.1.5.1.3. Uso inadecuado de los abonos:

La tendencia de los productores es el uso de un solo nutrimento, regularmente nitrógeno (urea o sulfato de amonio). Muchas veces las necesidades del terreno indican que también se requiere fósforo y potasio, pero los productores de caña no siempre creen que sus tierras necesiten los 2 ó los 3 elementos en conjunto; por lo tanto, de aquí la importancia que representa el muestreo y análisis de sus suelos cada 5 años para saber el grado de fertilidad después de una cosecha de plantilla y cuatro socas. **(16)**

El nitrógeno es el nutrimento más necesario para la caña porque lo consume en grandes cantidades, por lo tanto habrá que restituirlo después de cada cosecha. Las aplicaciones tempranas de nitrógeno son las mejores, entonces las plantillas cosechadas de enero en adelante se deben fertilizar enseguida del corte, sobre todo cuando se dispone de buena humedad en el suelo o hay agua para riego. Otra norma importante es no fertilizar 6 meses antes de la fecha de corte del campo, a fin de dar tiempo para que la caña aproveche los nutrimentos; los resultados más efectivos se logran cuando se aplican los fertilizantes dentro de los 3 primeros meses de edad de las plantas. La madurez se retrasa

con aplicaciones tardías de nitrógeno, entonces no debe fertilizarse la caña dentro de los 90 días anteriores a la cosecha. (10)

3.1.6. FERTILIZANTES ORGÁNICOS

Material orgánico procedente de desechos animales, restos de cosechas, residuos alimenticios, y otros, han sido utilizados como fuente de nutrientes para el suelo. Dentro de estos residuos orgánicos se encuentran la gallinaza, estiércol (bovino, caprino, equino, porcino, otros) pulpa de café, cascara de huevo, restos de comida, etc. (9)

Carrillo (9) menciona que el estiércol es el abono doméstico de mayor importancia. Se compone de excreciones sólidas y líquidas que contienen compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio; la orina es más pobre en ácido fosfórico y contiene solamente nitrógeno y potasio. El estiércol más importante es el bovino por el contenido de agua que posee y a medida que la temperatura va siendo mayor en el suelo se va logrando una descomposición más rápida. El estiércol en todas sus formas, es el tipo de fertilizante más antiguo que se conoce.

Otro residuo orgánico utilizado es también la pulpa de café, compuesta de sustancias complejas de tipo lignocelulósico, minerales y compuestos nitrogenados. Se incorpora fácilmente al suelo, no solo adiciona nutrientes, sino que mejora características físicas, tales como: capacidad de retención de agua, nutrientes, capacidad de intercambio de iones, porosidad y estructura, mejora la utilización de fertilizantes inorgánicos cuando éstos se adicionan.

3.1.7. CACHAZA

Se puede definir como el residuo en forma de torta que se obtiene del filtrado, durante el proceso de clarificación del jugo de caña en los ingenios azucareros. (3)

La cachaza es un material café oscuro a negro. Consiste principalmente en una mezcla de fibra de caña, sacarosa, cera, fosfatos de calcio, azufre, arena y suelo. La mayor parte de estos

componentes procede de la molienda de la caña. Los fosfatos de calcio y el azufre se agregan durante el proceso de neutralización y clarificación del jugo de caña. (5)

El residuo que se obtiene por sedimentación del jugo suspendido, y con posterioridad se somete a filtración se le denomina **cachaza primaria**, y **cachaza final** al residuo que se descarga de los filtros para ser desechado. Su constitución depende de varios factores: tipo de suelo, variedad de caña, tipo de cosecha (mecanizada o manual), grado de extracción del jugo, cantidad de cal y otros productos usados en la clarificación, métodos de filtración empleados, y tamaño de los orificios de los coladores del jugo entre otros. (1)

3.1.7.1. COMPOSICIÓN DE LA CACHAZA

Este subproducto de la producción azucarera contiene gran parte de materia orgánica coloidal dispersa en el jugo, la cual al alcalinizarse precipita con los aniones orgánicos en forma de sales de calcio, junto con otros materiales que son arrastrados en estos precipitados. Dentro de los componentes de la cachaza se aprecia un alto contenido de agua (75%), de 2-3% de cera cruda, 7% de arcilla y cenizas (Sales de N_2 , carbonatos), 15% de bagacillo y azúcares. (1)

El contenido de nutrientes de la cachaza, para distintos países, y que pueden ser asimilados por las plantas en su uso como fertilizantes, así como para la alimentación animal, se puede apreciar en el cuadro 1. Los componentes químicos de la cachaza muestran variaciones de acuerdo con el lugar y las condiciones de obtención, aunque en general se observa que contiene gran cantidad de nitrógeno y fósforo, entre otros elementos.(2)

El nitrógeno se presenta como proteínas y otras formas amoniacales más simples o en forma nítrica. El fósforo aparece en combinaciones orgánicas complejas como fosfolípidos y nucleoproteínas, y algunas veces en forma de fosfato de calcio proveniente del proceso de clarificación; sin embargo el contenido de potasio (0.4%) es muy bajo. La cachaza al degradarse microbiológicamente, varía en la concentración de nitrógeno, mientras que en el calcio y el fósforo estos cambios no son apreciables.(8)

La Composición de la cachaza varía hasta cierto punto de una fábrica a otra, como se mencionó anteriormente, depende de factores agroindustriales que se mencionaran más adelante. La producción de cachaza en cinco fábricas de azúcar en Trinidad, reportó la composición que se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 1. Composición química de cachaza procedente de distintos países.

PAISES	CENIZAS	MATERIA ORGÁNICA (%)	Porcentaje					
			Lípidos	Proteínas	CaO	MgO	P ₂ O ₅	N
Argentina	29.10	73.30	6.6-13.7	8.4-14.6	6.2-7.7	-----	5.3-6.3	1.3-2.3
Brasil	14.9-22.3	77-85.1	-----	6.9-8.8	4.8-5.5	0.2-0.6	0.7-1.0	1.1-1.4
Sudáfrica	-----	-----	-----	9.5-12.0	2.1-3.1	0.6-0.8	1.7-1.3	1.5-1.9
Urucio	12.00	97.30	9.4-16.5	11.4-12.0	2.8-3.6	0.60	1.8-2.0	1.8-1.1
Jamaica	-----	-----	-----	8.80	3.80	1.10	2.80	3.40
Trinidad	-----	-----	-----	7.10	3.20	0.50	2.90	1.10
Puerto Rico	-----	-----	-----	13.70	3.00	0.50	2.80	2.20
Filipinas	16.20	83.70	11.20	7.00	4.60	-----	3.60	3.10
Santo Domingo	14.9-31.0	-----	10.7-16.9	-----	1.4-2.5	0.3-0.6	-----	1.8-2.2
Taiwan	-----	27.4-74.0	-----	-----	1.2-3.9	0.6-1.2	0.70-2.52	0.8-2.8

Fuente: ACILA ARIAS, J. Primer congreso de la sociedad colombiana de técnicos del azúcar.(1)

Cuadro 2. Composición media de cachaza fresca procedente de cinco fábricas en Trinidad.

Macronutrientes							
porcentaje peso seco							
N		P		K		Ca	Mg
1.33		1.01		0.47		2.09	0.26
Micronutrientes							
ppm peso seco							
Fe		Mn		B		Cu	Zn
3500		1800		6		50	350

Fuente: Donelan, A. F. (13)

3.1.7.2. FACTORES AGROINDUSTRIALES QUE INFLUYEN EN LA COMPOSICIÓN DE LA CACHAZA

La cachaza es el conjunto de los no azúcares extraídos en forma de desechos en el proceso de fabricación de azúcar. Su composición está influida por los factores agroindustriales siguientes: (1)

3.1.7.2.1. Variedad de la caña: El contenido de nitrógeno, fósforo, y otros elementos depende de la variedad de caña, así como de la cantidad de materia cerosa, la cual varía de una especie a otra.

3.1.7.2.2. Tipo de cosecha: El incremento en la mecanización aumenta la materia extraña que entra en la fábrica, y por lo tanto, aumenta el contenido de cenizas, materia orgánica y otros sedimentos que hacen variar la composición de la cachaza.

3.1.7.2.3. Clima: La cera contenida en la caña aumenta en épocas de sequía, por ser su función la de proteger la evaporación de agua en la planta. En períodos de lluvia es arrastrada una mayor cantidad de tierra, lo que aumenta la materia orgánica.

3.1.7.2.4. Temperatura del agua de imbibición en el proceso de molienda: El agua utilizada en el proceso de extracción de azúcares del bagazo generalmente se calienta, esto implica que el arrastre de materiales solubles se efectúe con mayor facilidad.

3.1.7.2.5. Proceso de clarificación: En dependencia de las sustancias químicas utilizadas en la clarificación de los jugos, así será la composición de los precipitados formados. Al utilizar cal, hay un mayor arrastre con los precipitados y se forman diferentes compuestos.

3.1.7.2.6. Bagacillo añadido: Como la cantidad de bagacillo, añadido para ayudar a la filtración de la cachaza, no es fija, trae como consecuencia que el contenido de materia orgánica varíe.

3.1.7.3. ALMACENAMIENTO

No se han reportado estudios en cuanto al almacenamiento de cachaza, aunque es conocido que cuando se almacena en grandes pilas puede sufrir paulatinamente el proceso de autocombustión, sin embargo, esparcida a 3 ó 4 centímetros de espesor esto no ocurre, pues la cachaza por su carácter esponjoso presenta gran capacidad de aireación. En los estudios preliminares realizados en el

Instituto Cubano de los derivados de la caña de azúcar (ICIDCA) se reporta el análisis microbiológico que se presenta en el cuadro 3. (1)

Cuadro 3. Análisis microbiológico de cachaza almacenada en pilas (Unidades formadoras de colonias/g).

MUESTRA	BACTERIAS			
	Mesófilas	Termófilas	Levaduras	Mostos
1	3×10^{10}	3×10^7	----	3×10^5
2	3×10^{10}	3×10^{10}	----	----

Fuente: Bibliografía 1.

3.1.7.4. USOS

La utilización más difundida es como fertilizante, a causa de la gran cantidad de nitrógeno, fósforo, calcio y materia orgánica en general, que aporta al suelo. Se utiliza para alimentación de ganado vacuno, previo secado al sol, con buenos resultados, aún cuando tiene un bajo valor nutritivo para la alimentación animal. (8)

En lo que se refiere a la utilización de la cachaza como abono orgánico, muestra resultados favorables en rendimientos para el cultivo de la caña de azúcar. Puede aplicarse diseminándola (de 80-100 ton/ha) y en los surcos (20 ton/ha) en la caña plantilla. Las socas pueden recibir cachaza (de 30-50 ton/ha) en los espacios inter surco, antes de las operaciones de cultivo. (21)

En el cuadro 4 se muestra el efecto residual de la cachaza en las propiedades químicas del suelo, tras 30 meses de su aplicación. Aún 30 meses posterior a la aplicación de la cachaza es posible observar efectos residuales positivos en el suelo. (13)

Otra de las aplicaciones de la cachaza es la extracción de cera, tanto por el proceso de aislamiento y purificación como por medio de solventes orgánicos, con el objetivo de sustituir diferentes tipos de ceras naturales y derivadas del petróleo. (21)

Para estos fines se han instalado plantas piloto en Filipinas, Taiwan, Cuba e India, entre otros países. También se han realizado estudios para determinar las posibilidades de obtener de la cachaza aceite, resinas y productos esteroidales. (1)

Cuadro 4. La cachaza y las propiedades químicas del suelo tras 30 meses de su aplicación.

S u e l o	t / ha	
	0	100
D e t e r m i n a c i o n e s		
p H	5	5
P (ppm)	32	109
K (ppm)	47	39
Ca (ppm)	215	631
Mg (ppm)	65	69
Al (ppm)	100	41
CEC (meq/100g)	8.4	9.5
Materia Orgánica %	1.07	1.21

Fuente: ORLANDO FILHO, José Orlando. GEPLACEA. (21)

3.1.7.5. EFECTOS BENEFICIOSOS DE LA CACHAZA

En ensayos realizados por el Centro de Investigación de la caña de azúcar de Colombia (CENICAÑA), se encontró que la cachaza afectó algunas propiedades químicas de los suelos. Así, aumentaron ligeramente el pH, los contenidos de materia orgánica y de potasio intercambiable, pero el efecto más importante ocurrió con el fósforo disponible, ya que un mes después de la aplicación los contenidos de este nutrimento en algunos suelos, que inicialmente eran bajos, alcanzaron valores muy altos, los cuales fue posible mantener después de tres cortes consecutivos con aplicaciones de 200 ton/ha de cachaza.

Copersucar (20) ha calculado que un 60% del total del fósforo en la cachaza puede ser liberado durante el primer año. El fósforo se encuentra en la cachaza en forma de fosfolípidos, nucleoproteínas y fosfatos de calcio

Debido a lo anterior, este subproducto se considera como un buen sustituto de fertilizantes fosforados para algunos suelos del valle geográfico del río Cauca. (10)

Donelan (13) reporta mejoramientos físicos del suelo, tales como:

1. Al mezclar cachaza con suelos de textura franco arenosa, se mejora la capacidad de retención de agua.
2. Se reduce la compactación debido a las propiedades físicas de la cachaza.
3. La cachaza proporciona una mayor resistencia a la formación de una capa o costra sobre la superficie del suelo, la cual es a menudo causada por el impacto de las gotas de lluvias o de los aspersores del sistema de riego. Dicha costra reduce la entrada de aire y agua por la superficie del suelo.
4. Promueve un mejor crecimiento y desarrollo de raíces en sitios donde se añade a suelos arenosos.

3.2. MARCO REFERENCIAL

3.2.1. HISTORIA

La industria azucarera guatemalteca produjo 1,499,100 toneladas de azúcar(32,980,201.75 qq) para el período 1996-97. El área total cosechada fue de 168,000 hectáreas, con un rendimiento de 87.2 toneladas de caña/hectárea. Guatemala ocupa el tercer lugar (1,080 en 1,000 Tonelada Métrica Valor Crudo) dentro de los países exportadores de América Latina. El primer lugar corresponde para Brasil (5,995 en 1,000 TMVC¹) y el segundo para Cuba(3,597 en 1,000 TMVC). (6)

Guatemala tiene una exportación neta de 4.18%(1,240 TMVC) sobre la exportación mundial (29,683 TMVC). Cuenta con 17 ingenios, situados en el litoral del Pacífico. (6)

El área dedicada al cultivo de la caña de azúcar en la empresa Pantaleón S.A., corresponde a 17,438.02 hectáreas propias. La producción de azúcar para el período 96-97 fue de 247,912.63t (32,980,201.75 qq). Las variedades utilizadas dentro de la empresa son CP-722086, MEX-68-P23, CP-721312, Q-96, CP-721210, MEX-69290 y algunas otras.

3.2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA VARIEDAD CP-722086

Tiene color amarillo verdoso y posee buen vigor. Es una variedad muy floreadora (90%), lo cual implica ser una variedad temprana. Es suave para el corte, de crecimiento erecto sin afate y desbajera bien. Tiene buen retoño, es resistente al carbón pero susceptible al mosaico, aunque en porcentajes bajos. A nivel comercial se ha destacado por sus altos tonelajes en el campo y elevadas producciones de azúcar en fábrica. A nivel comercial se han obtenido resultados promedio de 116.36 toneladas de caña por hectárea y 94.34 kilogramos de azúcar por tonelada. A nivel experimental se tiene un promedio de 118.18 kilogramos de azúcar por tonelada de caña y 130 ton. de caña/ha. (4)

¹ 1 TMVC= 22.046 qq (1 tonelada métrica)

3.2.3. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

En la figura 1 se puede observar la ubicación del campo experimental el Sauce de la finca Pantaleón. La finca se encuentra en el km. 86 de la carretera al Pacífico, municipio de Siquinalá del departamento de Escuintla, Guatemala.

3.2.4. ECOLOGÍA DEL ÁREA EXPERIMENTAL

De acuerdo a la zonificación ecológica de Holdridge (18), se encuentra dentro de dos zonas bien definidas: a. Zona Tropical Húmeda y b. Zona Tropical super húmeda.

La primera caracterizada por una precipitación que va de los 2,000 a los 4,000 mm. anuales, con una temperatura mayor de los 24°C, y la segunda la caracteriza una precipitación arriba de los 4,000 mm. anuales y una temperatura menor de 24°C. La precipitación en la finca Pantaleón se distribuye de mayo a octubre, siendo de junio a septiembre los de mayor precipitación.

De la Cruz (12), en su libro de clasificación de zonas de vida para Guatemala a nivel de reconocimiento, indica que la finca Pantaleón queda ubicada en el Bosque Subtropical Cálido, e indica que esta zona posee un alto régimen de lluvias que influyen en la composición florística y en la vegetación de la misma. El patrón de lluvias puede variar entre 2,136 mm. y 4,327 mm. anuales; distribuidos en 172 días con una biotemperatura que va desde 21 a 25°C.

3.2.5. CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ÁREA EXPERIMENTAL

El registro de los últimos años de la estación meteorológica tipo "B" (Mangalito) ubicada en la finca Pantaleón, reporta que las condiciones climáticas promedio son:

Humedad relativa promedio anual de 70%, precipitación pluvial media anual de 3,721 milímetros, días de lluvia promedio anual de 210 días, temperatura mínima promedio anual de 20.77°C, temperatura máxima promedio anual de 31.54°C, Temperatura promedio anual de 26.15°C y una evaporación promedio anual a la intemperie de 1,597.37 milímetros.

3.2.6. CONDICIONES EDAFICAS DEL ÁREA EXPERIMENTAL

De acuerdo con Simmons, Tárano y Pinto (24), está localizada dentro de la **serie de suelos Siquinalá y Guacalate**.

Los suelos de la serie Guacalate se caracterizan por ser poco profundos, con inclinación y drenaje interno moderado, desarrollados sobre toba volcánica firmemente cementada o ceniza de composición pomácea, poseen un sustrato duro impermeable. El suelo superficial, a una profundidad de 35 cm. es franco, café muy oscuro, con un 11% de materia orgánica, es un suelo friable bajo límites de humedad, con estructura granular y un pH de 6.0 a 6.5, el horizonte inferior es franco arcilloso, color café amarillento oscuro y carece de estructura.

Los suelos de la serie Siquinalá están desarrollados sobre material de toba volcánica, con relieve levemente inclinado y drenaje rápido. Color gris oscuro, poseen una textura franca y una profundidad de 25-40 cm. (24)

3.2.7. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DEL ÁREA EXPERIMENTAL

Barahona et al (7), en base a un estudio detallado de suelos elaborado en la empresa Pantaleón S.A., determina que los suelos en donde se encuentra ubicada el área experimental (Cañal el Sauce, Lote 1302, de la finca Pantaleón), son del **tipo Mangalito**.

3.2.7.1. SUELOS TIPO MANGALITO

Es un suelo predominante en la finca Pantaleón, el cual ocupa 919 hectáreas (56% de la finca Pantaleón y 14% a nivel de toda la empresa). Estos suelos son derivados a partir de lodo volcánico conocido técnicamente como **Lahar** (en la zona se conoce como talpetate). Presentan una baja pedregosidad externa y regular internamente (dentro de la masa de talpetate). El talpetate constituye una barrera para la penetración de raíces de la caña de azúcar, son suelos poco profundos, con un

horizonte "A" sentado directamente sobre la capa de talpetate, con una profundidad no mayor de 0.40 m. (40 cm.) correspondiente a la máxima profundidad de raíces con fines de riego. (7)

Los suelos tipo mangalito corresponden al conjunto de suelos **tonquin** (*Lithic Hapludands*), del estudio semidetallado de suelos de la zona cañera de Guatemala. (7)

El horizonte "A" presenta muy buenas características para el laboreo, pudiendo soportar un cultivo sostenido. Estos suelos presentan un drenaje externo e interno muy bueno, con una textura gruesa siendo su horizonte "A" franco arenoso y el horizonte "C" arenoso grueso. Su estructura es tipo granular de grado de desarrollo moderado y tamaño medio para el horizonte "A". El pH de estos suelos está comprendido entre 5 y 5.5 (suelos ácidos). La fertilidad de estos suelos puede considerarse como baja, motivada por el lavado fuerte a que se han visto estos suelos por la alta pluviosidad de la zona donde predominan esta clase de suelos. (7)

4. OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar opciones de fertilización de la caña de azúcar que permitan reducir las dosis de fertilizantes químicos en los suelos del conjunto Tonquín (*Lithic Hapludands*), de la finca Pantaleón, Siquinalá, Escuintla.

ESPECÍFICOS

1. Determinar el efecto y la dosis más adecuada de cachaza aplicada en el fondo del surco de caña, en la producción y rendimiento de azúcar en el conjunto de suelos Tonquín.
2. Determinar el efecto de tres dosis de cachaza, dos de nitrógeno y dos de fósforo sobre la producción de caña y rendimiento de azúcar, en los suelos Tonquín (*Lithic Hapludands*).
3. Comparar la dosis usual de fertilizante químico que la finca utiliza con las combinaciones de cachaza, nitrógeno y fósforo, en base a las producciones de caña y azúcar obtenidas.

5. HIPÓTESIS

1. La aplicación de cachaza fresca al fondo del surco al momento de la siembra, en el cultivo de caña de azúcar, aumenta significativamente la producción de caña y rendimiento de sacarosa.
2. La más alta producción de caña se obtiene cuando se aplica sesenta toneladas de cachaza por hectárea combinadas con cincuenta y dos kilogramos de nitrógeno y cero kilogramos de fósforo.
3. Las aplicaciones de cachaza combinadas con el uso de dosis mínimas de nitrógeno y fósforo, producen los mismos rendimientos de biomasa y azúcar comparados con la fertilización química que utiliza la finca Pantaleón.

6. METODOLOGIA

6.1. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL SUELO

Para el análisis físico químico del suelo se efectuaron dos muestreos uno antes de la siembra y otro realizado al finalizar el ciclo del cultivo. Ambos muestreos se hicieron a una profundidad de cero a treinta centímetros. En el primero se obtuvo una muestra compuesta de quince submuestras del experimento. Para el segundo, se realizó uno para cada unidad experimental. En los análisis se determinaron pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, fósforo disponible, calcio y la textura.

Para determinar la capacidad de intercambio catiónico, se utilizó la metodología de Extracción con cloruro de sodio (**Anexo 11.3**). El fósforo disponible del suelo se determinó por la metodología de extracción con la solución Carolina del Norte. (**Anexo 11.4**)

En el cuadro 5 se presenta el análisis de laboratorio efectuado al área experimental antes de la siembra del cultivo. La cantidad de materia orgánica es alta (6.8%), al igual que la capacidad de intercambio catiónico (31.97 meq/100g), el pH se encuentra moderadamente ácido y el fósforo disponible es muy bajo; presenta una textura franco arenosa.

CUADRO 5. Análisis físico químico del suelo, previo a la siembra de la caña de azúcar en el lote el Sauce, finca Pantaleón.

Parámetro	Valor
pH	5.7
Porcentaje de Materia Orgánica	6.8
CIC (Meq/100g)	32.0
Ca (Meq/100g)	6.66
P (ppm)	1.73
Porcentaje de Arcilla	5.1
Porcentaje de Limo	26.6
Porcentaje de Arena	68.3

Fuente: Laboratorio CENGICAÑA.

6.2. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL EXPERIMENTAL

6.2.1. Cachaza

El análisis químico realizado a la cachaza (**cuadro 6**), indicó que el material al momento de su aplicación tenía 75% de humedad y el porcentaje de nitrógeno y fósforo era de 0.41 y 0.49% respectivamente.

CUADRO 6. Resultados del análisis de laboratorio para la cachaza, en base seca.

Porcentaje	Porcentaje en Base seca					ppm		
Humedad	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn
75	1.64	1.96	2.07	0.29	0.57	13,350.00	615.00	350.00

Fuente: Laboratorio de CENGICANA.

6.3. DEFINICIÓN DE LAS DOSIS DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y CACHAZA

Las dosis de cachaza, nitrógeno y fósforo fueron determinados por medio de revisiones bibliográficas acerca del tema e investigaciones realizadas en otros países.

La mayor parte de trabajos consultados, indican que en la aplicación de sesenta toneladas de cachaza fresca por hectárea, se mostraban buenos resultados. De tal manera que para la investigación se evaluó el 50 y el 100% de la dosis (60 t/ha). También se evidenciaba que no era necesaria la aplicación de fósforo ya que la cachaza suplía las necesidades del cultivo; para el estudio se decidió utilizar 0 y 50% de lo que se aplica comercialmente a la siembra de caña I(84 kg/ha de fósforo).

Para las dosis de nitrógeno se decidió usar como referencia la cantidad usada a nivel comercial por la finca Pantaleón (104 kg/ha), aplicando está y el 50% de la misma (52 kg/ha).

6.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la realización del experimento se utilizó un diseño de Bloques al Azar, con 14 tratamientos y 3 repeticiones (42 unidades experimentales). Doce de los tratamientos con una estructura factorial de

tres por dos por dos (3x2x2), conteniendo tres dosis de cachaza, dos de nitrógeno y dos de fósforo; más dos tratamientos adicionales (testigo sin nutrientes y testigo químico comercial).

6.5. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Los tratamientos evaluados en la investigación se presentan en el cuadro 7.

CUADRO 7. Estructura de tratamientos con las respectivas combinaciones de cachaza, nitrógeno y fósforo aplicados por hectárea.

Tratamiento	Cachaza (t/ha)	N (kg/ha)	Fosforo (kg P ₂ O ₅ /ha)
1	0	52	0
2	0	52	42
3	0	104	0
4	0	104	42
5	30	52	0
6	30	52	42
7	30	104	0
8	30	104	42
9	60	52	0
10	60	52	42
11	60	104	0
12	60	104	42
13	0	0	0
14	0	104	84

6.6. TAMAÑO DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental estuvo conformada por parcelas de 7.5 metros de ancho y 10 metros de largo. El área experimental total fue de 3,780 m², contando con un ancho de 105 m., dentro de los cuales se ubicaron los 14 tratamientos y un largo de 36 m., en donde se encontraban las 3 repeticiones separados por 3 m. entre cada repetición.

6.7. VARIABLES A EVALUAR

6.7.1. Concentración de nutrientes en la hoja:

Se realizó un muestreo de hojas a los cuatro meses de edad del cultivo. Se tomó un total de quince láminas foliares para cada unidad experimental. La hoja que se muestreo fue la numero uno

según Anderson (4). Estas láminas fueron tomadas de los tres surcos centrales y se corto la hoja a partir de la primer ligula visible, únicamente la parte media sin la nervadura central.

6.7.2. Variables de rendimiento:

6.7.2.1. Producción de caña:

Se cosecharon y pesaron los cinco surcos de cada unidad experimental, utilizando el tallo sin el cogollo..

6.7.2.2. Rendimiento de azúcar:

Para determinar el porcentaje de sacarosa, antes de la cosecha, se cortaron diez tallos escogidos al azar a cada unidad experimental y fueron llevados a analizar al laboratorio de CENGICAÑA. En el laboratorio se procedió a hacer la lectura de grados brix, utilizando un refractómetro automático.

6.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO

6.8.1. Preparación del terreno: Esta fase se dio inicio con la requerna del terreno, posteriormente se realizo el volteo con arado de vertedera, pulido con una rastra de cuatro discos y surqueo con arado de cuatro discos.

6.8.2. Siembra: Se utilizaron semillas con diez yemas por metro lineal y fueron colocada al fondo del surco.

6.8.3. Fertilización

La cachaza fue aplicada al fondo del surco, según las diferentes dosis y previo a la colocación de la semilla.

Para la fertilización fosforada, se utilizó como fuente de fósforo al triple super fosfato y se aplico de forma manual al fondo del surco al momento de la siembra.

En la fertilización nitrogenada, la fuente fue Urea y se dividió en dos, la primera a las ocho semanas después de la siembra y la segunda a las dieciséis semanas; ambas fueron fertilizaciones manuales.

6.8.4. Aplicación de riego: El riego se realizó por gravedad y se efectuaron dos riegos durante el ciclo del cultivo. El primero fue inmediatamente después de la siembra, aplicación de cachaza y fertilización fosforada. El segundo fue inmediatamente después de la segunda fertilización nitrogenada.

6.8.5. Control de malezas: Consistió en la aplicación de una mezcla de herbicidas después del primer riego. Los herbicidas utilizados fueron 2,4-D 7-20 ácido (1 litro/ha), Gesapax 80WP (2 lbs/ha) y Prowl (1.5 lts/ha). La aplicación fue en bandas con bombas de presión constante y con boquillas Twin Jeet 8004.

6.9. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.9.1. Analisis de varianza

Se realizó el análisis de varianza para las variables de producción. El modelo estadístico para los catorce tratamientos fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde μ = la media de los tratamientos

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento

β_j = efecto de la j-ésima repetición

ε_{ij} = efecto del error experimental.

El modelo estadístico para el arreglo factorial de cachaza, nitrógeno y fósforo, es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + C_j + F_k + P_l + CF_{jk} + CP_{jl} + FP_{kl} + CFP_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

μ = media de los tratamientos

β_i = efecto de las repeticiones

C_j = efecto de la j-ésima dosis de cachaza

F_k = efecto de la k-ésima dosis de nitrógeno

P_l = efecto de la l-ésima dosis de fósforo

CF_{jk} = efecto de la interacción cachaza, nitrógeno

CP_{jl} = efecto de la interacción cachaza, fósforo

FP_{kl} = efecto de la interacción nitrógeno, fósforo

CFP_{jkl} = efecto de la interacción cachaza, nitrógeno y fósforo

ε_{ijkl} = error experimental.

6.9.2. Prueba de Medias

Para la comparación de medias se utilizó el estadístico Tukey (%0.05), se le realizó al verificar que los efectos de los factores eran independientes.

6.9.3. Análisis de contrastes

Fue realizado para la comparación de medias entre el tratamiento 5 (30 t/ha cachaza, 52 kg/ha nitrógeno y 0 kg/ha fósforo) versus el tratamiento con fertilizante químico usado a nivel comercial por la finca Pantaleón (0 t/ha cachaza, 104 kg/ha nitrógeno y 84 kg/ha fósforo).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Rendimiento de caña y sacarosa

En el cuadro 8 se presentan las medias de rendimiento de caña (t/ha) y sacarosa (%), de los catorce tratamientos evaluados. Se observa una media general del experimento de 138.05 t/ha para la producción de caña, en tanto que para la sacarosa fue de 11.99%. La menor producción fue obtenida el testigo absoluto sin cachaza y sin fertilizante (tratamiento 13).

CUADRO 8. Medias de rendimiento de caña y sacarosa obtenidas en los catorce tratamientos, finca Pantaleón.

TRAT.	CACHAZA t/ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	CAÑA t/ha	SACAROSA (Porcentaje)
1	0	52	0	121.9	11.6
2	0	52	42	129.0	12.0
3	0	104	0	127.2	12.0
4	0	104	42	134.4	12.0
5	30	52	0	137.2	12.0
6	30	52	42	142.3	12.0
7	30	104	0	145.2	12.2
8	30	104	42	146.9	12.6
9	60	52	0	150.0	12.2
10	60	52	42	153.8	12.5
11	60	104	0	142.3	11.6
12	60	104	42	153.5	12.2
13	0	0	0	114.3	11.1
14	0	104	84	134.5	12.1
			X=	138.5	11.9

La máxima producción, en términos de caña, fue alcanzada con la aplicación de 60 toneladas de cachaza, 52 y 42 kg/ha de nitrógeno y fósforo respectivamente.

7.1.1. Análisis de varianza general (14 tratamientos)

El resumen de los resultados del análisis de varianza de rendimiento de caña y sacarosa, se presentan en el cuadro 9.

CUADRO 9. Análisis estadístico para las variables rendimiento de caña y sacarosa, en catorce tratamientos de la finca Pantaleón.

F.V.	Caña (t/ha)			Sacarosa (Porcentaje)	
	G.L.	S. C.	Pr>F	S.C.	Pr>F
TRATAMIENTO	13	5535.36	0.0006	5.65	0.0802
BLOQUE	2	598.46		0.75	
ERROR	26	2501.53		5.96	

CV = 7.105

CV= 3.99

G.L.= grados de libertad

S. C.=suma cuadrados C.V.= coeficiente de variación

El análisis de varianza general muestra que hay efecto estadísticamente significativo de los tratamientos sobre el tonelaje ($\alpha=0.0006$); en tanto que el porcentaje de sacarosa no alcanzó significancia al nivel deseado ($\alpha= 0.05$). Los coeficientes de variación fueron de 7.1 y 3.9 por ciento respectivamente para los rendimientos de caña y sacarosa.

7.1.2. Análisis de varianza del factorial (12 tratamientos)

Para conocer los efectos principales y las interacciones de los factores cachaza, nitrógeno y fósforo sobre las variables analizadas, se realizó el análisis de varianza del factorial 3x2x2 (12 tratamientos). Los resultados se presentan en el cuadro 10.

CUADRO 10. Análisis de varianza para las variables rendimiento de caña y porcentaje de sacarosa, en las combinaciones de cachaza-nitrógeno-fósforo.

Fuente de Variación	Rendimiento de caña (t/ha)			Rendimiento sacarosa (Porcentaje)	
	G.L.	S.C.	Pr>F	S.C.	Pr>F
Cachaza	2	2967.54	0.0001	0.75	0.2608
Nitrógeno	1	59.39	0.4532	0.012	0.8328
Fósforo	1	326.16	0.0873	0.77	0.0996
Cachaza x N	2	193.07	0.4029	1.10	0.1462
Cachaza x P	2	31.30	0.8585	0.12	0.7927
N x P	1	4.28	0.8394	0.03	0.7311
Cachaza x N x P	2	46.45	0.798	0.26	0.612
BLOQUE	2	454.05		0.45	
ERROR	22	2241.06		5.75	

CV= 7.19

CV= 4.15

G.L.=grados de libertad

S.C.= suma de cuadrados

C.V.=coeficiente de variación

Se observa que el efecto principal de cachaza únicamente alcanzó diferencia estadísticamente significativa sobre la variable de rendimiento de caña, pero no hubo evidencia de su efecto sobre el porcentaje de sacarosa. Los efectos principales de nitrógeno, fósforo y todas las interacciones correspondientes no alcanzan diferencia significativa sobre las dos variables estudiadas. Pero es importante resaltar el caso del factor fósforo, que su efecto no alcanzo significancia al nivel de $\alpha= 0.05$, pero si al nivel de $\alpha= 0.10$. Los suelos Andisoles tienen bajos contenidos de fósforo y se han encontrado fuertes respuestas a su aplicación en otros estudios.(22)

Al no haber efecto de las interacciones de los factores estudiados se procedió a comparar las medias (Tukey al 0.05), para el factor significativo (cachaza), considerándolo como un factor independiente con tres dosis (**Cuadro 11**). La prueba indica que las dosis 30 y 60 t/ha de cachaza no difieren estadísticamente en cuanto a su efecto sobre la producción de caña, y cualquiera de estas dosis tienen efecto estadísticamente significativos en relación al testigo sin cachaza.

CUADRO 11. Comparación de medias de cachaza utilizando el estadístico de Tukey.

Cachaza (t/ha)	Media	Grupo Tukey	DMS (t/ha)
60	149.91	a	9.4
30	142.90	a	
0	128.13	b	

DSH= Diferencia mínima significativa

Fuente: Análisis estadístico.

La falta de respuesta a las aplicaciones de nitrógeno entre la dosis de 52 y 104 kg/ha, podría explicarse por el alto contenido de materia orgánica (6.5%) de este tipo de suelo, y que es característico de los Andisoles; y apoya los resultados obtenidos por Pérez (22) que indica que en caña plantilla o siembra nueva, las necesidades de fertilizante químico son menores que lo que se necesita en las socas. El mayor aporte de nitrógeno en el primer año comparado con la soca se

debería en gran parte a las labores de preparación del terreno, que da mejores condiciones de aireación, remoción y picado de raíces, y cepas que bajo buenas condiciones de humedad aumentan la oxidación de la materia orgánica del suelo liberando así mayor nitrógeno disponible al cultivo en ese ciclo.

Utilizando el cuadro 6 donde se muestra el análisis de laboratorio para la cachaza, se puede saber que treinta toneladas de cachaza por hectárea aportan 123, 147 y 155.25 kg/ha de nitrógeno, fósforo y calcio respectivamente. La cantidad de nitrógeno es superior a la que se aplica con el fertilizante químico (104 kg/ha). Si se considera que el 60% del nitrógeno total aplicado es disponible ese año, se comprende el porque de la necesidad de aplicar algo de nitrógeno cuando se aplica cachaza a esas dosis.

Con los resultados de la comparación de medias de cachaza, en la cual indica que la aplicación de 30 t/ha supera estadísticamente al testigo sin cachaza. También se observó que no hubo diferencia en la producción por efecto de aplicar 104 y 52 kg/ha de nitrógeno; de tal manera se deduce que la aplicación de 30 toneladas con 52 kilogramos (ambas por hectárea) es una combinación adecuada.

En relación al fósforo fue evidente que entre cero y 42 kg/ha, no hubo diferencia significativa en la producción. Esto indica que al aplicar cachaza se asegura el abastecimiento de fósforo.

Al observar el primer muestreo de suelos efectuado antes de la siembra de la caña de azúcar (**Cuadro 5**), y compararlo con los análisis de suelos posteriores, para los tratamientos (**Cuadro 12**) hay un ligero incremento de los niveles de fósforo disponible en las parcelas que recibieron cachaza.

A pesar que en términos de fósforo total adicionado con la cachaza, fueron aplicados más de 290 kg/ha con la dosis alta (60 t/ha de cachaza). El bajo nivel de fósforo disponible medido en el

análisis de suelos, se debería al alto porcentaje de fijación de fosfatos que tienen los suelos Andisoles (arriba del 85%). (22)

CUADRO 12. Análisis de suelos bajo tres dosis de cachaza, previo a la cosecha en el lote el Sauce, finca Pantaleón.

CACHAZA (t/ha)	pH	M.O.	CIC	P	Ca
		(Porcentaje)	meq/100g	ppm	meq/100g
0	5.7	6.9	33	2.3	9.4
30	5.8	6.9	35	3.6	10.5
60	5.7	7.0	35	4.0	10.6

M-O.=Materia orgánica

CIC=Capacidad de intercambio catiónico

Fuente: Laboratorio CENGICAÑA.

Otro elemento que se incrementa es el calcio, también abundante en la cachaza (Cuadro 12). La materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico se mantienen muy similares, debido a que estas características químicas son modificadas a largo plazo.

7.1.3. Análisis de contrastes

Como se ha podido observar a través de los análisis estadísticos, al comparar las medias con el estadístico de Tukey (Cuadro 11), aplicar 30 y 60 toneladas de cachaza resulta en los mismos rendimientos. Este también es el caso para los cuatro tratamientos que contienen 30 toneladas de cachaza, con los cuales vamos a obtener las mismas producciones de caña.

Al observar el cuadro 7, vemos que el tratamiento que contiene menor cantidad cachaza (30 t/ha), nitrógeno (52 kg/ha) y fósforo (0 kg/ha) es el cinco. Rápidamente se nota que sería el que económicamente resultaría más barato. Así, se realizó un análisis de contrastes entre el tratamiento 5 y la dosis de fertilizante químico que la finca Pantaleón utiliza contra. (Cuadro 13)

CUADRO 13. Análisis de contrastes para el tratamiento cinco versus el tratamiento catorce.

CONTRASTE	t/ha.				Porcentaje de Sacarosa		
	G.L.	S.C.	F	Pr>F	S.C.	F	Pr>F
(30 t/ha C, 52 kg/ha N2, 0 kg/ha P) Vrs. (0 t/ha C, 104 kg/ha N2, 84 kg/ha P)	1	10.32	0.11	0.7397	0.00231	0.01	0.9238

C= Cachaza

P=Fósforo

Se observa que el efecto de los tratamientos no fue estadísticamente significativo, lo cual quiere decir que las producciones obtenidas en rendimiento de caña y sacarosa serán similares al utilizar cualquiera de los dos tratamientos. Por lo anterior el tratamiento 5 es una buena opción pues utiliza menor cantidad de nitrógeno y se suprime la aplicación de fósforo.

7.1.4. Concentración de nitrógeno y fósforo en la hoja

El análisis de tejido foliar correspondiente a la edad de cuatro meses de edad del cultivo (hoja 1, según Anderson), no fue afectado significativamente por los tratamientos aplicados al nivel $\alpha= 0.05$. (Cuadro 14 y 15)

En el cuadro 14 se muestran las medias de concentración de nitrógeno en la hoja, cuando fue aplicada cachaza con ambos elementos. En el caso de este elemento hay claridad de que no existen deficiencias de este elemento, porque los valores están muy por encima del nivel crítico para esta edad (1.20%). Aunque la concentración de nitrógeno del tratamiento testigo absoluto también está arriba, éste se encuentra cabalmente en el límite inferior del rango adecuado (2%). Es de señalar que en términos de producción de caña solamente el testigo absoluto fue estadísticamente inferior, en relación al resto de tratamientos.

Cuadro 14. Concentración de nitrógeno en la hoja, por efecto de la aplicación de cachaza y N₂.

Cachaza (t/ha)	N (kg/ha)	N (Porciento)	
0	52	2.1	Nivel Crítico (Porcentaje)
0	104	2.2	
30	52	2.1	
30	104	2.1	Rango Adecuado
60	52	2.1	
60	104	2.1	2.00-2.60
0	0	2.0	
0	104	2.1	

En el cuadro 15 se observa como el fósforo, a pesar de que entre un tratamiento y otro hay poca variación, están todos por debajo del rango adecuado (0.22-0.30%). Sin embargo solo aquellos que no levaron cachaza o fósforo en la fertilización, están justamente en el nivel crítico (0.19%).

Cuadro 15. Concentración de fósforo en la hoja, por efecto de la aplicación de cachaza y P_2O_5 .

Cachaza (t/ha)	P (kg/ha)	P (Porcentaje)	
0	0	0.19	Nivel Crítico (Porcentaje)
0	42	0.20	
30	0	0.21	
30	42	0.20	0.19
60	0	0.20	
60	42	0.20	Rango Adecuado
0	104	0.19	
			0.22-0.30

Los valores bajos de fósforo a pesar de la fertilización con este elemento (en el fertilizante y la cachaza), indicaría que hay problemas en la disponibilidad de este elemento. Sin embargo en el campo no se detectaron síntomas de deficiencia de fósforo y sería interesante también investigar más de cerca los niveles críticos para nuestras condiciones.

8. CONCLUSIONES

1. La aplicación de cachaza en dosis de 30 y 60 t/ha en el fondo del surco, superan significativamente las medias de rendimiento de caña en relación a cuando no se aplica, apoyando así la primer hipótesis planteada.
2. Se evidenció que no hay diferencias estadísticamente significativas (al 5%), entre aplicar 30 y 60 t/ha de cachaza en el tipo de suelos Tonquín (*Lithic hapludands*), quedando nula la segunda hipótesis.
3. En el análisis estadístico al 5% se determinó que 52 y 104 kg/ha de nitrógeno no presentan efectos significativamente diferentes en la producción de caña y azúcar, para caña plantilla de la variedad CP-722086, en los suelos Mangalito (Tonquín).
4. Las dosis de fósforo 0 y 42 kg./ha estadísticamente ($\alpha=0.05$), muestran los mismos efectos en los rendimientos de caña y sacarosa. Los efectos solo fueron evidentes al nivel del 10%.
5. La comparación del tratamiento 5 (30-52-0; t/ha cachaza, kg/ha de N_2 y kg/ha de fósforo respectivamente), indica que se obtienen las mismas producciones que al utilizar el tratamiento catorce (0-104-84; t/ha cachaza, kg/ha de N_2 y kg/ha de fósforo). Apoyando así la tercer hipótesis planteada, permitiendo el aprovechamiento de éste subproducto en los campos de caña y la reducción de los fertilizantes químicos.

9. RECOMENDACIONES

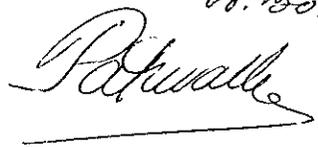
1. Como opción para la fertilización de la caña de azúcar se recomienda utilizar la cachaza como fuente de nitrógeno y fósforo, además de su efecto positivo para el suelo a largo plazo, en el tipo de suelo mangalito, pertenecientes al conjunto de suelos tonquin (*Lithic Hapludands*).
2. Se recomienda validar a nivel semicomercial la dosis de 30 toneladas de cachaza por hectárea, para la fertilización de la caña de azúcar en el conjunto de suelos Tonquín.
3. Realizar otros estudios con dosis de cachaza menores a 30 toneladas/hectárea, en el conjunto de suelos Tonquín.
4. Se hace necesario la investigación en los otros tipos de suelos que se encuentran presentes en la finca Pantaleón, ya que como en esta investigación se ha demostrado la cachaza es una fuente importante de nutrientes para la fertilización de la caña de azúcar en esa finca.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. ABRIL GONZALES, A. *et al.* 1990. Manual de los derivados de la caña de azúcar. Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar. (Méx) 2(2): 14-17.
2. AGUERO TORRES, C. *et al.* 1988. Manual de los derivados de la caña de azúcar. Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar. (Méx) 1(2): p. 47-51.
3. ALEXANDER, E.F. 1972. Filter cake. South Africa Sugar Journal. (South Africa) 56 (2): 71-73.
4. ANDERSON, D.L.; BOWEN, J.E. 1994. Nutrición de la caña de azúcar. Quito, Ecuador, Instituto de la Potasa y el Fósforo. 40 p.
5. ARCILA ARIAS, J.; ARBOLEDA ARANGO, J.; CUÉLLAR CANO, J. 1991. Estudio preliminar sobre las posibilidades del uso de la cenichaza en la agricultura. In: Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (2., 1987, Cali, Col.). Memorias. Guatemala, CENGICAÑA. p. 299-314.
6. ASOCIACIÓN DE AZUCAREROS DE GUATEMALA. 1997. La agroindustria azucarera de Guatemala. Guatemala. 42 p.
7. BARAHONA, R. *et al.* 1982. Estudio detallado de los suelos, Escuintla, Guatemala. Guatemala, Empresa Pantaleón S.A. p. 30-38.
8. CANETE, R.; VILLAR, J.; POZO, A. 1944. Una mirada al secado de la cachaza. Periódico Internacional del Azúcar. Cali, (Col), Abril. 15: 469-471.
9. CARRILLO GUERRA, C. 1992. Evaluación de tres niveles de abono orgánico, con aplicación de cinco niveles de nitrógeno de compensación, en el rendimiento de grano de maíz (*Zea mays* L). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 52 p.
10. CASSALETT DAVILA, C.; TORRES AGUAS, J.; ISAACS ECHEVERRI, C. 1995. El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia. Valle del Cauca, Cali, Colombia, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. p. 120-122.
11. CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR. 1997. Utilización de la cachaza en los suelos cañeros de Guatemala. Boletín Ejecutivo. (Gua) 1(1): 1- 8.

12. CRUZ, J.R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
13. DONELAN, A.F. 1994. Utilización de la cachaza en mezclas de suelo en la estación experimental de Caroni, Trinidad. Periódico Internacional del Azúcar. Cali, (Col) Abril. 15: 593-596.
14. FASSBENDER, H. W. 1972. Suelos y sistemas de producción agroforestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 460 p.
15. _____ 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. San José, Costa Rica, IICA. 420 p.
16. FLORES, S. 1976. Manual de caña de azúcar. Guatemala, Instituto Técnico de Capacitación y Productividad. 172 p.
17. HIGNETT, T. 1972. Características de la industria mundial del abono-fertilizantes fosforados. México, Centro Regional de Ayuda Técnica. 65 p.
18. HOLDRIDGE, L. R. 1979. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 490 p.
19. INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO. 1993. Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. Quito, Ecuador. 55 p.
20. NUNES, D.; MORELLI, J.L.; NELLI, E.J. 1988. Comportamiento de variedades de caña de azúcar na presencia de tortas de filtro e de mamona. Cooperativa de Produtores de Cana de Acúcar e Álcool do Estado de São Paulo. (Bra) 17(1): 3-12.
21. ORLANDO FILHO, J. 1994. Alternativas para el uso eficiente de fertilizantes minerales y residuos de la fábrica de azúcar con baja degradación de suelo y riesgos mínimos de contaminación ambiental. Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar. (Méx) 2(2): 14-17.
22. PÉREZ, O.; HERNANDEZ, F. 1998. Avances en el programa de fertilización de la caña de azúcar. In: Congreso Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala (I., 1997. Guatemala). Guatemala, CENGICAÑA. p. 86-95.
23. QUINTERO DURAN, R.; JEN YANG, S.; CASTILLA, C. 1984. Efectos de la cachaza en la producción de la caña de azúcar en el Valle del Cauca. In: Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (I., 1985, Cali, Col.). Memorias. Guatemala, CENGICAÑA. p. 255-265.

24. SIMMONS, CH. S.; TARANO, J. M.; PINTO, J. H. 1959. Clasificación de reconocimientos de los suelos de la República de Guatemala. Trad. Por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.
25. TISDALE, S. L. 1988. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. por Jorge Balasch. México, D.F., UTHEA. 760 p.

Vo. B.O.




11. ANEXOS

CUADRO 16A. Distribución de los tratamientos dentro del área experimental.

Repetición I	Repetición II	Repetición III
T 8	T 10	T 1
T 10	T 5	T 10
T 11	T 12	T 12
T 12	T 19	T 9
T 7	T 14	T 13
T 14	T 7	T 11
T 6	T 13	T 3
T 13	T 8	T 2
T 9	T 11	T 4
T 1	T 2	T 5
T 3	T 4	T 14
T 4	T 6	T 7
T 2	T 3	T 8
T 5	T 1	T 6

CUADRO 17A. Producción media obtenida para los tratamientos con cachaza y nitrógeno.

Cachaza (t/ha)	Nitrógeno (kg/ha)	Producción de Caña (t/ha)		Porcentaje de Sacarosa	
		Media	Desviación estandar	Media	Desviación estandar
0	53	125.4500	8.6805	11.7554	0.2794
30	53	139.7417	7.6607	12.0401	0.3529
60	53	151.8933	3.6183	12.3428	0.7012
0	105	130.8083	11.8557	11.9801	0.3440
30	105	146.0483	6.0581	12.3779	0.5504
60	105	147.9350	17.2126	11.8896	0.6018

Fuente: Datos de campo.

CUADRO 18A. Producción media obtenida para los tratamientos con cachaza y fósforo.

Cachaza (t/ha)	Fósforo (kg/ha)	Producción de Caña (t/ha)		Porcentaje de Sacarosa	
		Media	Desviación estandar	Media	Desviación estandar
0	0	124.5467	11.3933	11.7623	0.3054
0	42	131.7117	8.5162	11.9733	0.3267
30	0	141.2000	9.6336	12.1041	0.3336
30	42	144.5900	4.4215	12.3139	0.5985
60	0	146.1617	16.7894	11.8871	0.6197
60	42	153.6667	1.7578	12.3452	0.6835

Fuente: Datos de campo.

CUADRO 19A. Producciones medias para los tratamientos con nitrógeno y fósforo.

Nitrógeno (kg/ha)	Fósforo (kg/ha)	Producción de Caña (t/ha)		Porcentaje de Sacarosa	
		Media	Desviación estandar	Media	Desviación estandar
53	0	136.3633	14.7526	11.9293	0.4357
53	42	141.6933	11.0059	12.1629	0.5856
105	0	138.2422	16.9699	11.9064	0.4719
105	42	144.9522	10.7210	12.2587	0.5462

Fuente: Datos de campo.

CUADRO 20A. Producciones medias para los tratamientos con cachaza, nitrógeno y fósforo.

Cachaza (t/ha)	Nitrógeno (kg/ha)	Fósforo (kg/ha)	Producción de Caña (t/ha)		Porcentaje de Sacarosa	
			Media	Desviación estandar	Media	Desviación estandar
0	53	0	121.9200	12.0623	11.5590	0.2031
0	53	42	128.9800	2.3444	11.9519	0.1955
0	105	0	127.1733	12.5826	11.9655	0.2608
0	105	42	134.4433	12.3867	11.9947	0.4767
30	53	0	137.1700	10.5106	12.0194	0.0534
30	53	42	142.3133	4.0502	12.0609	0.5543
30	105	0	145.2300	8.5336	12.1889	0.5039
30	105	42	146.8667	4.1135	12.5669	0.6295
60	53	0	150.0000	4.6642	12.2095	0.6161
60	53	42	153.7867	0.4709	12.4761	0.8925
60	105	0	142.3233	25.2736	11.5648	0.5185
60	105	42	153.4567	2.7313	12.2144	0.5658

Fuente: Datos de campo.

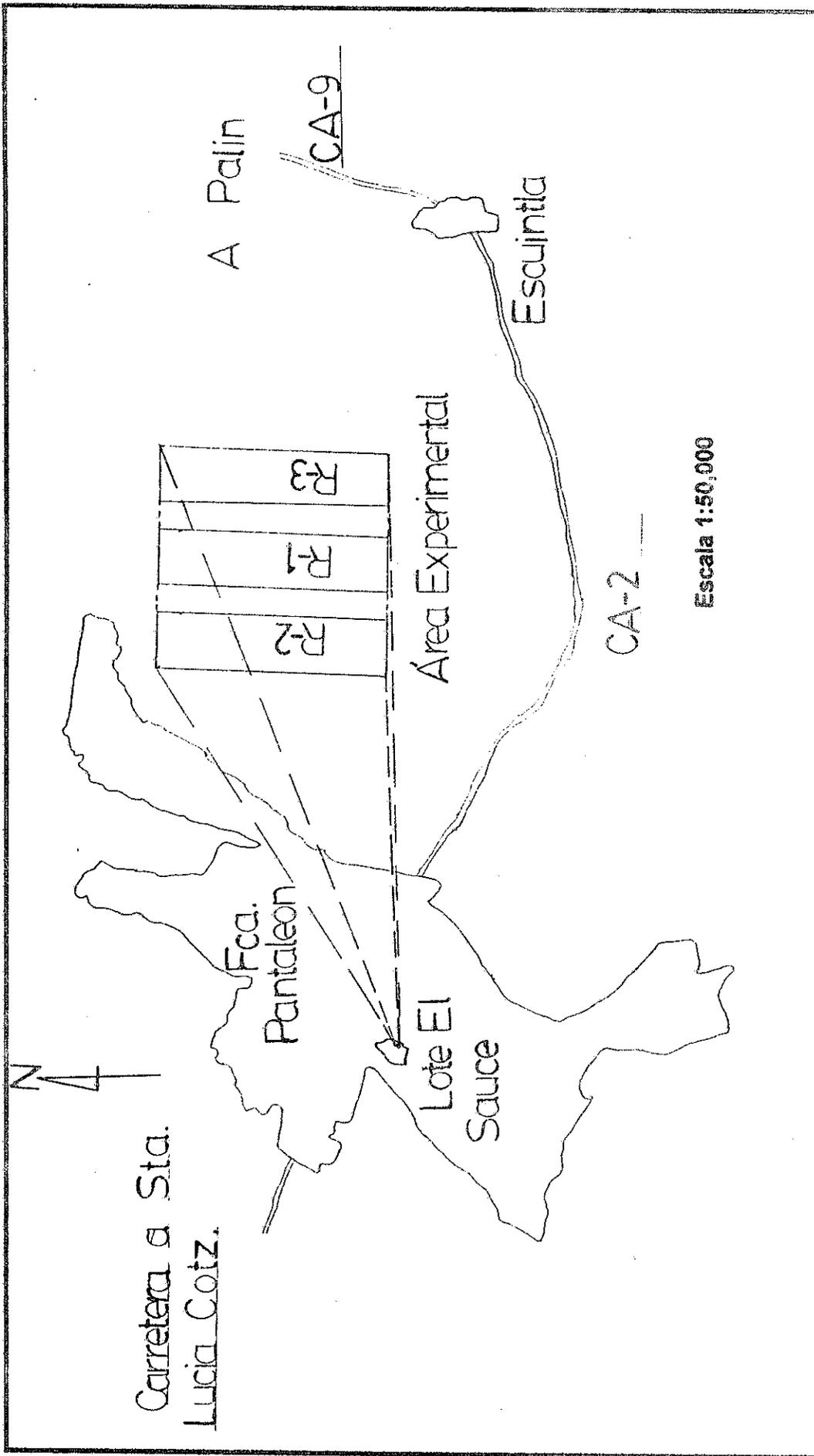


Figura 1. Ubicación del campo experimental el Sauce dentro de la finca Pantaleon.

11.1. DETERMINACIÓN DEL pH del suelo:

A esta prueba se le denomina PRUEBA DE FIELDS (Rel 1:50). La metodología es la siguiente:

- Pesar 1 gr. de suelo en un recipiente apropiado
- Adicionar 50 ml. de NaF, agite la mezcla por 1 min.
- Coloque el electrodo en la parte superior de la suspensión y leer el pH a los 2 min. de adicionar el NaF exactamente.

11.2. DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA:

Denominada SULFATO FERROSO. Seguir los pasos siguientes:

- Pesar 0.5 gr. de suelo secado al aire, tamice con malla No. 60 (si la muestra es muy oscura pese 0.2 a 0.3 gr.)
- Agregue 10 ml. de dicromato de potasio 1N.
- Agregar 20 ml. de ácido sulfúrico concentrado, agite suavemente y deje enfriar la muestra de 20-30 min.
- Diluya la mezcla con 200 ml. de agua destilada. Agregue 10 ml. de ácido fosfórico y 10 gotas de difenilamina (solución color amarillo).
- Titule la solución con sulfato ferroso amoniacal 0.5N hasta que llegue el primer tono de verde.

11.3. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO:

11.3.1. Preparación de la muestra: Secar toda la muestra de suelo. Moler con rodo de metal y tamizar a mesh 9. Guardar 100 gr. de muestra en un frasco para el análisis.

11.3.2. Extracción del suelo:

- a). Pesar 5 gr. de suelo en un tubo plástico de 40 ml.
- b). Agregar 30 ml. de acetato de amonio (1N pH=7), agitar hasta mezclar completamente. Deje reposar por 16 horas.

- c). Agitar muestra por 5 min. en agitador reciproco.
- d). Centrifugar el contenido del tubo por 10 min. a 250 RPM.
- e). Filtrar solución en un balón aforado de 100 ml. (SOLUCIÓN A)
- f). Al residuo agregar nuevamente 30 ml. acetato de amonio (1N pH=7) y agitar por 5 min.
- g). Centrifugar durante 5 min. a 250 RPM,
- h). Filtrar mezcla recogiendo filtrado en el balón de la solución A.
- i). Repetir el proceso para el residuo obtenido en "h" (del paso f al h) y aforar la solución A 100 ml.
- j). No tirar el residuo de la filtración ya que se utilizara para la siguiente extracción.

11.3.3. Lavado del residuo de sal de amonio:

- a). El residuo obtenido en el paso "j" agregarle 20 ml. de alcohol etílico 95%. Agitar por 5 min. y centrifugar por 5 min. a 250 RPM.
- b). Decante la solución del alcohol y descarte. Repita el procedimiento anterior 2 veces, para eliminar completamente la sal de amonio agregada en el numeral 11.3.2.
- c). No tire el residuo ya que se utilizara para la siguiente extracción.

11.3.4. Extracción con cloruro de sodio 10%:

- a). El residuo del paso anterior, agregue 30 ml. de Cloruro de sodio al 10%, agite por 5 min y centrifugar a 250 RPM por 5 min, luego filtrar en un balón de 100 ml. (SOLUCIÓN B).
- b). Repita el proceso de extracción dos veces, uniendo los filtrados a la solución anterior (Solución B) y aforar.
- c). Descartar el residuo del suelo.

11.3.5. Análisis de soluciones A y B:

Solución A: Se analiza por absorción atómica Na, Ca, Mg, K, para obtener las bases cambiables

(S). $PPM\ Tot = \Sigma Na, Mg, K, Ca$

Solución B: Se analiza por destilación la CIC.

a). Tomar una alícuota de 10 ml. de la solución B y agregarle 10 ml. de soda cáustica al 50%, destilar por 5 min. y recoger la solución sobre 10 ml. de ácido bórico al 2%.

b). Titular la muestra con ácido sulfúrico 0.03N.

c). Cálculo solución B: $PPM (Na, Mg, Ca, K) = \frac{ml. Ac. Sulf. \times N \times 100 + alicuotas}{Peso de muestra}$
 Porcentaje de Saturación del suelo = $(S \times 100) / CIC$

11.4. DETERMINACIÓN DEL FÓSFORO (Carolina del Norte):

Preparación de las soluciones :

Solución Extractora: Mezcle cuidadosamente 4.05 ml. de ácido clorhídrico concentrado con 0.7 ml. de ácido sulfúrico concentrado y agregar cuidadosamente 500 ml. de agua destilada, llevar a un volumen de 1 litro.

Solución A (Reactivo concentrado):

a). Pese 1 gr. de Tartrato doble de potasio y antimonio, agregar 400ml. de agua destilada y mezclar. Agregar cuidadosamente 165ml. de ácido sulfúrico concentrado y deje enfriar.

b). Pesar 7.5 gr. de Molibdato de amonio en aproximadamente 300ml. de agua destilada.

c). Mezclar solución de ácido y tartrato y amonio (a), con la solución de molibdato de amonio (b), llevar a volumen de 1 litro con agua destilada.

NOTA: Mantener en refrigeración y libre de luz (la sol. Es sensitiva a calor y luz)

Solución B (Prepararla el mismo día):

a). 1 gr. gelatina libre de fósforo y disuélvala en 25 ml. de agua caliente (destilada) y luego agregue 1 gr. de ácido ascórbico.

b). Mida 150 ml. de solución A y colóquelos dentro de un balón de 1 litro y agregue la mezcla de gelatina y ácido ascórbico, llevar a volumen con agua destilada.

NOTA: No usar esta solución Después de 24 Hrs. porque se descompone.

Análisis de muestras:

- a). Pese 5 gr. de suelo y agregue 25 ml. de solución extractora, agite por 10 min a 2,000 RPM.
- b). Filtre las muestras y guarde filtrado, descarte el sólido.
- c). Tome 2 ml. del filtrado y agregue 8ml. de agua destilada y 10ml. de solución diluida de molibdato de amonio (Solución B).
- d). Lea la absorbancia de la muestra a 680 nm. Después de 20 min.
- e). Utilice la curva estándar de 10 puntos de 10-100 PPM.
- F). Prepare un blanco mezclando 5 ml. de agua y 5ml. de solución B.

11.5. ANALISIS DE LA CACHAZA

11.5.1. Determinación del Nitrógeno (Destilación de la muestra):

- a). Pipetear 5 ml. de la solución de la digestión y páselos cuantitativamente a un tubo de destilación.
- b). Conecte el tubo al destilador y baje la compuerta, esto hace que se active la bomba de hidróxido, agregar 5 ml. de NaOH al 40%.
- c). Inicie la destilación y reciba el destilado en un Erlenmeyer de 250 ml. que contiene 20 ml. de solución de ácido Bórico con su indicador mixto (rojo de metilo más verde de bromocresol). El color de la solución de ácido Bórico cambia de rojo a verde.
- d). Destilación dura de 4-5 min., el color del indicador debe de continuar verde.
- e). Titule con ácido sulfúrico 0.00714N hasta cambio de color del indicador a rosado pálido.
- f). Prepare y titule un control (blanco) que contenga todos los reactivos menos la muestra.

El contenido de nitrógeno de la muestra se calcula considerando el volumen de ácido sulfúrico 0.00714N (0.00357M) gastado en la titulación de la muestra (v. muestra) menos el consumido por el blanco (v. blanco).

$$N = (v \text{ muestra} - v \text{ blanco}) \times \text{NH}_2\text{SO}_4 \times \frac{14.08 \text{ gr. N}}{1 \text{ eq. N} \times 10^3 \text{ meq/eq}} \times \frac{50 \text{ ml.}}{5 \text{ ml.}} \times \frac{100}{0.25 \text{ gr.}}$$

v muestra = Volumen de ácido sulfúrico (ml.)

v blanco = Vol. ac. Sulfúrico (ml.)

NH_2SO_4 = Concentración de ac. Sulfúrico empleado en la titulación

14.08 gr. = Peso de 1 eq. (1,000 meq de N)

50 ml. = Volumen de dilución de la digestión

5 ml. alícuota de la solución de la digestión de muestras

0.25 gr. = peso de la muestra

11.5.2. Determinación de fósforo:

El fósforo se determina sobre la solución resultante de la digestión de la muestra con ácido sulfúrico y selenio, y sobre el blanco, por el método de Carolina del Norte en forma similar a la indicada para suelos. El fósforo se calcula considerando el peso de la muestra y el volumen al que se lleva la digestión.

$$P \text{ muestra} = P \text{ solución muestra (mg L}^{-1}) - P \text{ sol. Blanco (mg L}^{-1})$$

$$P \text{ cachaza (\%)} = P \text{ muestra} \times 0.02$$

11.5.3. Determinación de calcio, magnesio, potasio y sodio:

Se determinan sobre la solución de la digestión y el blanco en la misma forma indicada para suelos. Las soluciones de las curvas de calibración se llevan a volumen con solución H_2SO_4 AL 4%.

$$[] \text{ Ca, Mg, Na o K (\%)} = [\text{PPM sol. muestra (mg L}^{-1}) - \text{PPM sol. blanco (mg L}^{-1})] \times 10^{-3} \text{g/mg} \times \frac{50}{0.25\text{gr.}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de calcio} = \text{Calcio solución} \times 0.20$$

$$\text{Porcentaje de magnesio} = \text{Magnesio} \times 0.20$$

$$\text{Porcentaje de potasio} = \text{Potasio} \times 0.20$$

$$\text{Porcentaje de sodio} = \text{Sodio} \times 0.20$$



FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

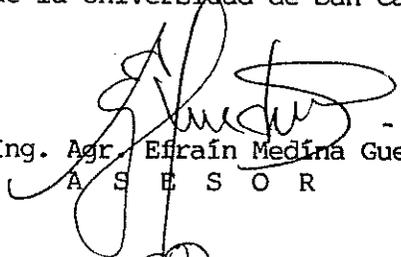
LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DEL EFECTO DE CACHAZA, NITROGENO Y FOSFORO EN CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.) EN EL CONJUNTO DE SUELOS TONQUIN (Lithic Hapludands), FINCA PANTALEON, SIQUINALA, ESCUINTLA."

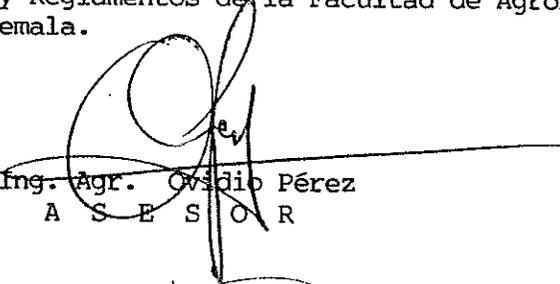
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: ERWIN ALBERTO MORALES MAYEN

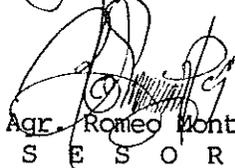
CARNET No.: 9119211

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. José Jesús Chonay P.
Ing. Agr. Eugenio Orozco

El Asesor 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. Efraín Medina Guerra
A S E S O R

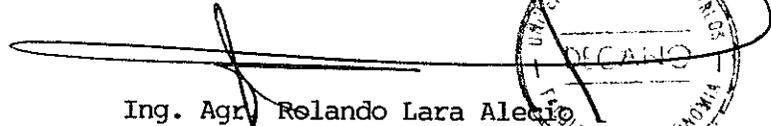

Ing. Agr. Ovidio Pérez
A S E S O R


Ing. Agr. Romeo Montepeque
A S E S O R


Ing. Agr. Fernando Rodríguez B.
DIRECTOR DEL IIA.



I M P R I M A S E


Ing. Agr. Rolando Lara Alejo
D E C A N O



cc:Control Académico
Archivo
FR/prr.

APARTADO PÓSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C. A.
TELEFONO 476-9794 § FAX (502) 476-9770
E-mail: lia@usac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>