

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



**RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN CINCO VARIEDADES
DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) CON POTENCIAL DE FIJACIÓN
BIOLÓGICA DE NITRÓGENO, FINCA MANGLARES, LA GOMERA,
ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

HUGO LEONEL GONZÁLEZ VELA

GUATEMALA, JULIO DE 2017

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

**RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN CINCO VARIEDADES
DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) CON POTENCIAL DE FIJACIÓN
BIOLÓGICA DE NITRÓGENO, FINCA MANGLARES, LA GOMERA,
ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

TESIS

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

POR

HUGO LEONEL GONZÁLEZ VELA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

**INGENIERO AGRÓNOMO
EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO**

GUATEMALA, JULIO 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



RECTOR

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO: Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López

VOCAL PRIMERO: Dr. Tomas Antonio Padilla Cámara

VOCAL SEGUNDO: Ing. Agr. Cesar Linneo García Contreras

VOCAL TERCERO: M. Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz

VOCAL CUARTO: P. Agr. Walfer Yasmany Godoy Santos

VOCAL QUINTO: P. Contador Neidi Yasmine Juracán Morales

SECRETARIO: Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, julio de 2017

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

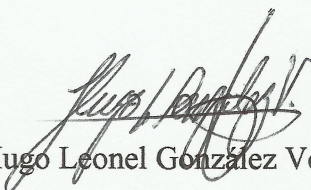
Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, la tesis de graduación “Respuesta a la fertilización nitrogenada en cinco variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.*), con potencial de fijación biológica de nitrógeno, finca Manglares, La Gomera, Escuintla, Guatemala, C.A.”; como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Hugo Leonel González Vela

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS:

Gracias Señor por la bendición tan grande me has dado de poder realizar y culminar mi carrera universitaria, por ser mi inspiración y fortaleza, por no dejarme abatir en los momentos difíciles de la vida y permitirme ahora cumplir éste añorado sueño y compartirlo con mi familia y seres queridos.

MIS PADRES:

Oswaldo González Arriaza y Silvia Vela de González (Q.E.P.D.) por creer en mí y apoyarme en todo momento con sus consejos y el amor de buenos padres que han sido siempre.

MI HIJA:

Por ser ese motivo para luchar cada día, por ayudarme a ser mejor padre y persona, porque ella ha sido y será siempre el motivo para poder salir adelante y superarme en la vida.

A MIS HERMANOS:

Por estar siempre con migo, por mantener la unión de la familia y por el apoyo que me brindaron en todo momento.

TESIS DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

GUATEMALA

Bello país, rico en recursos naturales y en la diversidad de su gente trabajadora, pues la belleza de su naturaleza es una fuente de inspiración para los que tienen la dicha de trabajar la tierra, le dedico mi tesis de graduación.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Alma Mater, por haberme aceptado y brindarme los recursos y la orientación para mi vida profesional.

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Por haberme abierto sus puertas y brindarme los conocimientos para mi formación académica.

INGENIO MAGDALENA S.A.

Por haberme dado la oportunidad de desarrollar mi trabajo de tesis y por todo el apoyo y los recursos que me proporcionaron.

CENGICAÑA

Por la orientación y colaboración recibidas para poder realizar la presente tesis.

AGRADECIMIENTOS

- DIOS
- Mis Padres
- Mi hija
- Mi familia
- Guatemala
- Universidad de San Carlos de Guatemala
- Facultad de Agronomía
- Ingenio Magdalena S.A.
- CENGICAÑA
- Supervisor Ing. Ovidio Pérez
- Supervisor Ing. Marco Vinicio Fernández
- Ing. Fernando Hernández
- Ing. Edgar Solares Monterroso
- Personal de labores varias Depto. de Investigación, Ingenio Magdalena S.A.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	página
Índice de cuadros	v
Índice de figuras	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 MARCO CONCEPTUAL	3
2.1.1 Importancia del cultivo de la caña de azúcar en Guatemala	3
2.1.2 Extracción de elementos por la caña de azúcar	3
2.1.3 El nitrógeno en la caña de azúcar	4
2.1.4 Factores que influyen en el efecto del nitrógeno	4
2.1.5 Absorción de nitrógeno en la caña de azúcar	5
2.1.6 Síntomas de las deficiencias de nitrógeno	5
2.1.7 Efectos del nitrógeno en el contenido de humedad	6
2.1.8 Efectos del nitrógeno en diámetro de tallos, población de tallos y altura de plantas	6
2.1.9 Efectos del nitrógeno en la concentración de azúcares	7
2.1.10 Determinación de las necesidades nutricionales del cultivo	7
2.1.10.1 Análisis de suelo	7
2.1.10.2 Ensayos de campo	8
2.1.10.3 Micro parcelas	8
2.1.10.4 Análisis de tejidos	8
2.1.10.5 Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendaciones (DRIS)	9
2.1.11 Fertilizantes nitrogenados	10
2.1.11.1 Urea	10
2.1.11.2 Nitrato de amonio	11
2.1.11.3 Sulfato de amonio	11
2.1.11.4 Fertilizantes líquidos	12
2.1.12 Eficiencia de los fertilizantes	12
2.1.13 Inhibidores de la nitrificación	13
2.1.14 Época adecuada de aplicación de fertilizantes	14
2.1.15 Fijación biológica de nitrógeno en caña de azúcar	14
2.1.16 Experiencias sobre fijación biológica de nitrógeno en Guatemala	16
2.1.17 Variedades en estudio	19

Contenido	página
2.1.17.1 Variedad PR 87-2080	19
A. Aspecto general	19
B. Tallos	19
C. Follaje	20
2.1.17.2 Variedad SP 79-2233	20
A. Aspecto general	20
B. Tallos	20
C. Follaje	21
2.1.17.3 Variedad CP 72-20886	22
2.1.17.4 Variedad PGM 89-968	22
2.1.17.5 Variedad CG 96-59	22
2.2 MARCO REFERENCIAL	23
2.2.1 Ubicación geográfica del experimento	23
2.2.2 Condiciones climáticas	24
2.2.3 Condiciones edáficas	24
2.2.4 Región fisiográfica	25
3. OBJETIVOS	26
3.1 Objetivo General	26
3.2 Objetivos Específicos	26
4. HIPÓTESIS	27
5. METODOLOGÍA	29
5.1 Localización del área experimental	29
5.2 Materiales y métodos	29
5.2.1 Diseño experimental	29
5.2.2 Modelo estadístico	29
5.2.3 Descripción de los tratamientos	30
5.2.4 Variables de respuesta	30
5.2.4.1 Producción de caña por hectárea	30
5.2.4.2 Concentración de azúcar (% sacarosa)	30
5.2.4.3 Extracción total de nitrógeno	30
5.2.4.4 Requerimientos de nitrógeno	31
5.3 Manejo agronómico del experimento	31
5.3.1 Preparación del suelo	31

Contenido	página
5.3.2 Siembra de variedades	31
5.3.3 Fertilización base	32
5.3.4 Fertilización nitrogenada	32
5.3.5 Control de malezas	32
5.3.6 Riego	32
5.3.7 Cosecha	32
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
7. CONCLUSIONES	43
8. RECOMENDACIONES	45
9. BIBLIOGRAFÍA	46
10. ANEXOS	48

ÍNDICE DE CUADROS

	página
Cuadro 1 Relaciones entre elementos (normas) utilizadas en el sistema DRIS	10
Cuadro 2 Materia seca y % de nitrógeno en cada sección de la planta	16
Cuadro 3 Átomos en exceso de ^{15}N y % de nitrógeno vía FBN	17
Cuadro 4 Medias de producción de toneladas de caña por hectárea por variedad y nivel de nitrógeno	33
Cuadro 5 Medias de concentración de azúcar (% de sacarosa) por variedad y nivel de N	33
Cuadro 6 Análisis de varianza para la variable toneladas de caña/ha	34
Cuadro 7 Análisis de varianza para la variable concentración de azúcar (% de sacarosa)	34
Cuadro 8 Prueba de medias de Tukey para las producciones de caña (t/ha) y concentración de azúcar (% de sacarosa) en las variedades evaluadas	36
Cuadro 9 Prueba de contrastes para el efecto de los niveles de nitrógeno en la producción de caña (t/ha) en las variedades evaluadas	36
Cuadro 10 Análisis económico (Relación beneficio/costo) para niveles de nitrógeno con diferencias significativas en el rendimiento de caña	37
Cuadro 11 Concentración de nitrógeno (% ps) por variedad en cada parte diferenciada	38
Cuadro 12 Porcentaje de humedad y pesos secos promedio por variedad en cada parte diferenciada	39
Cuadro 13 Kilogramos de nitrógeno por hectárea extraídos por el tallo en cada variedad	39
Cuadro 14 Kilogramos de nitrógeno por hectárea extraídos por las hojas secas en	40
Cuadro 15 Kilogramos de nitrógeno por hectárea extraídos por el cogollo y hojas verdes	40
Cuadro 16 Nitrógeno total extraído por las variedades evaluadas	40
Cuadro 17 Kilogramos de nitrógeno requeridos por cada variedad para producir una tonelada de caña	41
Cuadro 18A Análisis químico del suelo en el área del ensayo	51
Cuadro 19A Medio de cultivo LGI-P para aislamiento de bacterias fijadoras de nitrógeno	53
Cuadro 20A Medio de cultivo JNFB para aislamiento de bacterias fijadoras de nitrógeno	54
Cuadro 21A Medio de cultivo NFB para aislamiento de bacterias fijadoras de nitrógeno	54
Cuadro 22A Medio de cultivo PAPA para aislamiento de bacterias fijadoras de nitrógeno	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	página
Figura 1 Gráfica nitrógeno vía FBN en relación al nitrógeno total de la planta	18
Figura 2 Fotografía variedad PR 87-2080 (5 meses)	20
Figura 3 Fotografía variedad SP 79-2233 (5 meses)	21
Figura 4 Fotografía variedad CP 72-2086 (5 meses)	22
Figura 5 Fotografía variedad CG 96-59 (5 meses)	23
Figura 6 Fotografía variedad PGM 8-9968 (5 meses)	23
Figura 7A Distribución de variedades en campo	47
Figura 8A Distribución de tratamientos (variedades y dosis de nitrógeno)	48
Figura 9A Gráfica de análisis de regresión para T/ha y kg de N/ha variedad CG 96-59	49
Figura 10A Gráfica de análisis de regresión para T/ha y kg de N/ha variedad CP 72-2086	50
Figura 11A Gráfica de análisis de regresión para T/ha y kg de N/ha variedad PR 87-2080	50
Figura 12A Gráfica de análisis de regresión para T/ha y kg de N/ha variedad SP 79-2233	50
Figura 13A Gráfica de análisis de regresión para T/ha y kg de N/ha variedad PGM 89-968	51
Figura 14A Mapa ubicación geográfica del ensayo	55
Figura 15A Mapa de Finca Manglares (sector II)	56

RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN CINCO VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) CON POTENCIAL DE FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO, FINCA MANGLARES, LA GOMERA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

RESPONSE TO THE NITROGENED FERTILIZATION IN FIVE SUGAR CANE BREEDS (*Saccharum spp.*) WITH POTENCIAL OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION, MANGLARES FARM, LA GOMERA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en la finca Manglares la cual es administrada por Ingenio Magdalena S.A., se encuentra en el municipio de La Gomera, en el departamento de Escuintla, ubicada a cinco metros de altura sobre el nivel del mar con suelos del orden Mollisol los cuales se caracterizan por ser suelos profundos y pesados, mal drenados y con bajos contenidos de materia orgánica.

El objetivo principal del estudio fue evaluar la respuesta a cuatro dosis de nitrógeno en cinco variedades de caña que han demostrado tener la capacidad de fijar nitrógeno a través de bacterias, las variedades utilizadas fueron; SP 79-2233, PR 87-2080, CP 72-2086, PGM 89-968 y CG 96-59 y las dosis de nitrógeno empleadas fueron (0, 50, 100 y 150 kg N/ha). La respuesta de las variedades a la dosis de nitrógeno se midió principalmente en la producción de toneladas de caña por hectárea y la concentración de azúcar (% de sacarosa). Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo en parcelas divididas, asignando las variedades a las parcelas grandes y las dosis de nitrógeno a las parcelas pequeñas las cuales estuvieron conformadas por cinco surcos de 10 m de largo cada una.

Los resultados indican que en todas las variedades hubo un incremento en la producción como respuesta al aumento de la dosis de nitrógeno, estos incrementos en la producción fueron significativos al aumentar la dosis de nitrógeno de 0 kg N/ha a 50 kg N/ha y 100 kg N/ha, sin embargo las producciones de

caña que se obtienen con 100 kg de N/ha como con 150 kg N/ha son estadísticamente similares. De las dosis de nitrógeno con diferencias significativas en la producción la dosis de 50 kg N/ha es la que tiene la mayor relación beneficio/costo. Siendo las variedades SP 79-2233 y PR 87-2080 las que produjeron mayores tonelajes de caña con 177 y 165 toneladas de caña por hectárea respectivamente.

Para la concentración de azúcar (% sacarosa) el efecto de las dosis de nitrógeno no fue significativo, solamente el efecto de las variedades fue significativo siendo la CP 72-2086 y CG 96-59 las variedades que concentraron más azúcar con porcentajes de sacarosa de 10.5 % y 10.4 % respectivamente.

Las variedades que extrajeron la mayor cantidad de kilogramos de nitrógeno por hectárea (Nitrógeno Total Extraído) fueron la CP 72-2086 y CG 96-59 con una extracción 164 kg/ha y 162 kg N/ha, la variedad SP 79-2233 fue la que extrajo le menor cantidad de nitrógeno total con 140 kg N/ha. Las variedades que presentaron las menores cantidades de Nitrógeno Total Extraído fueron las mismas variedades que produjeron las mayores cantidades de caña comercial por lo que los requerimientos de nitrógeno para producir una tonelada de caña fueron menores para las variedades SP 79-2233 y PR 87-2080 necesitando únicamente 0.79 kg N y 0.88 kg N por tonelada de caña respectivamente, la variedad CP 72-2086 fue la que tuvo mayor requerimiento de nitrógeno con 1.25 kg de nitrógeno por tonelada de caña.

1. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es el elemento económicamente más importante en la producción de caña de azúcar en Guatemala y le corresponde la mayor parte de los costos de inversión en la fertilización del cultivo. Actualmente la variedad que más se siembra en el país es la CP 72-2086, sin embargo se vislumbra en el corto plazo la importancia de la utilización de nuevas variedades de caña de azúcar con características agroindustriales muy importantes.

Existen evidencias de que las variedades de caña de azúcar tienen respuestas diferenciales a las aplicaciones de nitrógeno, actualmente existen variedades de caña de azúcar promisorias desde de punto de vista agroindustrial para mejorar la productividad del cultivo. Algunos de éstos materiales han mostrado además tener la capacidad de fijar nitrógeno a través de bacterias, lo que se ha comprobado a nivel de macetas en estudios realizados con el isótopo ^{15}N por CENGICAÑA, sin embargo no se cuenta con resultados a nivel de campo para verificar el comportamiento diferencial de éstas variedades en la economía de la utilización del nitrógeno, característica importante de conocer para el manejo adecuado de estos materiales al momento de ser sembrados a nivel comercial.

Con el propósito de darle seguimiento a nivel de campo a este estudio, se planteó evaluar la respuesta a nitrógeno de aquellas variedades que mostraron esa características (fijación de nitrógeno por medio de bacterias endofíticas) y otras que actualmente están en vías de expansión o promisorias en la agroindustria azucarera, y así determinar su importancia práctica y económica a través de los requerimientos de nitrógeno de cada una de ellas. Se utilizaron las variedades SP 79-2233, PR 87-2080, PGM 89-968, CP 72-2086 y CG 96-59 a las cuales se les aplicaron cuatro dosis de nitrógeno (0 kg (testigo), 50, 100 y 150 kg de N/ha). Al momento de la cosecha se midió el peso de la biomasa total en el área (cogollos, hojas y tallos) y se analizó

el contenido de nitrógeno para cuantificar la extracción total de éste, además se midió la concentración de azúcar contenida en los tallos. Todas estas variables fueron analizadas estadísticamente para determinar si hubo respuestas diferenciales a nivel varietal a las diferentes dosis de nitrógeno.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN GUATEMALA

Guatemala es uno de los 10 países líderes en la exportación de azúcar en el mundo y el tercero en América; asimismo es la segunda actividad económica más importante del país, ya que además de producir azúcar de primera calidad, también genera más de 250,000 empleos directos e indirectos. Otro de los derivados de la caña de azúcar es la energía eléctrica que se produce en generadores que utilizan como combustible el bagazo de la caña. En Guatemala se cultivan actualmente 260,000 hectáreas con caña de azúcar lo que produce miles de toneladas de oxígeno puro, por ello el crecimiento del cultivo de la caña beneficia directamente al medio ambiente. (1)

2.1.2 EXTRACCIÓN DE ELEMENTOS POR LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar es una planta que posee una alta capacidad de extracción de nutrientes, lo cual puede agotar rápidamente las reservas de nutrientes contenidos en el suelo; por tal motivo, es necesaria la aplicación de fertilizantes químicos para restituir lo que ha sido absorbido por la planta.

La absorción de elementos nutritivos por la planta no es constante, ésta depende de la fase de desarrollo en que se encuentre la planta. Durante la primera fase de desarrollo la absorción es lenta pero en cuanto comienza a desarrollar su sistema radicular y su parte aérea las necesidades se incrementan considerablemente. Dentro de los macronutrientes que son mayormente absorbidos por la caña de azúcar están el K, N, Ca, Mg, y P, respectivamente. (8)

2.1.3 EL NITRÓGENO EN LA CAÑA DE AZÚCAR

La fuente principal de nitrógeno es el suelo, otras fuentes de menor importancia son los compuestos de nitrógeno presentes en el aire en forma de amoníaco, nitratos y nitritos que son el resultado de las descargas electroatmosféricas. El nitrógeno puede estar presente en las plantas de diferentes formas puede ser en forma de nitrato, amidas o amoniaco. En la caña de azúcar el nitrógeno se encuentra presente en forma de amida, en las raíces de la caña de azúcar se puede encontrar nitrógeno en forma de nitratos y amoníaco que es de las formas en que más es absorbido pero puede ser encontrado hasta en forma de nitritos. El nitrógeno absorbido en forma de nitratos tiene que ser reducido en el proceso de formación de los constituyentes nitrogenados de la planta, lo cual no ocurre con el nitrógeno absorbido en forma de amoníaco, por lo que la energía ahorrada en este último caso puede ser aplicada a otros propósitos, como lo es el crecimiento. El nitrógeno es absorbido por las raíces y luego es transportado hacia las hojas y en ellas se da el proceso de asimilación, transformando el nitrógeno en sustancias de proteína que constituyen parte importante del protoplasma de las células. Aunque hay una relación en la intervención de la luz en la fijación del nitrógeno, lo más importante son los carbohidratos producidos durante la fotosíntesis, pues de éstos depende la síntesis de proteínas y por lo tanto la fijación del nitrógeno. Un contenido adecuado de nitrógeno produce un color verde más oscuro hasta casi azul verdoso en las hojas, debido al aumento de la concentración de clorofila. (18)

2.1.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL EFECTO DEL NITRÓGENO

Los efectos de la fertilización con nitrógeno según Campo (4) son complicados por el hecho de que la reacción de una cosecha de caña a cierta cantidad de nitrógeno no es uniforme, sino que depende de muchos factores tanto internos como externos. De ese modo las diferentes variedades pueden reaccionar en formas distintas y hasta la reacción de la misma variedad difiere conforme a la edad. Los efectos del nitrógeno también se ven afectados por el tipo de caña, la caña en plantía es más eficiente en cuanto a la utilización del

nitrógeno, mientras que la caña soca necesita un poco más de nitrógeno para alcanzar sus rendimientos óptimos. Además, existen otros factores externos tales como el clima, el tipo de suelo y la altitud, los cuales son determinantes en los efectos que puede tener el nitrógeno sobre el cultivo. Otro factor que influye en el efecto del nitrógeno es la presencia de otros nutrientes, tanto el potasio como el fósforo pueden acelerar la absorción de nitrógeno o en caso de ser deficientes principalmente el potasio, el cual puede convertirse en un factor limitante.

2.1.5 ABSORCIÓN DE NITRÓGENO EN LA CAÑA DE AZÚCAR

Según Dillewijn (8) la absorción de nitrógeno es muy lenta durante las etapas iniciales de desarrollo, pero aumenta rápidamente conforme se acrecienta la superficie de absorción del sistema radicular. El ritmo de absorción aparentemente es independiente de las necesidades inmediatas de la planta y el nitrógeno absorbido después de los requerimientos del momento, puede ser almacenado y utilizado para el posterior crecimiento. La cantidad máxima de nitrógeno es absorbida durante los primeros 90 días, pero el crecimiento continúa hasta la edad de 161 días, lo que hace suponer que la caña de azúcar tiene una alta capacidad para almacenar cantidades considerables de nitrógeno. Durante los primeros 6 meses el grueso de nitrógeno se almacena en las hojas verdes, a esta edad las hojas han completado en su mayor parte su desarrollo, después de lo cual la cantidad total de nitrógeno contenida en estos órganos no aumenta materialmente. Los tallos y las hojas secas continúan acumulando nitrógeno a un ritmo más o menos uniforme hasta la cosecha.

2.1.6 SÍNTOMAS DE LA DEFICIENCIA DE NITRÓGENO

Las hojas de las plantas carentes de nitrógeno presentan un color amarillo verdoso que se convierte después en amarillo, en tanto que la punta y los márgenes de las hojas se secan prematuramente. Las hojas de las plantas deficientes en nitrógeno se secan más rápido que las hojas de las plantas con una adecuada

fertilización. Además, las hojas son muy rígidas, característica asociada a un bajo contenido de humedad. El color de las hojas más viejas se torna morado rojizo. Las hojas parecen originarse en un punto común, fenómeno asociado con el hecho de que la longitud de los entrenudos superiores es reducida en las plantas deficientes de nitrógeno. El crecimiento de los vástagos primarios y de las hojas se deprime. La proporción entre ancho y largo de las hojas y la proporción entre diámetro y longitud de los entrenudos, son menores que en las plantas normales, lo que significa que las hojas son más estrechas y los tallos más delgados. El ahijamiento o macollamiento también se reduce. El desarrollo de las raíces generalmente es menos afectado por la deficiencia de nitrógeno y en consecuencia la proporción entre vástago y raíz. El contenido de sacarosa aumenta, y la concentración de azúcares reductores en el tallo se hace menor. El contenido de cenizas es mayor, tanto en las hojas como en los tallos mientras que el contenido de nitrógeno es menor. (8)

2.1.7 EFECTO DEL NITRÓGENO EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD

La caña de azúcar que es provista de cantidades adecuadas de nitrógeno, tiende a ser más jugosa que la caña que es cultivada con algún grado de deficiencia de nitrógeno. Un contenido de humedad elevado significa la dilución del jugo, y de ese modo se indica una de las varias formas en que el nitrógeno afecta la calidad del jugo. En algunas ocasiones la succulencia de los tejidos que ha sido inducida por las aplicaciones elevadas de nitrógeno resulta más o menos duradera y los tejidos formados en tales condiciones pueden quedar permanentemente deteriorados para el almacenamiento del azúcar. Las plantas que crecen en condiciones de suministro inadecuado de nitrógeno, tanto del que proviene del suelo como del fertilizante, tendrán con toda probabilidad un bajo contenido de humedad, sea cual fuere el estado de humedad del suelo. De ese modo es posible reducir el contenido de humedad de cualquier cosecha durante el tiempo lluvioso, reduciendo simplemente las aplicaciones de nitrógeno. (8)

2.1.8 EFECTO DEL NITRÓGENO EN EL DIÁMETRO DE TALLOS, POBLACIÓN DE TALLOS Y ALTURA DE PLANTAS (PRODUCCIÓN)

El diámetro de tallos, población de tallos y la altura de plantas son los principales componentes del rendimiento (T/ha) en caña de azúcar, según Dillewijn (8) estos componentes responden a la cantidad de nitrógeno aplicado lo que significa que tienden a aumentar conforme aumenta el nitrógeno aplicado pero claro está que llega un momento en el que aunque se aumente la cantidad de nitrógeno ya no se logrará incrementar el diámetro la altura o población de tallos, esto sucede al llegar a la dosis óptima fisiológica.

2.1.9 EFECTOS DEL NITRÓGENO EN LA CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES

Se ha comprobado en investigaciones anteriores que tanto el contenido de azúcares reductores como el de sacarosa de la planta de la caña, resultan acentuadamente afectados por la cantidad de nitrógeno aplicada. Las aplicaciones elevadas de nitrógeno, producen mayores porcentajes de azúcares reductores en el peso seco total de la planta. El efecto sobre la sacarosa es completamente lo contrario al efecto sobre la concentración de azúcares reductores. El contenido de sacarosa decrece como resultado de las aplicaciones adicionales de nitrógeno. (8)

2.1.10 DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES NUTRICIONALES DEL CULTIVO

2.1.10.1 ANÁLISIS DE SUELO

Cuando no se posee información relacionada con la nutrición del cultivo se puede recurrir al análisis de suelos para conocer la cantidad de elementos que éste puede proveer a las plantas. Los elementos se extraen de suelo por medio de sustancias extractoras que tratan de simular la manera en como las raíces llevan a cabo la absorción de los elementos. La determinación de los niveles se lleva a cabo utilizando diferentes métodos, tales como espectrofotometría, colorimetría, titulación y turbidimetría. Los valores que se obtienen pueden compararse con tablas de niveles críticos que se han diseñado mediante correlaciones entre los niveles presentes en los suelos y la respuesta de las plantas. También puede estimarse la dosis del

fertilizante si es necesario adicionarlo, tomando en cuenta lo que es capaz de suplir el suelo y conociendo los requerimientos del cultivo. (18)

2.1.10. ENSAYOS DE CAMPO

Con este tipo de evaluaciones según Subiros (18) se integran todos los factores, especialmente el climático, lo que permite tener una idea más real de la respuesta del cultivo a la fertilización. Las evaluaciones establecen experimentos en una o varias localidades y condiciones edáficas; además, son importantes para conocer la respuesta de un solo elemento o de varios y sus respectivas interacciones. A pesar de que las evaluaciones experimentales en escala regional constituyen una herramienta muy útil para decidir acerca de las dosis de fertilizantes, para que sean confiables deben ser el resultado de varios ciclos porque las variaciones de un año a otro suelen ser grandes, influidas sobre todo por factores ambientales.

2.1.10.3 MICRO PARCELAS

Este método consiste en establecer parcelas de pequeñas dimensiones para estudiar el contenido nutricional del suelo, mediante el crecimiento vegetativo parcial de una planta de crecimiento rápido, como el maíz. De esta manera se logra estimar de manera aproximada, la cantidad de nutrimentos que deben aplicarse para suplir las necesidades del cultivo. Las micro parcelas pueden ser de utilidad en estudios de calibración (respuesta de la planta y contenido en el suelo) y para comparar la fertilidad entre diferentes zonas. (18)

3.1.10.4 ANÁLISIS DE TEJIDOS

Este es un método de diagnóstico que permite conocer tanto la concentración de los elementos de la planta como también la fertilidad del suelo de manera indirecta. Tiene la ventaja sobre el análisis de suelo porque permite detectar deficiencias de los nutrimentos en el cultivo. Consiste en tomar tejidos específicos

de la planta en un momento particular. Los valores obtenidos se comparan con otros que sirven de patrón y que se han obtenido en estudios previos por correlación entre el contenido y el rendimiento. De esta manera se concluye que el cultivo cuyos elementos se ubican dentro del ámbito normal no tendrá limitaciones para su desarrollo; por debajo de este ámbito la planta estará deficiente y se darán altas posibilidades de respuesta del elemento faltante o por el contrario, se encontrará un ámbito de elevado consumo (consumo de lujo) que en ocasiones puede producir problemas de toxicidad. La hoja TVD (hoja + 1 del sistema Kuijper), hojas 3, 4, 5 y 6, y los entrenudos 8, 9 y 10 son tejidos muy utilizados para este fin. Normalmente se recomienda hacer la colecta de las muestras en horas de la mañana porque la concentración de los elementos varía durante el día. Existen otros aspectos que deben considerarse para el muestreo además de la edad de la plantación, como son la variedad, la topografía del lugar, la salud de las plantas, el grado de humedad del suelo, el drenaje y otros factores que puedan interferir en la interpretación de resultados. (18)

3.1.10.5 SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIONES (DRIS)

Según Sumner (19) el método consiste en realizar una serie de cálculos mediante el establecimiento de relaciones entre las concentraciones de los elementos en los tejidos (N/P, N/K, K/P y otras combinaciones) cuyos resultados son de utilidad para la interpretación del balance de los nutrimentos basado en los contenidos foliares. En los cálculos los valores negativos indican deficiencia del elemento; positivos que están demás y los próximos a cero que son los que se encuentran en equilibrio. Esta información debe ser interpretada asociándola con todas las variables que interfieren en el cultivo y no en forma aislada. La colecta de muestras debe hacerse preferiblemente durante la fase inicial de desarrollo en la etapa de rápido crecimiento, colectando las hojas TVD, (cuadro 1).

Cuadro 1 Relaciones entre elementos (normas) utilizadas como referencia en el sistema DRIS (Sistema integrado de diagnóstico y recomendaciones)

Azúcar (Saccharum Officinarum) normas DRIS

Relación**	media	DS	Relación**	media	DS
N/P	8.706	1.199	Fe/100Ca	2.414	0.634
N/K	1.526	0.257	100 Mg/Fc	0.329	0.092
K/P	5.633	0.038	Zn/100 N	0.106	0.021
Ca/N	0.151	0.032	Zn/100 P	0.908	0.216
Ca/P	1.314	0.349	Zn/100 K	0.157	0.043
Ca/K	0.222	0.063	100 Ca/Zn	0.473	0.398
Ca/Mg	1.373	0.381	100Mg/Zn	1.100	0.318
Mg/N	0.113	0.028	Fe/Mn	3.302	2.191
Mg/P	0.984	0.284	Zn/Fe	0.312	0.080
Mg/K	0.163	0.052	Zn/Mn	1.008	0.784
100 N/Mn	9.401	6.123	10 N/Cu	4.998	1.885
100 P/Mn	1.086	0.686	10 P/Cu	0.588	0.239
100 K/Mn	4.615	3.194	Cu/10 K	0.330	0.123
100 Ca/Mn	1.502	1.089	10 Ca/Cu	0.743	0.324
100 Mg/Mn	1.129	0.869	100 Mg/Cu	0.552	0.228
Fe/100 N	0.351	0.057	Fe/10Cu	1.733	0.693
Fe/100 P	2.995	0.600	Mn/100Cu	0.998	0.952
Fe/100 K	0.550	0.120	Zn/10 Cu	0.522	0.201

** N,P,K, Ca y Mg expresados en 2/kg partes por ciento; Mn, Fe, Zn y Cu expresado en mg/kg (ppm)

Fuente: Sumner, 1981.

2.1.11 FERTILIZANTES NITROGENADOS

Son insumos muy importantes pues ayudan a suplir los nutrientes requeridos por las plantas para tener un buen desarrollo y mantener la fertilidad de los suelos. El suministro de nutrimentos en forma de fertilizantes es básico para los sistemas de producción tecnificados en los que persiguen la obtención de altos rendimientos. Existen diferentes fuentes de fertilizantes desde los que son de origen orgánico hasta los sintéticos y de igual forma existen diferentes formas de incorporarlos al suelo o aplicarlos directamente a la planta. (19)

2.1.11.1 UREA (CO [NH₂]₂)

Es la fuente nitrogenada que se emplea con mayor frecuencia en el cultivo de la caña de azúcar. Posee cerca del 46 % de nitrógeno y es una de las más baratas por unidad de este elemento. Se caracteriza por tener una higroscopicidad moderada, menor que el nitrato de amonio pero mayor que el sulfato de amonio. Los contenidos del biureto mayores al 2 % pueden repercutir negativamente por la toxicidad que causa a la caña y otros cultivos. La urea debe hidrolizarse primero como amonio y luego nitrificarse mediante bacterias aeróbicas. Existen diferentes tipos de ureas; entre estos pueden resultar más convenientes por su eficiencia agronómica las granuladas o súper granuladas sí se comparan con las perladas. Las pérdidas que generalmente resultan de esta fuente nitrogenada han ocasionado como consecuencia el desarrollo de ureas recubiertas generalmente con azufre, para disminuir la velocidad de disolución lo que permite que el nitrógeno se libere lentamente y por consiguiente se encuentre disponible en el suelo durante más tiempo. La velocidad con que ocurre la liberación depende sobre todo del espesor del recubrimiento, de la humedad, la temperatura del suelo y del tiempo de contacto del producto. (19)

2.1.11.2 NITRATO DE AMÓNIO

El nitrato de amónio es una fuente nitrogenada que se caracteriza por poseer un 33.5 % de nitrógeno en dos formas; nítrica (16,75 %) y amoniacal (16,5 %) es muy higroscópico y soluble. Tiene la ventaja en comparación con la urea y el sulfato de amonio de ser una fuente más rápida de poner a disposición nitrógeno en forma de nitratos los que la planta absorbe con facilidad, sin embargo, bajo condiciones de alta precipitación se lixivian considerablemente en especial en suelos arenosos. (19)

3.1.11.3 SULFATO DE AMÓNIO

Es un fertilizante cuyos cristales son de color blanco es poco higroscópico, muy soluble en agua, con buenas propiedades físicas y estabilidad química, posee 21 % de nitrógeno y 23.7 % de azufre lo que lo hace

una fuente de fertilizante muy útil cuando hay que suplir azufre para corregir problemas de deficiencia sobre todo en suelos alcalinos o cuando es necesario realizar labores de enmienda para corregir problemas de suelos salinos o sódicos. No es aconsejable su utilización en suelos ácidos debido a que posee un efecto residual ácido. La condición ideal para considerar esta fuente es en aquellos suelos con pH de 5.5 a 7.5 de baja Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y cuando es necesario aplicar sobre la superficie del suelo. Sufre menos pérdidas de nitrógeno por volatilización (comparado con la urea). La principal desventaja es la de poseer un bajo porcentaje de nitrógeno si se compara con la urea lo que significa un aumento en los costos de producción. (19)

2.1.11.4 FERTILIZANTES LÍQUIDOS

Los fertilizantes líquidos se dividen en dos tipos: soluciones y suspensiones. Las soluciones son aquellas que están libres de sólidos y son lo bastante claras como para poder ver a través de ellas; las suspensiones son de mayor concentración (soluciones saturadas) poseen pequeños cristales suspendidos en una solución de arcilla (atapulcita o bentonita sódica). Entre los fertilizantes líquidos el amoníaco anhidro posee una elevada concentración de nitrógeno sin embargo la presión de vapor es alta, lo que en ocasiones produce quemaduras e irritaciones en la piel y vías respiratorias. La aplicación debe hacerse en banda, con aditamentos que lo coloquen a una profundidad al menos de 5 cm. Actualmente en el mercado se pueden encontrar varias soluciones nitrogenadas (mezclas de fertilizantes) que contienen agua, amoníaco y otros fertilizantes líquidos mixtos, los cuales pueden ser asperjados directamente sobre las plantas en los sistemas de riego por aspersión o aplicados bajo riego por goteo. (19)

2.1.12 EFICIENCIA DE LOS FERTILIZANTES

Los nutrimentos que se adicionan mediante las aplicaciones de fertilizantes no son asimilados completamente por las plantas, una parte considerable de estos no son aprovechados. La eficiencia oscila de manera general entre el 40 y 80 % (N 50-70 %, P 30-60 %, K 50-80 %). La eficiencia de los fertilizantes

está condicionada por varios factores tales como el clima, las propiedades físicas y químicas de suelos, la época de aplicación y la forma de aplicación de los fertilizantes y por supuesto la variedad del cultivo y la magnitud de las pérdidas dependerán de las combinaciones y la intensidad de cada uno de estos. Para obtener una buena eficiencia en la absorción de los nutrientes, es necesario que al incorporarlos al suelo se procure distribuir el fertilizante de manera uniforme en todo el sistema radicular procurando que quede a una profundidad adecuada para facilitar la absorción de nutrientes por la planta y evitando así también posibles pérdidas que puedan ocurrir por exposición directa al ambiente. El nitrógeno es uno de los elementos que requiere mayor atención en relación con la eficiencia debido al uso tan amplio y al costo que representa. El nitrógeno puede perderse por lixiviación (principalmente como nitrato), por volatilización, denitrificación y fijación (fijación de NH_4 en las arcillas 2:1). La urea se hidroliza con bastante rapidez por la actividad biológica de las enzimas (ureasa) que genera un aumento del pH y ocasiona la liberación de amoníaco el cual se pierde por volatilización. En el caso del nitrato de amonio es menor sin embargo cuando ocurren precipitaciones apreciables, las pérdidas por lixiviación del nitrato son considerables. Bajo condiciones de inundación el nitrato es reducido a óxido nitroso y a nitrógeno elemental y se difunde en la atmósfera. (18)

Las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, en especial la urea aplicada sobre la superficie en condiciones de suelos con poca humedad y pH mayores de 5,5 conducen a pérdidas elevadas por volatilización de amoníaco, debido a esto es recomendable que al aplicar la urea ésta sea incorporada al suelo por lo menos a una profundidad de 5 cm a 10 cm. (18)

2.1.13 INHIBIDORES DE LA NITRIFICACIÓN

Los inhibidores de la nitrificación son sustancias capaces de reducir la velocidad de nitrificación debido a que bloquean la actividad enzimática de las bacterias y permiten que el amonio permanezca mayor tiempo cerca del sistema radicular. Entre las sustancias que se emplean actualmente como inhibidores de la nitrificación tenemos las siguientes: diciandiamida, la tiourea, la metionina y los ureatos. La aplicación de

inhibidores de la nitrificación puede resultar ventajoso cuando se tienen condiciones de suelos bien drenados y en lugares con elevadas temperaturas debido que al hidrolizarse la urea es convertida en nitratos de manera rápida (por medio del proceso de nitrificación), dicho proceso es realizado por bacterias de los géneros *Nitrosomas* y *Nitrobacter*. Al ocurrir la nitrificación se tiene el inconveniente de que los nitratos se pierdan debido a lixiviación, lo mejor es que lentamente se transformen a nitrito y luego a nitrato para que permanezcan mayor tiempo disponibles en el suelo. (18)

2.1.14 ÉPOCA ADECUADA DE APLICACIÓN DE FERTILIZANTE

Debido a que la absorción de nutrientes no es constante, sino que ocurre con mayor intensidad durante los primeros meses, se aconseja que las aplicaciones de fertilizantes se realicen durante los primeros cuatro meses de edad del cañal, teniendo el cuidado que programar las fertilizaciones mecanizadas con suficiente tiempo antes de que el paso de la maquinaria pueda causar daños a los tallos. Tanto el nitrógeno como el fósforo se continúan absorbiendo después de la etapa de rápido crecimiento, aunque en menor intensidad. El potasio disminuye su absorción alrededor de los 10 meses de edad. Se ha observado que cerca del 80 % del N, 65 % de P, y el 75 % de K se absorben durante la primera mitad del ciclo de crecimiento (vegetativo) y por esta razón se recomienda hacer las aplicaciones durante los primeros meses. (18)

2.1.15 FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO EN LA CAÑA DE AZÚCAR

Los nódulos fijadores de N_2 en las raíces de las leguminosas son estructuras muy características que no se encuentran prácticamente en ninguna otra planta. En los trópicos, muchas gramíneas y en particular la caña de azúcar son capaces de producir buenos rendimientos en suelos deficientes en NH_4^+ o NO_3^- . Esto ha hecho pensar a muchos investigadores sobre una posible asociación con bacterias fijadoras, las cuales aportan por lo menos parte del nitrógeno. (3)

Técnicos investigadores del Centro Nacional de Investigaciones sobre Biología de Suelo (EMBRAPA), en Río de Janeiro comenzaron a investigar sobre este asunto hace aproximadamente 40 años y encontraron un número considerable de bacterias (especialmente del género *Beijerinckia*) asociadas a las raíces de caña de azúcar y otras gramíneas. En los años setenta este mismo equipo de investigadores descubrió otro grupo de bacterias fijadoras (*Azospirillum*) asociadas e infectando raíces de maíz, trigo, arroz y muchas otras gramíneas, aunque esto generó gran interés en todo el mundo, no fue posible demostrar en ese momento que dichas plantas recibían grandes cantidades de nitrógeno de su asociación con *Azospirillum* o cualquier otra bacteria fijadora de N₂. (3)

Se ha completado un estudio con 10 variedades de caña, incluyendo tres formas primitivas de *Saccharum officinarum*, *S. spontaneum*, y *S. barberi*, en la que se usó la técnica de dilución de ¹⁵N. Las plantas estudiadas se sembraron en un tanque de concreto conteniendo 80 toneladas de tierra marcada con isótopo N¹⁵. En el transcurso del experimento que duró tres años, no se añadió fertilizante nitrogenado, aunque se agregaron cantidades generosas de potasio, fosfato y micronutrientes, y se mantuvo un régimen adecuado de humedad, algunas de las variedades particularmente *S. Spontaneum* (Kraketau) y las variedades comerciales brasileñas CB 45-3 y SP 70-1143 dieron altos rendimientos (el equivalente a 200 T/ha/año). Una vez obtenidas estas primeras evidencias de que en ciertas variedades de caña grandes cantidades de nitrógeno provienen de la fijación biológica de nitrógeno, se comenzó a buscar la forma de identificar las bacterias fijadoras responsables de estas aportaciones. Para aislar dichas bacterias se inocularon extractos de tallos, hojas y raíces en un medio de cultivo a base de jugo de caña. Se encontró una bacteria nunca antes aislada a la que se le denominó (*Acetobacter diazotrophicus*), ésta es la primera bacteria encontrada del género *Acetobacter* capaz de fijar nitrógeno. *A. diazotrophicus* crece muy bien en los tallos de caña de azúcar y fija N₂ en altas concentraciones de azúcar (10 % de sacarosa, 30 % es el máximo). También puede crecer en condiciones muy ácidas, pH tan bajos como 2.5 mientras continúa fijando N₂ activamente. Es también capaz de fijar N₂ en presencia de NO₃⁻ y su sistema fijador de N₂ es bastante insensible a los radicales de NH₄⁺, dos

características que sugieren que la actividad fijadora en caña de azúcar pudiera tolerar niveles bajos de nitrógeno en el suelo con aplicaciones modestas de fertilizante nitrógeno. Otra característica interesante de la bacteria es que se encuentra en toda la planta así como en los residuos de caña, sin embargo, no se encuentra libre en los residuos del suelo, ni si quiera tratándose de campos de caña. (3)

2.1.16 EXPERIENCIAS SOBRE FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO EN GUATEMALA

El Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar en Santa Lucia Cotzumalguapa, departamento de Escuintla se realizó un experimento a nivel de macetas utilizando la técnica de dilución isotópica de ^{15}N , en el cual se evaluaron 13 variedades de caña de azúcar, el experimento se desarrolló durante los meses de marzo de 1998 a febrero de 1999. (16)

Algunos de los resultados obtenidos en este ensayo se presentan en el cuadro 2

Cuadro 2 Materia seca y porcentaje de N en cada sección de la planta.

variedad	materia seca (g/maceta)				N (%)			N acumulado total gr/maceta
	hojas	cogollo	tallo	total planta	hojas	cogollo	tallo	
CG 95107	277	192	242	711	0.52	0.87	0.21	3.64
CG 95125	227	160	136	523	0.46	1.18	0.13	2.94
CP 722086	322	191	110	623	0.55	1.27	0.24	4.75
CP 814384	313	194	166	673	0.64	1.23	0.23	4.90
CP 811508	337	178	196	711	0.60	1.76	0.25	5.58
MEX 68P23	209	180	126	514	0.60	0.94	0.21	2.58
MEX 69290*	227	156	100	483	0.42	0.88	0.19	2.63
NA 5642	294	145	242	681	0.47	0.85	0.17	3.27
PGM 89968	505	206	326	1037	0.72	1.76	0.33	8.08
PR 752002	192	190	142	524	0.75	1.15	0.27	4.01
PR 872080	269	166	128	564	0.56	1.25	0.2	3.76
SP 792233	256	182	122	560	0.69	1.79	0.25	4.74
SP 701143	447	172	176	796	0.5	1.36	0.19	4.92
CP722086**	1156	356	483	1995	1.15	2.27	0.97	25.7
SP 701143**	994	262	533	1789	1.04	2.95	0.91	22.9

*variedad utilizada como testigo “no fijador”. **variedades fertilizadas sin limitaciones de nitrógeno
Fuente: Pérez, 1999.

Para la estimación del porcentaje de nitrógeno que proviene de la atmósfera se seleccionó la variedad Mex 69-290 como testigo relativo no fijador por presentar el más alto porcentaje de $ea^{15}N$ (0.536 % $ea^{15}N$) en la planta total, tal como se muestra en el cuadro 3.

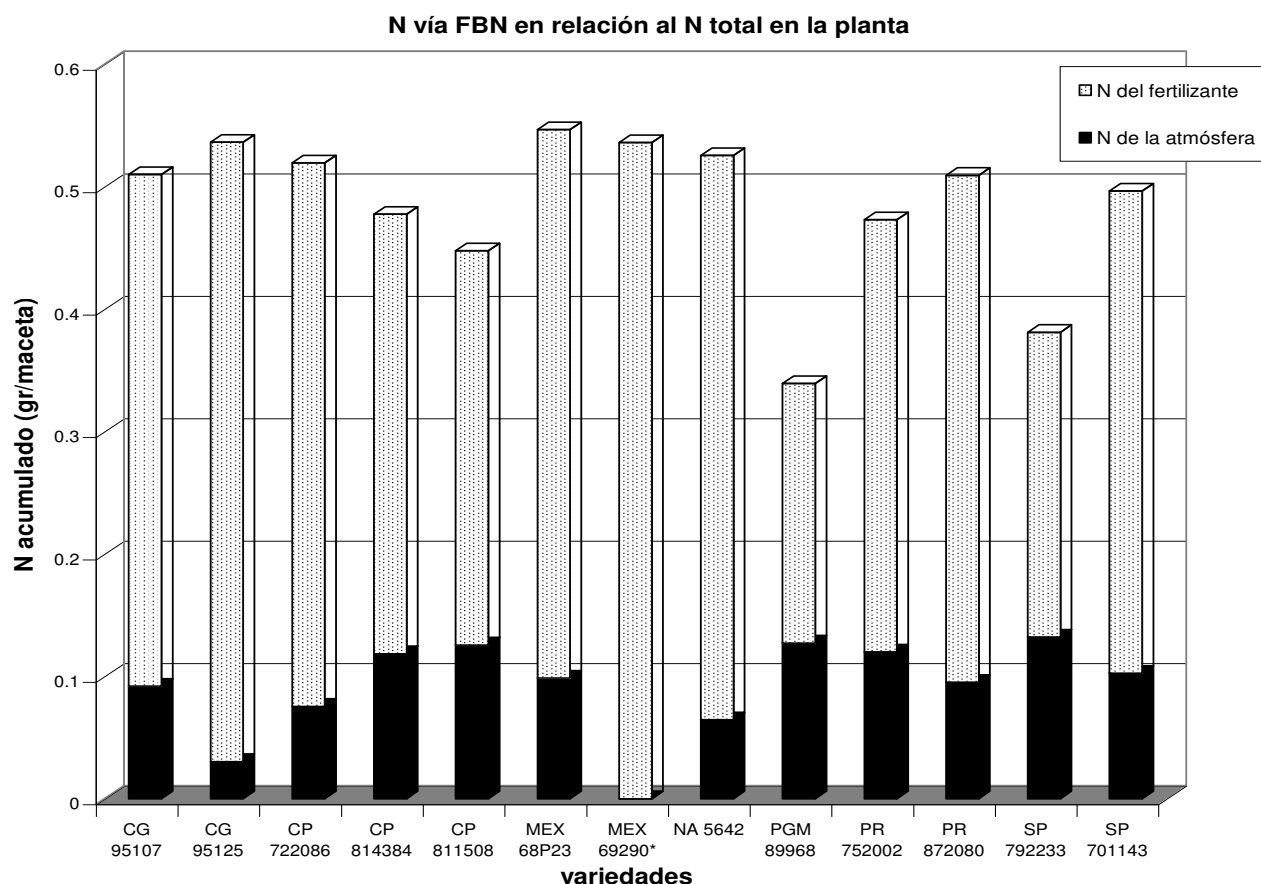
Cuadro 3. Átomos en exceso de ^{15}N y porcentaje de FBN

variedad	Átomos en exceso (ea) de ^{15}N			%N vía FBN
	cogollo	tallo	total planta	
CG 95107	0.419	0.489	0.418	22
CG 95125	0.477	0.423	0.506	6
CP 722086	0.348	0.426	0.444	17
CP 814384	0.314	0.351	0.359	33
CP 811508	0.263	0.494	0.322	39
MEX 68P23	0.404	0.481	0.448	16
MEX 69290*	0.489	0.462	0.536	0
NA 5642	0.463	0.436	0.461	14
PGM 89968	0.132	0.252	0.212	60
PR 752002	0.319	0.317	0.353	34
PR 872080	0.345	0.304	0.414	23
SP 792233	0.213	0.374	0.249	53
SP 701143	0.345	0.393	0.394	26

* variedad utilizada como testigo relativo "no fijador" en el ensayo.

Fuente: Pérez, 1999.

Las variedades PGM 89-968 y SP 79-2233, presentaron los más altos porcentajes de utilización de nitrógeno de la atmósfera con 60 % y 53 % respectivamente, además fueron estadísticamente diferentes a las demás. El resto de variedades presentaron valores de utilización menores al 40 %. La variedad SP 70-1143 mostró una mediana eficiencia en la FBN. La variedad PGM 89-968 se caracterizó por no presentar síntomas marcados de deficiencia de nitrógeno durante todo el desarrollo del experimento, mientras que la variedad SP 79-2233 tuvo un crecimiento lento y poco desarrollo al inicio y se recuperó cuatro meses después. Las variedades SP 70-1143 y NA 56-42 mostraron buen desarrollo y coloración verde normal al inicio pero al final mostraron síntomas de deficiencias de nitrógeno, figura 1.



Fuente: Pérez, 1999.

Figura 1 nitrógeno vía FBN en relación N total en la planta

También se aislaron tres géneros de bacterias fijadoras de nitrógeno *Azospirillum sp.* en tallos y hojas de la variedad NA 56-42; *Herbaspirillum sp.* y *Acetobacter sp.* en tallos de la variedad PGM 89-968.

La eficiencia de la FBN en caña de azúcar depende de los genotipos de la caña, y el suministro adecuado de los otros nutrientes, principalmente fósforo y molibdeno. El hecho de que algunas variedades de Brasil han mostrado buena eficiencia en la FBN, se podría explicar porque en este país la hibridación se ha realizado siempre con aplicaciones bajas de nitrógeno. De hecho, las dosis típicas de nitrógeno usadas en Brasil (50 kg. de N/ha), están muy por debajo de las dosis utilizadas en cualquier otro país productor de caña de azúcar. En Guatemala, las respuestas a nitrógeno observadas con la variedad CP 72-2086 indican que en

caña plantía las respuestas son bajas. También se ha determinado que la eficiencia de utilización del fertilizante N-urea medido con el uso de ^{15}N , es menor que el 37 %. (16)

En conclusión, las posibilidades de FBN en las variedades PGM 89-968 y SP 79-2233 según los resultados obtenidos al utilizar el método de la dilución isotópica de ^{15}N , están apoyadas por la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno dentro de las plantas, los géneros de bacterias *Azospirillum sp.*, *herbaspirillum sp.* y *Acetobacter sp.* han sido encontradas en mayor número dentro de plantas de caña de azúcar de variedades estudiadas en Brasil y han sido reportadas como las principales responsables de la FBN en el cultivo. (16)

2.1.17 VARIEDADES EN ESTUDIO

2.1.17.1 VARIEDAD PR 87-2080

- A. **ASPECTO GENERAL:** La variedad PR 87-2080 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. (6)
- B. **TALLOS:** Los tallos crecen erectos y muestran un deshoje natural regular, además de uniformidad en la composición y altura de los tallos. La forma del entrenudo es cilíndrica 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 un cuarto del entrenudo. 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. (6)
- C. **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 pero conforme 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 lisa es velluda en el borde. Al observar la lígula su patrón es creciente lineal. (6)



Fuente: elaboración propia, 2001.

Figura 2 Fotografía variedad PR 87-2080 a los 5 meses de edad.

2.1.17.2 VARIEDAD SP 79-2233

A. **ASPECTO GENERAL:** La variedad SP 79-2233 muestra una alta capacidad de macollamiento y posee follaje de un color verde oscuro con láminas foliares decumbentes que permiten buen cierre de calles. El hábito de crecimiento es ligeramente inclinado y no presenta ningún tipo de deshoje natural. La floración es escasa sembrada antes del mes de marzo. Después de esta fecha aún en la parte de la zona cañera de Guatemala (> 300 m s.n.m.) la variedad no florece. (6)

B. **TALLOS:** El entrenudo es curvado ligeramente en zigzag con abundante cera en la banda cerosa y a lo largo del entrenudo. El nudo forma ligeramente un cono y en el anillo de crecimiento semi ancho presenta protuberancia intermedia. En toda la banda de raíces se observan 3 hileras de raíces primordiales arregladas al tresbolillo y fácilmente palpables. El nudo en el lado de la yema mide 12 mm

y en el lado opuesto a la yema mide 10 mm la yema es de protuberancia intermedia y ovalada generalmente con una punta corta. La proyección de la yema respecto al anillo de crecimiento y la cicatriz foliar es una característica importante de esta variedad. Por lo general la yema nace a 1 mm de la cicatriz foliar y termina entre 1 mm y 3 mm abajo del anillo de crecimiento, la cicatriz foliar es protuberante. (6)

C. **FOLLAJE:** La vaina de la hoja es verde claro con escasa serosidad y afate. Se adhiere parcialmente al tallo. La aurícula es de dos tipos en la misma lámina; una calcaliforme y la otra transicional ascendente con presencia de vellos en el margen. El último cuello visible es verde semi corrugado velludo. La forma de la lígula es deltoide con rombo. (6)



Fuente: elaboración propia, 2001.

Figura 3 Fotografía variedad SP 79-2233 a los 5 meses de edad.

2.1.17.3 VARIEDAD CP 72-2086

Posee un entrenudo obconoidal de color amarillo claro verdoso de aproximadamente 4cm de diámetro, anillo de crecimiento prominente y yemas de forma redonda con poro germinativo central (forma

de globo). La lígula al nivel del último cuello visible es de forma creciente con centro ancho. Esta variedad se reconoce a cierta distancia durante su etapa de crecimiento por un color verde claro rojizo presente sobre las vainas de sus hojas. (6)



Fuente: elaboración propia, 2001.

Figura 4 Fotografía variedad CP 72-2086 a los 5 meses de edad.

2.1.17.4 VARIEDAD PGM 89-968

Esta variedad posee un entrenudo cilíndrico con una disposición ligera en zig-zag, es de color verde pálido, con un diámetro de aproximadamente 4 cm y de 10 cm a 15 cm de largo. Posee una abundante capa cerosa en el entrenudo y en las vainas de las hojas. Las hojas son largas y erectas de un color verde oscuro. Posee yemas ovaladas y anchas con base redonda, aletas estrechas bien definidas y el poro germinativo no está muy bien definido. Es una variedad temprana. (9)

2.1.17.5 VARIEDAD CG 96-59

Posee un entrenudo de color rojizo, con una abundante capa cerosa, poseen un diámetro de aproximadamente de 4.5 cm y unos 12 cm de largo, es de hábito ligeramente postrado. Las hojas son erectas de color verde claro y abundantes lo que permite un buen cierre además poseen abundante cera en la vaina.

La yema es de forma redonda con aletas anchas bien definidas y de color café claro, el poro germinativo está bien definido. Es una variedad intermedia, figuras 5 y 6.



Fuente: elaboración propia, 2001.

Figura 5 Fotografía variedad CG 96-59 a los 5 meses de edad.



Fuente: elaboración propia, 2001.

Figura 6 Fotografía variedad PGM 89-968 a los 5 meses de edad.

2.2 MARCO REFERENCIAL

2.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ENSAYO

La finca Manglares esta ubicada en el municipio de La Gomera, en el departamento de Escuintla, a 150 kilómetros de la ciudad capital, a una altura de 5 m sobre el nivel del mar. Se encuentra en la latitud norte 13° 58'24", longitud oeste 91° 12'4". Colinda al norte con la finca Nuevo San Carlos y finca las Cuevas, al este con la finca el Hiladero, al sur con el océano Pacífico, al oeste con la finca Vietnam y al noroeste con la finca Las Delicias. El acceso a la Finca Manglares es por carretera asfaltada desde la Ciudad de Guatemala hasta La Gomera, en dónde se toma un camino de terrasería hacia el casco de la finca (10 km).

(11)

2.2.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

El clima de la región según Thornthwaite, presenta las siguientes características: cálido, sin estación fría bien definida, húmedo y con invierno seco. La precipitación media anual es de 2,500 mm, la temperatura media anual es de 22 °C y la humedad relativa media anual del 60 % a 70 %. (7)

3.2.3 CONDICIONES EDÁFICAS

La finca Manglares posee suelos del orden Mollisol, estos suelos predominan en el cuerpo y pie de los abanicos aluviales. En el cuerpo de los abanicos el clima es un poco más seco y las posibilidades de lavado disminuyen, por ello la reacción de los suelos es ligeramente ácida y tiende a neutra, la saturación de bases es moderada. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es generalmente alta, características dependientes del contenido de materia orgánica y del tipo de arcilla, en este medio la materia orgánica no es muy alta, pero la arcilla predominante es de tipo 2:1, además, es factible que aún se encuentren contenidos apreciables de alófana.

El contenido de potasio es alto en la mayoría de estos suelos lo mismo que el calcio y el magnesio. En la parte distal y cerca del mar se pueden presentar algunos suelos salinos, pero parecen que no afecta los cultivos esta saturación de sodio alta, no tanto por la cantidad de sodio, sino por la baja capacidad de intercambio que presentan los suelos arenosos, así pequeños contenidos de sodio pueden saturar más del 15 % Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) que es el límite para considerar sódico un suelo. (12)

El gran grupo de los Hapludolls se presentan principalmente en el cuerpo y parte distal de los abanicos que conforman la llanura aluvial de pie de monte. Son principalmente de origen aluvial y coluvio-aluvial de materiales de origen volcánico retransportado y retrabajado, procesos que permiten mayor alteración de los materiales por lo cual sus texturas son variables, aunque predominan las francas y franca finas, la permeabilidad y la aireación de estos suelos es muy buena, la retención de humedad es alta favorecida por la cantidad de materia orgánica, materiales amorfos y por encontrarse en una pendiente casi plana. (12)

Los procesos erosivos tanto hídricos como eólicos son menos intensos en estos suelos, la profundidad efectiva no presenta limitantes que puedan obstaculizar el crecimiento de las raíces, en algunos casos la profundidad está limitada por la presencia de niveles freáticos altos especialmente en épocas lluviosas. La profundidad efectiva es superficial a moderadamente profunda, limitada por la presencia de capas arenosas con baja capacidad de retención de humedad lo cual dificulta el desarrollo de las raicillas. La estructura es de grano simple a blocosa muy débilmente desarrollada y la consistencia es muy suelta, estas dos características se presentan fundamentalmente por el bajo contenido de materia orgánica y de materiales arcillosos. (12)

Estos suelos deben laborarse muy poco, su preparación debe hacerse con rastras profundas y de preferencias labranzas mínimas o no labranza. Deben permanecer con coberturas vegetales o con residuos de

cosecha en la superficie, para evitar la erosión eólica, el riego es preferiblemente hacerlo por aspersión, con bajos caudales y altas frecuencias para que los suelos no se resequen demasiado. (12)

2.2.4 REGIÓN FISIAGRÁFICA

La finca Manglares se encuentra ubicado en la región fisiográfica denominada Llanura Costera del Pacífico. Dentro de esta provincia del sur está comprendido el material aluvial del cuaternario que cubre los estratos de la plataforma continental. Los efluvios que corren desde el altiplano volcánico al cambiar su pendiente han depositado grandes cantidades de materiales que han formado esta llanura de poca ondulación y de aproximadamente 50 km. de ancho a todo lo largo de la costa del Pacífico. La cuenca hidrológica en la cual se encuentra ubicada la finca Manglares es en la cuenca del río Achíguate. (12)

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la respuesta a cuatro dosis de nitrógeno en cinco variedades de caña de azúcar que han demostrado tener la capacidad de fijar nitrógeno biológicamente.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Determinar el efecto diferencial a nitrógeno en cinco variedades de caña de azúcar en base a la producción de caña por hectárea y concentración de azúcar.
2. Determinar la dosis óptima de nitrógeno en cada variedad.
3. Cuantificar la extracción total de nitrógeno de las variedades en estudio.
4. Determinar los requerimientos de la utilización de nitrógeno en cada variedad.

4. HIPÓTESIS

Ha_A: Al menos una de las variedades en estudio presenta diferencias significativas en su rendimiento.

Ha_B: Al menos uno de los niveles de nitrógeno presenta una respuesta diferente en cultivo.

Ha_{AB}: Existen diferencias significativas en la interacción de la variedad y la cantidad de nitrógeno aplicada.

5. METODOLOGÍA

5.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

El experimento se realizó en el sector II de la Finca Manglares, lote 480201 localizada en la parte baja de la zona cañera de Guatemala, en el municipio de la Gomera, departamento de Escuintla, ver anexo figura 10A.

5.2 MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar con un arreglo en parcelas divididas para cinco variedades y cuatro dosis de N con en 3 repeticiones. La parcela grande (factor A) estuvo conformada por las variedades y las subparcelas (factor B) por los niveles de nitrógeno. La unidad experimental básica estuvo conformada por 5 surcos (1.5 m entre surcos) de 10 m de largo = 75 m² tal como se muestra en la figura 9A.

5.2.2 MODELO ESTADÍSTICO

$$Y_{ijk} = M + A_i + B_j + AB_{ij} + R_k + E_{ik} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta

M = Efecto de la media general

A_i = Efecto del i -ésimo tratamiento asociado a la parcela grande (factor A)

B_j = Efecto del j -ésimo tratamiento asociado a la parcela pequeña (factor B)

AB_{ij} = Efecto de la interacción de la parcela grande y pequeña (AB)

R_k = Efecto del k -ésimo bloque

E_{ik} = Error experimental asociado a la parcela grande

E_{ijk} = Error experimental asociado a la parcela pequeña

5.2.3 TRATAMIENTOS

Parcela grande (factor A)	Parcela pequeña (factor B)
Variedades:	Dosis de nitrógeno/hectárea
SP 79-2233	T1 = 0 kg N
PR 87-2080	T2 = 50 kg N
PGM 89-968	T3 = 100 kg N
CP 72-2086	T4 = 150 kg N
CG 96-59	

5.2.4 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA

5.2.4.1 PRODUCCIÓN DE CAÑA POR HECTÁREA

Se cosecharon y pesaron los 5 surcos de cada unidad experimental (parcelas completas) a los 10.3 meses de edad, el corte y despunte de la caña fueron hechos de la misma forma que en que se hace comercialmente.

5.2.4.2 CONCENTRACIÓN DE AZÚCAR (% SACAROSA)

En el momento de la cosecha se tomaron al azar 5 tallos molederos de los 3 surcos centrales de cada parcela para los cuales fueron analizados en el laboratorio de CENGICAÑA para la determinación del porcentaje de sacarosa.

5.2.4.3 EXTRACCIÓN TOTAL DE NITRÓGENO

Para estimar la extracción total de nitrógeno primeramente se midió el peso de la biomasa aérea total. Los cogollos y hojas verdes fueron pesados un día antes de la cosecha en los tres surcos centrales de cada parcela y las hojas secas fueron recolectadas antes de que cayeran de forma natural a partir de los 7 meses de edad hasta el momento de la cosecha., las mismas se pesaron cada vez y se tomaron muestras correspondientes para los análisis de porcentaje de humedad y contenido de nitrógeno, las muestras de los

tallos fueron tomadas en el momento de la cosecha. Muestras representativas de cada porción pesada se llevaron al laboratorio de CENGICAÑA para la determinación de humedad de la muestra y la concentración de nitrógeno. Con el peso seco total de cada sección por hectárea y la concentración de nitrógeno correspondiente (% en peso) se procedió a calcular los kilogramos de nitrógeno extraídos por cada parte diferenciada por hectárea (ps de cada sección kg/ha x % nitrógeno = kg N/ha extraído), la suma de nitrógeno extraído en todas las secciones equivale a la extracción total de nitrógeno por el cultivo en el área correspondiente (N total = kg N/ha en tallos + kg N/ha en hojas secas + kg N/ha en hojas verdes y cogollos)

5.2.4.4 REQUERIMIENTOS DE NITRÓGENO (REQN)

El requerimiento de nitrógeno se obtuvo dividiendo el nitrógeno total extraído por cada variedad entre su producción de toneladas de caña por hectárea (N total /T caña) dando por resultado los kilogramos de N requeridos para producir una tonelada de caña.

5.3 MANEJO AGRONÓMICO DEL ENSAYO

5.3.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO

En el área en la se que se llevó a cabo el experimento se realizó un doble paso de rastra en forma perpendicular y luego se hicieron los surcos por medios mecanizados a una distancia de 1.5 m entre surcos y una profundidad de 30 cm.

5.3.2 SIEMBRA DE VARIEDADES

Para la siembra de las variedades se utilizaron 60 paquetes de semilla comercial por cada variedad. Cada paquete de semilla contó con 30 estacas o esquejes de aproximadamente de 40 cm a 50 cm de largo y cada esqueje posee de 3 a 5 yemas. En cada surco de 10 m de largo se distribuyeron los 30 esquejes de un paquete de semilla, colocándolos en el fondo del surco en cadena simple, y luego se cubrieron manualmente.

5.3.3 FERTILIZACIÓN BASE

Al momento de la siembra se aplicó fósforo y potasio. Los mismos fueron aplicados en el fondo del surco, la dosis de fósforo fue de 100 kg de P_2O_5 /ha, utilizando triple superfosfato y 100 kg de K_2O /ha.

5.3.4 FERTILIZACIÓN NITROGENADA

El nitrógeno se aplicó en dosis completa según los niveles correspondientes a cada tratamiento a los 50 días después de la siembra aplicándolo en la banda (al lado del surco) e incorporado manualmente, se utilizó urea (46 % N) como fuente de nitrógeno en todos los tratamientos.

5.3.5 CONTROL DE MALEZAS

Para el control de malezas se aplicó: Ametrina, Pendimentalina, y 2,4-D, también se procedió a realizar arranques manuales de malezas en donde fue necesario.

5.3.6 RIEGO

El área del experimento contó con 2 horas de riego por aspersión (120 mm lámina aplicada) cada 20 días. El riego se aplicó desde el momento de la siembra en el mes de abril, hasta que se estableció la época de lluvias.

5.3.7 COSECHA

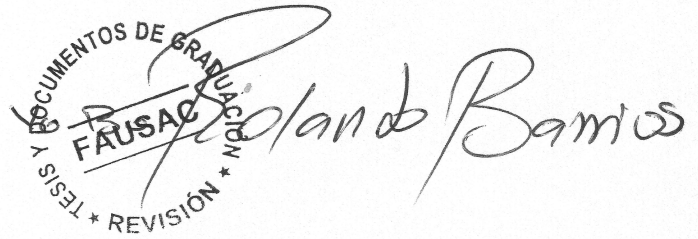
La cosecha se realizó a los 10.3 meses de edad y para la realización de la cosecha las parcelas fueron quemadas tal como se hace con la caña comercial, el corte fue de forma manual con un despunte normal y se procedió a pesar el total de caña producida en cada parcela.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. AZASGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala, Guatemala). 1999. La agroindustria azucarera de Guatemala. Guatemala. v. 1, 12 p.
2. Baldani, LLD *et al.* 1997. Bactérias fitopatogénicas fixadoras de N₂ em associação com plantas. Brasil, Embrapa-CNPAB. 25 p. (Documento no. 41).
3. Boddey, RM; Urquiaga, S; Döbereiner, J. 1995. Biological nitrogen fixation associated with sugarcane. *Sugar Journal* 2(1):34-37.
4. Campo, ZR; Morales, BF; Pérez, OG. 1976. Variedades de caña de azúcar en Cuba. La Habana, Cuba, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de la Academia de Ciencias de Cuba. 80 p.
5. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala). 1999. Informe anual 1998-1999. Guatemala. p. 34-35.
6. _____. 2000. Variedades de expansión y promisorias de caña de azúcar para la agroindustria azucarera de Guatemala. Guatemala. p. 3-9.
7. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional forestal. 42 p.
8. Dillewijn, CV. 1975. Botánica de la caña de azúcar. 2 ed. La Habana, Cuba, Pueblo y Educación. p. 257-308.
9. Erazo, S. 2001. Descripción de características de variedades de caña de azúcar. Guatemala, Ingenio Magdalena. 2 p.
10. González-Ríos, P. 1966. Estudio sobre las variedades de caña de azúcar en Puerto Rico. Puerto Rico, Universidad de Puerto Rico, Estación Experimental Agrícola, Boletín no. 199. 203 p.
11. IGM (Instituto Geográfico Militar, Guatemala). 1985. Mapa topográfico de Sipacate; hoja cartográfica no. 1957-I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
12. Ingeniería del Campo Limitada, Guatemala. 1994. Estudio semidetallado de suelos de la región cañera del sur de Guatemala. Guatemala, CENGICAÑA. 242 p.
13. Odum, EP. 1969. Ecología. 2 ed. Trad. Carlos Gerhard Ottenwaelder. México, Interamericana. 412 p.
14. Orozco, H; Soto, GJ. 1996. Morfología de las variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) importantes en Guatemala y de variedades en evaluación

regional grupo CGVO. Escuintla, Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Documento Técnico no. 7, 36 p.

15. Pérez, O; Hernández, F. 1998. Avances en el programa de fertilización de la caña de azúcar. *In* Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala (I., 1997, Guatemala). Guatemala, CENGICAÑA. p. 86-95.
16. Pérez, O. *et al.* 1999. Potencial de la fijación biológica de nitrógeno en variedades de caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, CENGICAÑA / CONCYT. 19 p.
17. Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JM. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
18. Subirós, RF. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. San José, Costa Rica, EUNED. p. 151-174.
19. Sumner, ME. 1981. Sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) aplicado a caña de azúcar. Georgia, USA, University of Georgia. p. 299-311.
20. Sutton, DB. 1995. Fundamentos de ecología. 3 ed. México, Limusa. 292 p.


Rolando Barrios

10. ANEXOS

FINCA: Manglares
 LOTE No. 480201

Diseño experimental: Bloques al azar con un arreglo en parcelas divididas.

Unidad experimental: 5 surcos de 10 m de largo 1.5 m entre surco.

Bloques = Repeticiones = 3

Dosis de Nitrógeno

T1 = 0 kg N/ha (testigo)

T2 = 50 kg N/ha

T3 = 100 kg N/ha

T4 = 150 kg N/ha

Variedades:

A = SP 79-2233

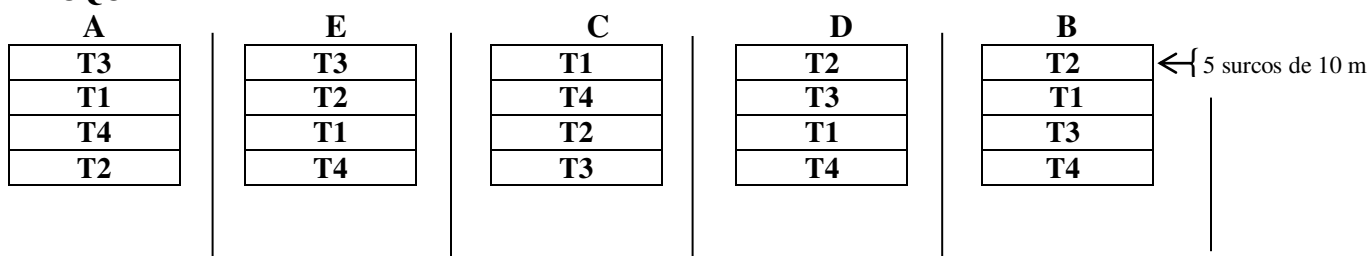
B = PR 87-2080

C = PGM 89-968

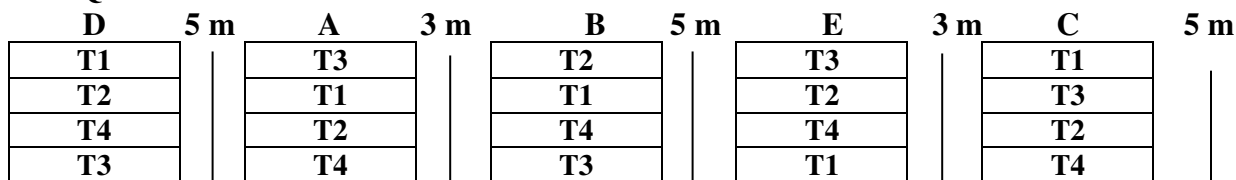
D = CP 72-2086

E = CG 96-59

BLOQUE I



BLOQUE II



BLOQUE III

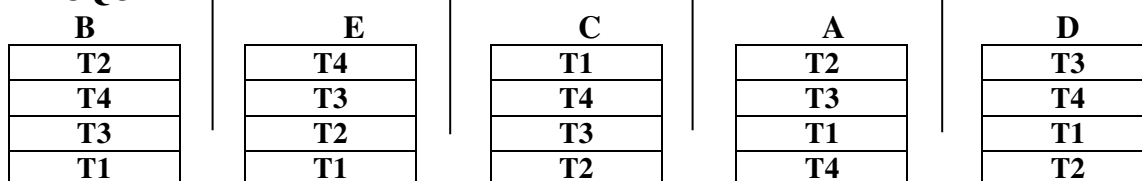
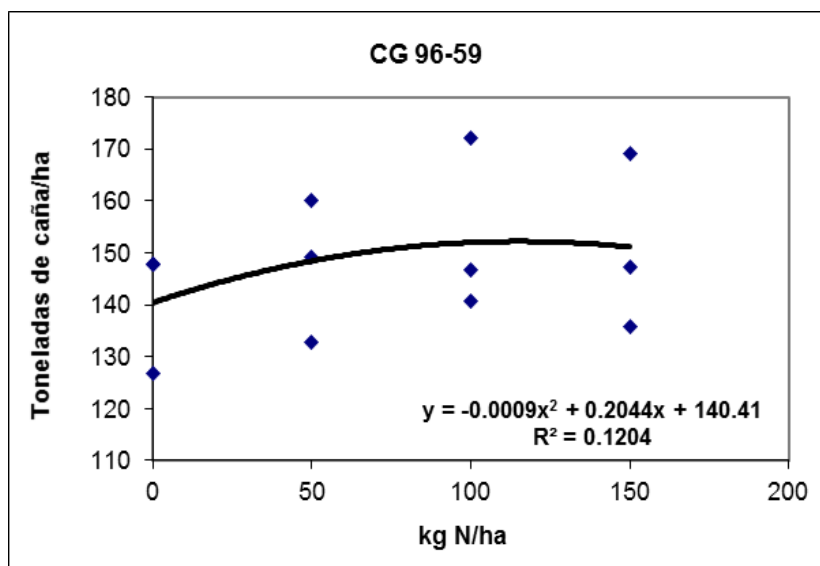


Figura 8A Distribución de Variedades y Dosis de Nitrógeno en Campo

Cuadro 18A. Análisis Químico del Suelo en el Área del Ensayo

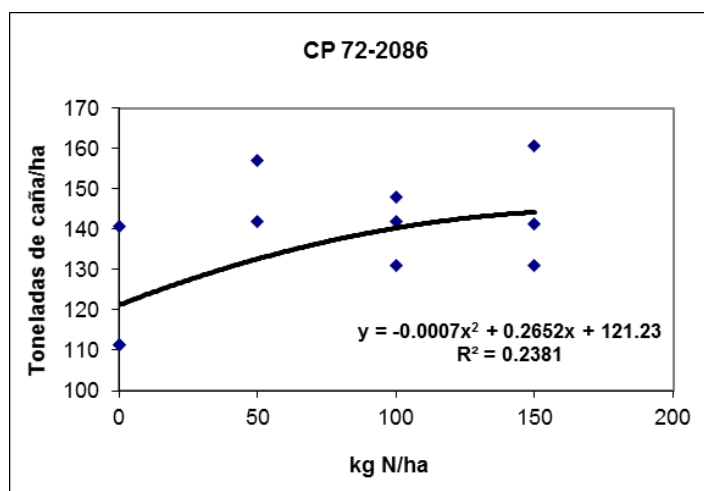
FINCA	LOTE	REPETICION	pH NaF	pH agua	% M.O.	meq/100g suelo			(ppm)				
						Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Fe	Mn
Manglares	480201	1	8.15	6.75	1.44	18.22	8.00	1.75	26.09	0.60	0.65	1.30	7.45
Manglares	480201	2	8.23	6.80	1.96	16.79	6.73	1.72	32.42	0.60	0.85	1.00	7.65
Manglares	480201	3	8.07	6.72	1.34	18.12	6.02	1.55	18.24	0.75	0.75	1.05	6.65

Fuente: Laboratorio de suelos CENGICAÑA, 2001.
Solución extractora Carolina del Norte



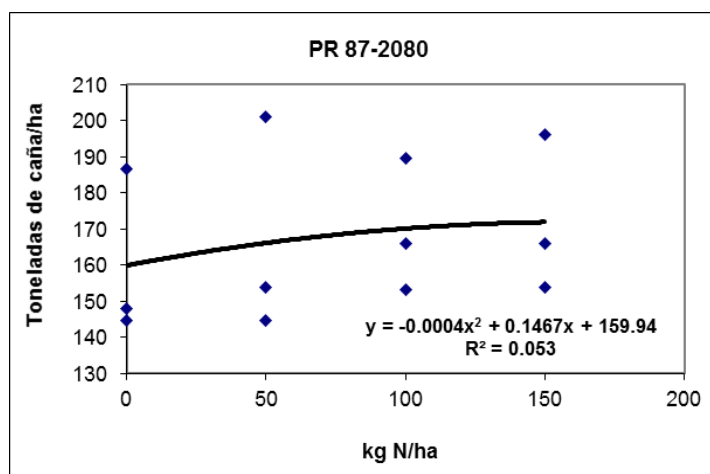
Fuente: elaboración propia, 2002.

Figura 9A Gráfica de Análisis de Regresión de T caña/ha y kg N/ha Variedad CG 96-59



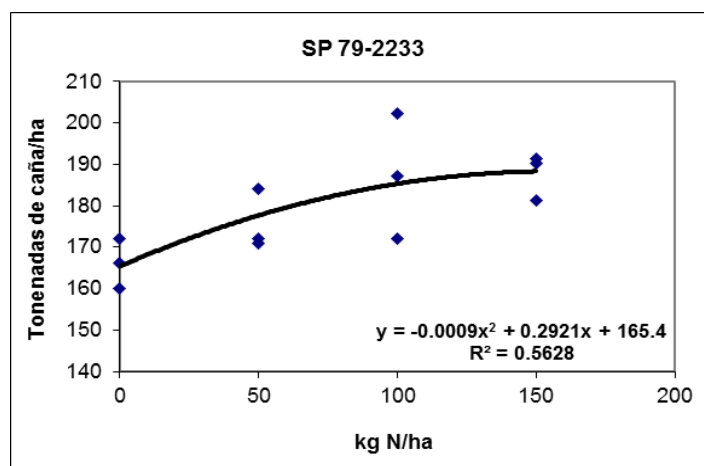
Fuente: elaboración propia, 2002.

Figura 10A Gráfica de Análisis de Regresión de T caña/ha y kg N/ha Variedad CP 72-2086



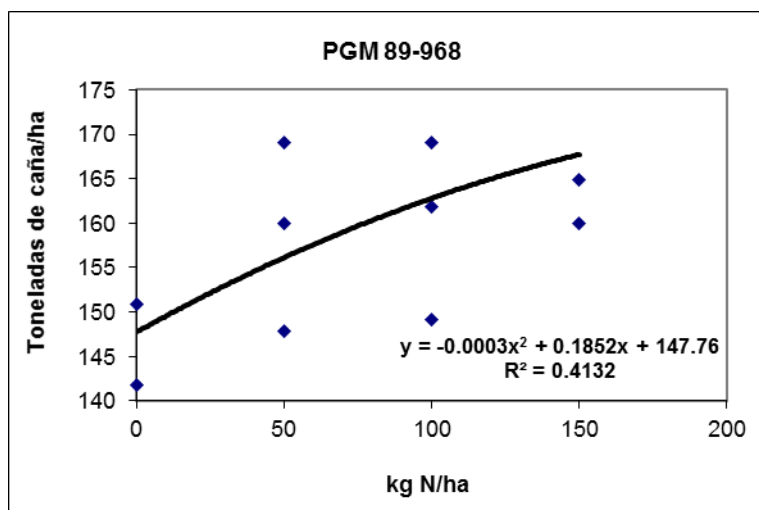
Fuente: elaboración propia, 2002.

Figura 11A Gráfica de Análisis de Regresión de T caña/ha y kg N/ha Variedad PR 87-2080



Fuente: elaboración propia, 2002.

Figura 12A Gráfica de Análisis de Regresión de T caña/ha y kg N/ha Variedad SP 79-2233



Fuente: elaboración propia, 2002.

Figura 13A Gráfica de Análisis de Regresión de T caña/ha y kg N/ha Variedad PGM 89-968

Cuadro 19A Medio de Cultivo LGI-P para Aislamiento de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno

100 g azúcar cristal.
 2 ml K_2HPO_4 sol 10 %
 6 ml KH_2PO_4 sol 10 %
 2 ml $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ sol 10 %
 2 ml $CaCl_2 \cdot H_2O$ sol 1 %
 2 ml $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ sol 0.1 %
 1 ml $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ sol 1 %
 5 ml Azul de bromotimol sol 0.5 % en 0.2N de KOH
 1 ml Vitamina para medio de cultivo
 Completar para 100 ml con agua destilada y ajustar pH a 5.5 con ácido acético solución al 1 %

AGAR

Sólido 25 g de agar por litro de medio de cultivo.
 Semi-sólido 1.6 g de agar por litro de medio de cultivo.

VITAMINA PARA MEDIO DE CULTIVO

10 mg de Biotina
 20 mg de Piridoxol-HCL
 100 ml de agua.
 Disolver en baño-maría.

Cuadro 20A Medio de Cultivo JNFB para Aislamiento de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno

5 g Ácido Málico.
 6 ml K₂HPO₄ sol 10 %
 18 ml KH₂PO₄ sol 10 %
 2 ml MgSO₄ 7H₂O sol 10 %
 1 ml NaCl sol 10 %
 2 ml CaCl₂ 2H₂O sol 1 %
 2 ml azul de bromotimol al 0.5 % en 0.2N de KOH
 2 ml solución de micronutrientes para medio de cultivo
 4 ml FeEDTA sol 1.64 %
 4.5 g KOH
 1 ml Vitamina para medio de cultivo.
 Completar para 1000 ml con agua destilada, ajustar el pH a 5.8 y agregar por último el agar.

AGAR

Sólido 17 g por litro de medio de cultivo, colocar 20 mg de extracto de levadura.
 Semi-sólido 1.9 g por litro de medio de cultivo, disolver antes de la distribución.

SOLUCION DE MICRONUTRIENTES PARA MEDIO DE CULTIVO

0.200 g NaMoO₄ 2 H₂O
 0.235 g MnSO₄ H₂O
 0.280 g H₃BO₃
 0.008 g CuSO₄ 5H₂O
 0.024 g ZnSO₄ 7H₂O
 Completar para 200 ml con agua destilada
 (ref. Baldani, V.L.D. 1980. Tese)

VITAMINA PARA MEDIO DE CULTIVO

10 mg de Biotina
 20 mg de Pyridoxol-HCL
 100 ml de agua.
 Disolver en baño-maría.

Cuadro 21A Medio de Cultivo NFB para Aislamiento de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno

5 g Ácido Málico.
 5 ml K₂HPO₄ sol 10 %
 2 ml MgSO₄ 7H₂O sol 10 %
 1 ml NaCl sol 10 %
 2 ml CaCl₂ 2H₂O sol 1 %
 2 ml azul de bromotimol al 0.5% en 0.2N de KOH
 2 ml solución de micronutrientes para medio de cultivo
 4 ml Fe EDTA sol 1.64 %
 4.5 g KOH
 1 ml Vitamina para medio de cultivo
 Completar para 1000 ml con agua destilada, ajustar el pH a 6.5 y agregar por último el agar.

AGAR

Sólido 15 g de agar por litro medio de cultivo, colocar 50 mg de extracto de levadura por litro de medio de cultivo.
 Semi-sólido 1.8 de agar por litro de medio de cultivo.

VITAMINA PARA MEDIO DE CULTIVO

10 mg de Biotina
 20 mg de Pyridoxol-HCL
 100 ml de agua.
 Disolver en baño-maría.

ref. Baldani V.L.D. & Dobereiner J. 1980.

Host plant specificity in the infection of cereals with azospirillum spp soil Biol. Biochem.12:433-439.

SOLUCION DE MICRONUTRIENTES PARA MEDIO DE CULTIVO

0.200 g NaMoO₄ 2H₂O
 0.235 g MnSO₄ H₂O
 0.280 g H₃BO₃
 0.008 g CuSO₄ 5H₂O
 0.024 g ZnSO₄ 7H₂O
 completar para 200 ml con agua destilada
 (ref. Baldani, V.L.D. 1980. Tese.)

Cuadro 22A Medio de Cultivo PAPA para aislamiento de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno

200 g papa
 2.5 g ácido Málico
 2.5 g azúcar cristal
 2 ml solución de micronutrientes para medio de cultivo
 1 ml solución de vitamina para medio de cultivo.

Procedimiento: pesar 200 g de papa, descartar, lavar, cortar y hervir durante media hora. Paralelamente colocar 2.5 g de ácido málico en 50 ml de agua destilada con 2 gotas de azul de bromotimol sol. 0.5 % en 0.2N de KOH, colocando gotas de KOH hasta fijar el pH de 6.8 -7.0 colocar 2.5 g de azúcar cristal, 2 ml de micronutrientes para medio de cultivo y 1 ml de vitamina para medio de cultivo.

Filtrar la papa hervida con gasa y algodón, éste filtrado mezclarlo con la solución de ácido málico, azúcar cristal, micronutrientes y vitaminas, completar para 1000 ml con agua destilada y colocar por último el agar.

Observación. Para preparar medio de papa con congo rojo, usar 5 ml de solución de congo rojo sol. 0.25 % por litro de medio de cultivo.

AGAR

Sólido 15 g de agar por cada litro de medio de cultivo.
 Semi-sólido 1.8 g de agar por litro de medio de cultivo.

Referencia

Baldani V.L.D. & Dobereiner J. 1980.

Host plant specificity in the infections of cereals with Azospirillum spp soil Biol. Biochem.12:433-439.

SOLUCION DE MICRONUTRIENTES PARA MEDIO DE CULTIVO

0.200 g $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

0.235 g $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

0.280 g H_3BO_3

0.008 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

0.024 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

completar para 200 ml con agua destilada

(ref. Baldani, V.L.D. 1980. Tese.)

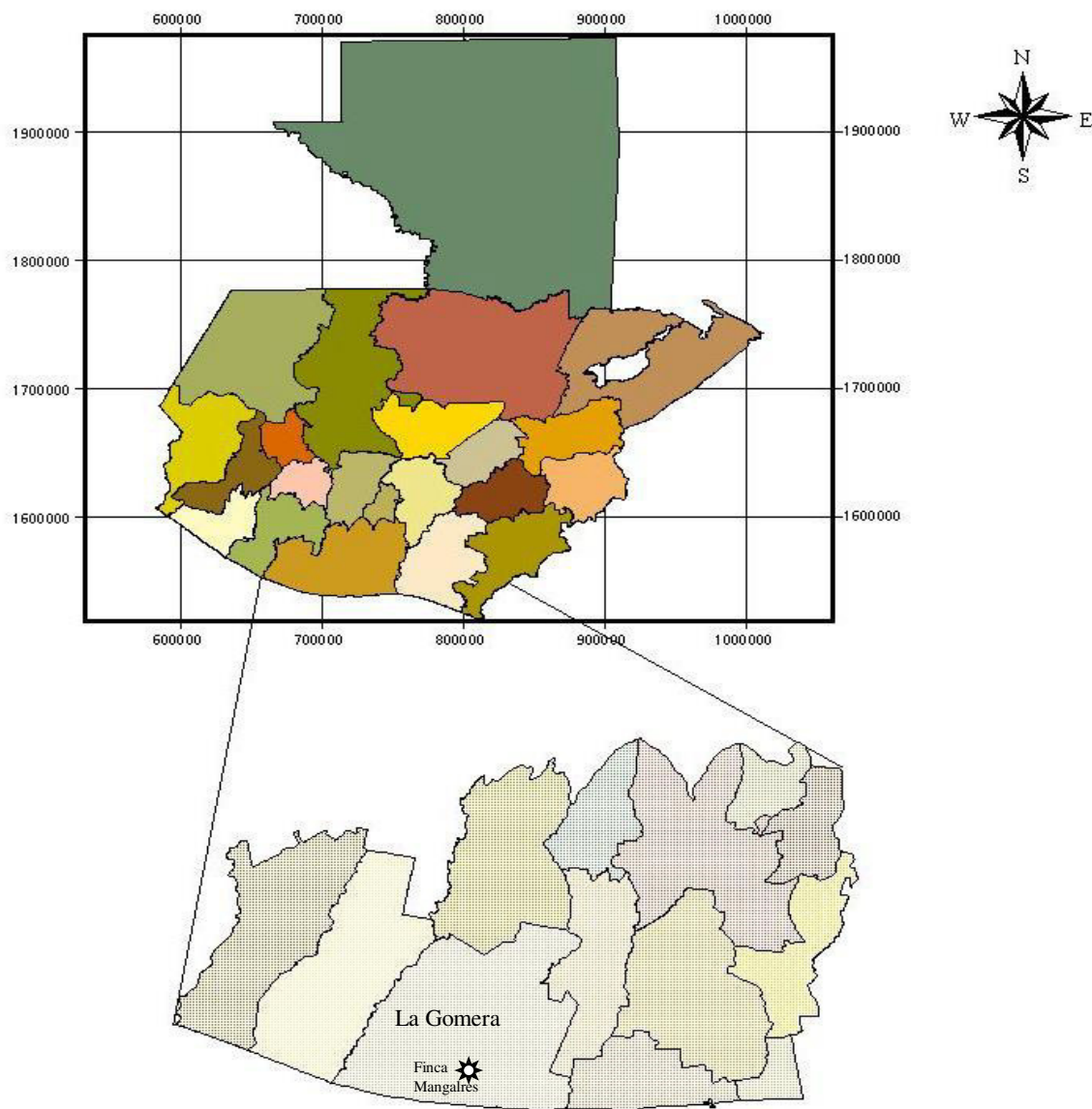
VITAMINA PARA MEDIO DE CULTIVO

10 mg de Biotina

20 mg de Pyridoxol-HCL

100 ml de agua.

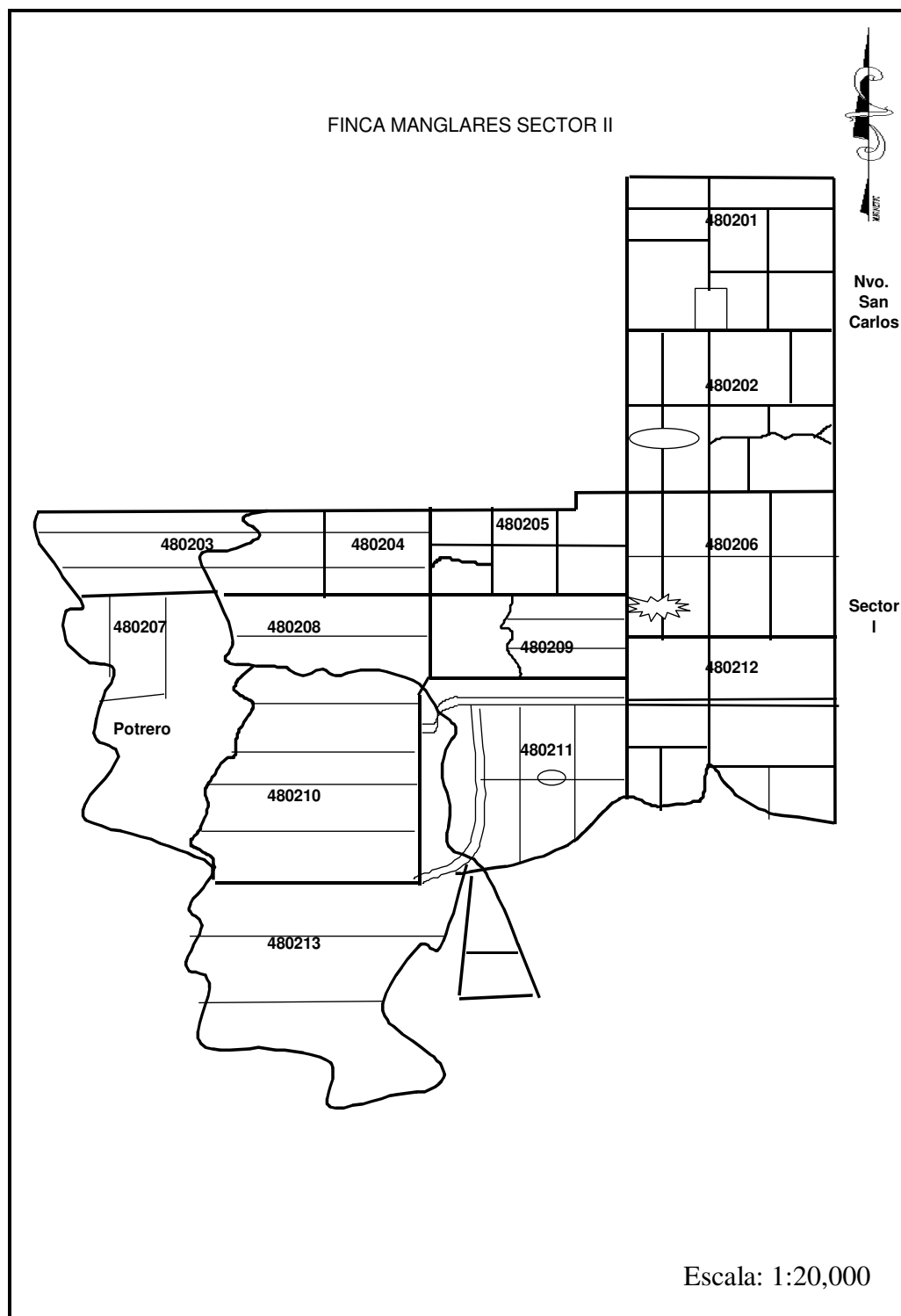
Disolver en baño-maría.



DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA

Fuente: Depto. Obra Civil Ingenio Magdalena S.A, 2001.

Figura 14A Localización del Área Experimental



Fuente: Depto. De Obra Civil Ingenio Magdalena S.A, 2001.

Figura 15A Mapa de Finca Manglares Sector II



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA -FAUSAC-
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES -IIA-**



REF. Sem. 04/2017

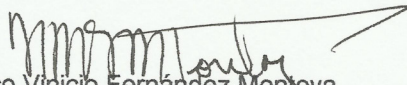
LA TESIS TITULADA: "RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN CINCO VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*) CON POTENCIAL DE FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITROGENO, FINCA MANGLARES, LA GOMERA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A."

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: HUGO LEONEL GONZÁLEZ VELA

CARNE: 9619914

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Erick Motta
Dr. Edin Francisco Orozco Miranda
Ing. Agr. José Jesús Chonay

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.


Dr. Marco Vinicio Fernández Montoya
A S E S O R


Ing. Agr. Ovidio Pérez Ixchop
A S E S O R


Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
DIRECTOR DEL IIA

I M P R I M A S E


Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
D E C A N O



WNR/nm
c.c. Archivo