

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE  
INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

EVALUACIÓN DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL RENDIMIENTO DE  
VARIEDADES COMERCIALES Y PROMISORIAS DE *Saccharum officinarum L.*,  
Poaceae, CAÑA DE AZÚCAR EN PLANTÍA, FINCA SANTA JULIA, INGENIO TULULÁ,  
RETALHULEU.

T.P.A. LUIS MIGUEL DE LEÓN FLORES

CARNÉ: 201340239

ING. AGR. EDGAR GUILLERMO RUIZ RECINOS

SUPERVISOR-ASESOR

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ, MAYO DE 2023

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE  
SUROCCIDENTE**

Lic. Luis Carlos Muñoz López Director en Funciones

**REPRESENTANTE DE LOS PROFESORES**

M.Sc. Edgar Roberto Del Cid Chacón Vocal

**REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC**

Lic. Vilser Josvin Ramírez Robles Vocal

**REPRESENTANTES ESTUDIANTILES**

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel Vocal

PEM Y TAE. Rony Roderico Alonzo Solís Vocal

## **COORDINACIÓN ACADÉMICA**

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar  
Coordinador Académico

Dr. Álvaro Estuardo Gutiérrez Gamboa  
Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

M.A. Edín Aníbal Ortiz Lara  
Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

MSc. José Norberto Thomas Villatoro  
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo  
Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales  
Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes  
Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Lic. Sergio Román Espinoza Antón  
Coordinador Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales Abogacía y  
Notariado

Lic. José Felipe Martínez Domínguez  
Coordinador de Área

### **CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA**

Lic. Néstor Fridel Orozco Ramos  
Coordinador de las carreras de Pedagogía

M.S. Juan Pablo Ángeles Lam  
Coordinador Carrera Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la  
Comunicación

## ACTO QUE DEDICO

**A:**

**DIOS:** Por ser misericordioso, bendecirme con sabiduría y estar conmigo en todo momento, hasta llegar a cumplir una meta más en la etapa de mi vida que es terminar la carrera como profesional, la honra y la gloria por siempre para El.

**MIS PADRES:** **Santos De León Pelico y María Cristina Flores Mis** por ser el motor que me inspira y motiva a seguir adelante ante cualquier adversidad que se presentaba en mi vida, los amo con toda mi alma, son mi más grande orgullo.

**MIS HERMANOS:** **Oscar Huberto De León Flores, María Fernanda De León Flores, Deysi Marilú De León Flores y Edgar Daniel De León Flores** por estar conmigo en todo momento y apoyarme en esta etapa de mi vida.

**A MI HIJO:** **Juan Luis De León Perez** por ser ese motorcito que llegó a mi vida a darle fuerza para seguir luchando y superar todos los obstáculos puestos en el camino, niño que le dio sentido a mi vida.

**A MI ESPOSA:** **Mildred Raquel Perez Osorio** por ser parte de mi vida y asumir juntos un reto tan importante, ser padres.

**AMIGOS:** Principalmente a **Eric Rodolfo Veliz y Rosario Maldonado** por haberme apoyado con trabajo y darme permiso de estudiar la carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical. A **José Pérez** por motivarme y preocuparse en cada momento durante la etapa de estudio.

## AGRADECIMIENTOS

**Al Centro Universitario de Suroccidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala:** por ser mi Alma Mater y darme la oportunidad de ser profesional.

**Al Claustro de la Carrera de Agronomía Tropical:** por esforzarse y tener paciencia en transmitir su valioso conocimiento para ser profesionales de éxito.

**A mi asesor:** Ing. Agr. Edgar Guillermo Ruiz Recinos, por su asesoramiento, sabiduría y recomendaciones durante el proceso del EPSAT y en la elaboración del documento de graduación para Ingeniero Agrónomo.

**Ingenio Tululá:** Por haberme brindado la oportunidad, de trabajar, estudiar y culminar esta etapa de mi carrera.

**A Ing. Agr. Felipe Sandoval:** por dar la oportunidad a futuros profesionales en el área agrícola de ingenio Tululá S.A. – Industrias Licoreras de Guatemala, y su apoyo incondicional durante el proceso del EPSAT.

**A Ing. Agr. Alejandro Velázquez:** Por dar la oportunidad de realizar el ejercicio profesional supervisado en el departamento de agronomía, del área agrícola y por su apoyo y recomendaciones durante el proceso de práctica.

**NOTA:** Llega una etapa de felicidad a tu vida donde muchas personas te estuvieron apoyando para lograr la meta anhelada que una hoja de papel se hace pequeña para agradecer a cada una por nombre, desde el fondo de mi corazón le doy gracias a todas esas personas que no pude llegar a mencionar en los agradecimientos, que me apoyaron en toda esta etapa de mi vida hasta cumplir mi meta.

## INDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY .....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
1. Marco conceptual .....	3
1.1. El cultivo de caña de azúcar .....	3
1.2. Clasificación taxonómica de la caña de azúcar .....	3
1.3. Características agronómicas de la caña de azúcar .....	4
1.4. Requerimientos ambientales de la caña de azúcar .....	5
1.4.1. Suelos.....	5
1.4.2. Régimen térmico .....	5
1.4.3. Radiación solar.....	6
1.4.4. Disponibilidad hídrica .....	6
1.5. Fases fenológicas de la caña de azúcar .....	7
1.5.1. Etapa de germinación o emergencia .....	7
1.5.2. Etapa de macollamiento o ahijamiento .....	8
1.5.3. Etapa de rápido crecimiento .....	8
1.5.4. Etapa de maduración .....	9
1.6. Variedades comerciales de caña de azúcar en la agroindustria azucarera de Guatemala.....	9
1.6.1. Variedades comerciales de caña de azúcar en Ingenio Tzulá S.A. ....	11
1.7. Descripción de las variedades de caña de azúcar evaluadas .....	12
1.7.1. Variedad comercial de caña CP72-2086 .....	12

1.7.2. Variedad comercial de caña CG98-78 .....	13
1.7.3. Variedad comercial de caña CG00-033 .....	14
1.7.4. Variedad promisorio de caña CG02-163.....	15
1.7.5. Variedad promisorio de caña CG04-09514.....	16
1.8. Requerimientos nutricionales de la caña de azúcar .....	18
1.8.1. Disponibilidad del nitrógeno en el suelo .....	19
1.8.2. Importancia del nitrógeno para las plantas .....	21
1.8.3. Mineralización de nitrógeno en el suelo.....	22
1.8.4. Asimilación del nitrógeno en plantas .....	23
1.8.5. Fertilizante urea como fuente del nutriente nitrógeno .....	24
1.8.6. Características físicas y químicas del fertilizante urea .....	24
1.8.7. Comportamiento del nitrógeno en el suelo .....	25
2. Marco referencial.....	26
2.1. Localización y ubicación geográfica del experimento de campo .....	26
2.2. Descripción ecológica del área en estudio.....	27
2.3. Antecedentes de investigaciones relacionadas .....	28
2.3.1. Respuesta de variedades nuevas de caña de azúcar a nitrógeno en plantía en un suelo molisol de la zona cañera de Guatemala.....	28
2.3.2. Respuesta de variedades de caña de azúcar a nitrógeno en un suelo molisol de la zona cañera de Guatemala.....	30
III. OBJETIVOS.....	32
1. Objetivo general .....	32
2. Objetivos específicos.....	32
IV. HIPÓTESIS.....	33
V. MATERIALES Y MÉTODOS .....	34

1.	Materiales .....	34
1.1.	Recursos físicos .....	34
1.2.	Recursos humanos.....	34
1.3.	Recursos financieros .....	34
2.	Metodología.....	35
2.1.	Material experimental evaluado .....	35
2.2.	Variedades de caña de azúcar evaluadas .....	35
2.3.	Niveles de nitrógeno evaluados .....	35
2.4.	Análisis estadístico .....	35
2.4.1.	Diseño experimental.....	35
2.4.2.	Modelo estadístico .....	36
2.4.3.	Grados de libertad para determinar el número de repeticiones .....	36
2.5.	Tratamientos y Repeticiones.....	37
2.5.1.	Tratamientos .....	37
2.5.2.	Repeticiones en campo.....	38
2.5.3.	Unidades experimentales.....	38
2.5.4.	Croquis de campo y aleatorización de tratamientos.....	39
2.6.	Variables de respuesta.....	40
2.6.1.	Rendimiento en toneladas de caña por hectárea - TCH .....	40
2.6.2.	Determinación del rendimiento de azúcar - TAH .....	40
2.6.3.	Determinación de dosis óptima económica de nitrógeno .....	40
2.6.4.	Parámetros como componentes del rendimiento, altura (cm), diámetro (mm) y población (tallos por metro lineal).....	42
2.7.	Análisis de la información.....	42
2.7.1.	Análisis estadístico.....	42

2.7.2.	Análisis económico.....	43
2.7.2.1.	Identificación de los rubros de costos relevantes .....	43
2.7.2.2.	Estimación de los precios de campo de los insumos.....	43
2.7.2.3.	Estimación de los costos que varían.....	43
2.7.2.4.	Estimación de los precios de campo del producto.....	43
2.7.2.5.	Estimación de los rendimientos ajustados .....	43
2.7.2.6.	Estimación de los beneficios brutos de campo .....	44
2.7.2.7.	Estimación de los beneficios netos de campo .....	44
2.7.2.8.	Análisis de dominancia de los tratamientos .....	44
2.7.2.9.	Cálculo de la tasa marginal de retorno (TMR) .....	45
2.8.	Manejo del experimento .....	45
2.8.1.	Selección del área para el ensayo de campo .....	45
2.8.2.	Trazo y estaquillado del ensayo de campo.....	45
2.8.3.	Siembra del ensayo en campo.....	46
2.8.4.	Fertilización del ensayo en campo.....	46
2.8.5.	Muestreo de biometría del ensayo en campo.....	46
2.8.6.	Otras labores durante el manejo del ensayo en campo .....	47
2.8.7.	Cosecha del ensayo en campo.....	47
VI.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	48
1.	Determinación del rendimiento de caña en toneladas de caña por hectárea.....	48
2.	Determinación del rendimiento de azúcar en toneladas de azúcar por hectárea.....	54
3.	Determinación de la dosis óptima económica de aplicación de nitrógeno en plantía en las variedades promisorias de caña evaluadas. ....	59

4.	Evaluación de parámetros como componentes del rendimiento, población (tallos*metro lineal), altura cm y diámetro mm. ....	61
5.	Determinación del análisis económico con base a la rentabilidad con presupuestos parciales y la mejor tasa marginal de retorno en los tratamientos que mostraron diferencias estadísticas significativas. ....	67
5.1.	Identificación de los rubros de costos relevantes .....	67
5.2.	Estimación de los precios de campo de los insumos.....	67
5.3.	Estimación de los costos que varían.....	68
VII.	CONCLUSIONES.....	72
VIII.	RECOMENDACIONES .....	74
IX.	REFERENCIAS .....	75
X.	ANEXOS.....	79

## INDICE DE CUADROS

No.	CUADRO	PÁGINA
1.	Variedades comerciales en plantía y socas de la agroindustria azucarera de Guatemala para la zafra 2017-2018.....	10
2.	Variedades comerciales utilizadas por el Ingenio Tzulá.....	11
3.	Producción del estrato medio y bajo, variedad CP72-2086. ....	12
4.	Producción del estrato medio, variedad CG98-78.....	13
5.	Producción del estrato medio, variedad CG00-033.....	14
6.	Producción del estrato medio, variedad CG02-163.....	15
7.	Producción del estrato medio, variedad CG04-09514.....	17
8.	Elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo del cultivo de <i>Saccharum officinarum</i> L. caña de azúcar. ....	18
9.	Características físicas y químicas de la urea .....	25
10.	Medias de rendimiento de caña (TCH) de 8 variedades de caña según niveles de N aplicados en caña plantía. ....	28
11.	Medias de rendimiento de azúcar (TAH) de 8 variedades de caña según niveles de N aplicados en caña plantía. ....	29
12.	Medias de rendimiento de caña (TCH) de 8 variedades de caña según niveles de N aplicados en primera soca. ....	30
13.	Medias de rendimiento de azúcar (TAH) de 8 variedades de caña según niveles de N aplicados en primera soca. ....	31
14.	Variedades de caña comerciales y promisorias utilizadas por Ingenio Tzulá. ....	35
15.	Tratamientos evaluados, factor A = variedades de caña de azúcar y factor B = niveles de nitrógeno. ....	37
16.	Medias de rendimiento de caña en variedades comerciales y promisorias con 5 niveles de nitrógeno aplicados en plantía. ....	48
17.	Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) en la variable rendimiento de caña en un suelo arcilloso del orden vertisol.....	49

18.	Comparación de medias en el rendimiento de caña para el factor B Niveles de nitrógeno en kg/ha.....	50
19.	Rendimientos de azúcar por efecto de los niveles de nitrógeno.....	54
20.	Resumen del análisis de varianza ANDEVA en la variable de rendimiento de azúcar en un suelo arcilloso del orden vertisol.....	55
21.	Comparación de medias en el rendimiento de azúcar para el factor B Niveles de nitrógeno en kg/ha. ....	56
22.	Medias de los efectos varietales en las variables población (tallos*metro lineal), altura cm y diámetro mm. ....	61
23.	Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) para las variables de población (tallos*m Lin), altura cm y diámetro mm.....	62
24.	Comparación de medias de Tukey al 5 % para la variable diámetro para el factor A variedades comerciales y promisorias. ....	63
25.	Comparación de medias de Tukey al 5 % para la variable altura y diámetro para el facto B Niveles de nitrógeno. ....	63
26.	Rubros utilizados en la evaluación de variedades de caña de azúcar comerciales y promisorias a la aplicación de nitrógeno en plantía. ....	67
27.	Costos que varían por hectárea de fertilización en la evaluación de variedades de caña comerciales y promisorias.....	68
28.	Beneficios netos para los tratamientos evaluados en variedades de caña comerciales y promisorias.....	69
29.	Análisis de dominancia para los tratamientos evaluados en variedades de caña comerciales y promisorias.....	70
30.	Tasa Marginal de Retorno para los tratamientos evaluados no dominados en variedades de caña comerciales y promisorias.....	71
31.	Análisis de residuos para los tratamientos evaluados no dominados en variedades de caña comerciales y promisorias.....	71
32.	Medias de población, altura y diámetro de tallos de variedades comerciales y promisorias a los 7 meses. ....	81
33.	Medías de población, altura y diámetro de tallos bajo cinco niveles de nitrógeno evaluados.....	81

34.	Medias de rendimiento de caña (TCH) en variedades de caña comercial y promisorias según niveles de nitrógeno aplicados en caña plantía.....	82
35.	Medias de rendimiento de azúcar (TAH) en variedades de caña comerciales y promisorias según niveles de nitrógeno aplicados en caña plantía.....	82
36.	Principales características del suelo en el área de estudio de Finca Santa Julia, Ingenio Tululá.....	82

## INDICE DE FIGURAS

No.	FIGURA	PÁGINA
1.	Etapas fenológicas del cultivo de la caña de azúcar <i>S. officinarum</i> L.....	7
2.	Características morfológicas de la variedad CP72-2086 .....	12
3.	Características morfológicas de la variedad CG98-78. ....	14
4.	Características morfológicas de la variedad CG00-033. ....	15
5.	Características morfológicas de la variedad CG02-163. ....	16
6.	Características morfológicas de la variedad CG04-09514. ....	17
7.	Ciclo del nitrógeno en un campo de caña de azúcar. ....	19
8.	Ubicación del experimento en campo finca Santa Julia .....	26
9.	Descripción de temperatura y humedad relativa para Ingenio Tululá. ....	27
10.	Representación de parcela bruta y parcela neta. ....	38
11.	Croquis, aleatorización de tratamientos y dimensiones de la unidad experimental en campo. ....	39
12.	Efecto de la aplicación de niveles de nitrógeno sobre el rendimiento medio de caña (TCH). ....	50
13.	Tendencia de respuesta a nitrógeno en TCH en variedades comerciales y promisorias de alta producción en caña plantía. ....	52
14.	Efecto de la aplicación de niveles de nitrógeno sobre el rendimiento medio de azúcar (TAH). ....	57
15.	Respuesta estimada en el rendimiento de caña de la variedad promisoria CG02-163 en los diferentes niveles de nitrógeno. ....	59
16.	Respuesta estimada en el rendimiento de caña de la variedad promisoria CG04-09514 en los diferentes niveles de nitrógeno. ....	60
17.	Relación de la población de tallos por metro lineal con el rendimiento de caña. ....	64
18.	Variables de tallos * metro lineal, altura y diámetro según las aplicaciones de nitrógeno. ....	65
19.	Logística de ejecución de ensayo. ....	79
20.	Aplicación de fertilizante nitrogenado. ....	79

21.	Desarrollo de las variedades comerciales y promisorias utilizadas en la evaluación de fertilización de nitrógeno en plantía.....	80
22.	Medición de parámetros como componentes de rendimiento.....	80
23.	Logística de cosecha de ensayo.....	81

## RESUMEN

Ingenio Tumulá S.A. se dedica a la producción del cultivo de *Saccharum officinarum L.*, caña de azúcar, se encuentra ubicado en el municipio de San Andrés Villa Seca, Retalhuleu. Actualmente están evaluando las variedades promisorias CG02-163 y CG04-09514 en finca Santa Julia, lote 0050303, ubicada en las coordenadas geográficas 14°26'27" latitud norte y 91°37'30" longitud oeste, a una altura de 144 metros sobre el nivel del mar, ubicándose en el estrato medio de la zona cañera de Guatemala.

El experimento fue establecido con el objetivo de determinar el nivel adecuado de nitrógeno para las variedades nuevas (promisorias) de caña de azúcar en comparación con las variedades comerciales tradicionales en plantía y su impacto en la productividad. El diseño experimental utilizado fue un diseño bifactorial bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con 3 repeticiones. Donde se evaluaron 5 variedades (tres comerciales y dos promisorias) de caña de azúcar, factor "A" y 5 niveles de nitrógeno factor "B". Las variedades comerciales tradicionales fueron  $V_1 = \text{CP72-2086}$ ,  $V_2 = \text{CG98-78}$ ,  $V_3 = \text{CG00-033}$  y las variedades nuevas (promisorias)  $V_4 = \text{CG02-163}$  y  $V_5 = \text{CG04-09514}$ . Los niveles de nitrógeno aplicados fueron:  $N_1 = 0 \text{ kg/ha}$ ,  $N_2 = 50 \text{ kg/ha}$ ,  $N_3 = 100 \text{ kg/ha}$ ,  $N_4 = 150 \text{ kg/ha}$  y  $N_5 = 200 \text{ kg/ha}$ .

Las variables de respuesta utilizadas fueron altura de planta, diámetro de tallo y número de tallos por metro lineal (componentes como parámetros de producción), así como el rendimiento de caña en TCH (toneladas de caña por hectárea), rendimiento de azúcar TAH (toneladas de azúcar por hectárea), dosis optima económica de nitrógeno y la determinación del tratamiento más rentable con presupuestos parciales.

En este trabajo se presentan los resultados del primer corte (plantía). Para el factor "A" variedades de caña, las variables tallos por metro lineal y altura no presentaron diferencia estadística, mientras que la variable diámetro del tallo sí presentó diferencia estadística. Para el caso del factor "B", niveles de nitrógeno, se tuvo diferencia estadística para las variables de altura y diámetro.

En el rendimiento de caña en TCH los resultados no presentaron diferencia estadística para el factor "A" variedades comerciales y promisorias, mientras que para los niveles de nitrógeno sí presentó diferencia estadística altamente significativa, siendo las mejores dosis 100 kg, 150 kg y 200 kg N/ha, teniendo un rendimiento promedio de 102.2 TCH. La variedad que presentó diferente tendencia a la respuesta de aplicación de nitrógeno en rendimiento de caña (TCH) fue la variedad CG02-163 con 106.01 TCH. En el rendimiento de azúcar en TAH la variedad promisoría CG02-163 fue quien mostró la más alta producción de azúcar con un promedio de rendimiento de 17.75 TAH, con una buena adaptación y comportamiento al suelo arcilloso del orden vertisol.

Se acepta la hipótesis alternativa dos ( $H_{a2}$ ), ya que presentó diferencia estadística altamente significativas para el factor B niveles de nitrógeno, donde se determinó que el tratamiento 20 correspondiente a la variedad promisoría CG02-163 fue la que produjo el máximo rendimiento promedio de caña de 125.26 TCH y un rendimiento promedio de 21.70 TAH en plantía con la dosis de 200 kilogramos de nitrógeno por hectárea. En promedio este tratamiento dio diferencias de 7 TAH con respecto a los otros tratamientos.

Se calculó que la dosis óptima de nitrógeno -DOEN- para la variedad promisoría CG02-163 fue de 184 kg/ha en plantía, en tanto que para la variedad promisoría CG04-09514 fue de 149 kg/ha en plantía.

## SUMMARY

Ingenio Tululá S.A. is dedicated to the production of the cultivation of *Saccharum officinarum* L., sugar cane, is located in the municipality of San Andrés Villa Seca, Retalhuleu. They are currently evaluating the promising varieties CG02-163 and CG04-09514 on the Santa Julia farm, lot 0050303, located at the geographic coordinates 14°26'27" north latitude and 91°37'30" west longitude, at an altitude of 144 meters. above sea level, located in the middle stratum of the sugarcane zone of Guatemala.

The experiment was established with the objective of determining the adequate level of nitrogen for the new (promising) varieties of sugarcane in comparison with the traditional commercial varieties in the plantation and its impact on productivity. The experimental design used was a bifactorial randomized block design in divided plots with 3 replications. Where 5 varieties (three commercial and two promising) of sugarcane, factor "A" and 5 levels of nitrogen factor "B" were evaluated. The traditional commercial varieties were V1 = CP72-2086, V2 = CG98-78, V3 = CG00-033 and the new (promising) varieties V4 = CG02-163 and V5 = CG04-09514. The nitrogen levels applied were: N1 = 0 kg/ha, N2 = 50 kg/ha, N3 = 100 kg/ha, N4 = 150 kg/ha and N5 = 200 kg/ha.

The response variables used were plant height, stem diameter and number of stems per linear meter (components as production parameters), as well as cane yield in TCH (tons of cane per hectare), sugar yield TAH (tons of sugar per hectare), optimal economic dose of nitrogen and the determination of the most profitable treatment with partial budgets.

This paper presents the results of the first cut (planting). For factor "A" cane varieties, the variables stems per linear meter and height did not present a statistical difference, while the variable stem diameter did present a statistical difference. In the case of factor "B", nitrogen levels, there was a statistical difference for the variables of height and diameter.

In the cane yield in TCH, the results did not present statistical difference for the factor "A" commercial and promising varieties, while for nitrogen levels it did present highly significant statistical difference, with the best doses being 100 kg, 150 kg and 200 kg. N/ha, having an average yield of 102.2 TCH. The variety that presented a different tendency to the response of nitrogen application in cane yield (TCH) was the variety CG02-163 with 106.01 TCH. In the sugar yield in TAH, the promising variety CG02-163 was the one that showed the highest sugar production with an average yield of 17.75 TAH, with a good adaptation and behavior to clayey soil of the vertisol order.

Alternative hypothesis two ( $H_{a2}$ ) is accepted, since it presented highly significant statistical differences for factor B nitrogen levels, where it was determined that treatment 20 corresponding to the promising variety CG02-163 was the one that produced the maximum average sugarcane yield. of 125.26 TCH and an average yield of 21.70 TAH in planting with the dose of 200 kilograms of nitrogen per hectare. On average, this treatment gave differences of 7 TAH with respect to the other treatments.

It was calculated that the optimal dose of nitrogen -DOEN- for the promising variety CG02-163 was 184 kg/ha in planting, while for the promising variety CG04-09514 it was 149 kg/ha in planting.

## I. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es el nutriente más importante, desde el punto de vista económico, en el cultivo de caña de azúcar, tanto en Guatemala como en la mayoría de países productores de azúcar, ya que tiene impactos directos en su producción. Tomando en cuenta que las variedades de caña podrían tener respuestas diferenciales en cuanto al uso de nitrógeno y que las recomendaciones actuales de este nutriente son generadas con las variedades CP72-2086 y CP73-1547, resulta relevante conocer si las variedades nuevas de alto rendimiento que se están expandiendo rápidamente en la zona cañera de Guatemala, tienen diferentes requerimientos a nitrógeno (CENGICAÑA, 2018).

Para determinar la respuesta de nitrógeno de las variedades nuevas de caña de azúcar en comparación con las variedades comerciales tradicionales, se realizó la presente investigación. Se evaluaron cinco variedades del cultivo, consideradas como el factor A del bifactorial planteado, tres de ellas se usaron como testigo relativo por ser comerciales (CP72-2086, CG98-78, CG00-033) y dos promisorias en estudio (CG02-163 y CG04-09514). El otro factor B fue el Nitrógeno, evaluando cinco niveles (0, 50, 100, 150, y 200 Kg N/ha). El propósito fue estudiar la respuesta del cultivo a las dosis según la variedad, teniendo la oportunidad de hacer comparaciones entre variedades comerciales y promisorias.

En el experimento se utilizó un diseño bifactorial, con bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con 3 repeticiones. Las variables medidas como respuesta fueron el rendimiento de caña y de azúcar por hectárea, dosis óptima de nitrógeno, rentabilidad con presupuestos parciales, población de tallos, altura de planta y diámetro de tallos.

Se obtuvo diferencia estadística significativa al comparar las variedades en la variable diámetro, siendo la variedad CG98-78 la que creció en promedio 25.52 mm seguida de la variedad promisorias CG04-09514 cuyo dato fue 25.05 mm.

Al hacer el análisis estadístico para el factor "B" niveles de nitrógeno se tuvo diferencia significativa para las variables altura y diámetro, indicando que las variedades comerciales y promisorias respondieron mejor a las dosis altas de 100, 150 y 200 kg N/ha, teniendo altura promedios de 235.86 cm, 250.21 cm y 254.92 cm respectivamente.

Para el diámetro respondieron de la siguiente manera: 50, 200 y 150 kg N/ha, teniendo diámetros promedios de 23.8 mm, 23.85 mm y 24.49 mm respectivamente. Cabe mencionar que para ambos factores la variable población no presentó diferencia estadística.

En cuanto al rendimiento de caña en toneladas de caña por hectárea – TCH, estadísticamente sólo presentó diferencia significativa para el factor “B” niveles de nitrógeno, indicando que la variedad comercial CP72-2086 su mejor rendimiento lo expreso con el nivel de 100 kg N/h teniendo un rendimiento promedio de 95.3 TCH, para la variedad comercial CG98-78 su mejor rendimiento lo expreso con el nivel de 150 kg N/ha teniendo un rendimiento promedio de 98.8 TCH y para la variedad comercial CG00-033 su mejor rendimiento lo expreso con el nivel de 150 kg N/ha teniendo un rendimiento promedio de 115.1 TCH, mientras que la variedad promisoría CG02-163, expreso su mejor rendimiento con el nivel de 200 kg N/ha, teniendo un rendimiento promedio de 125.6 TCH y la variedad promisoría CG04-09514, expreso su mejor rendimiento con el nivel de 200 kg N/ha, teniendo un rendimiento promedio de 108.6 TCH.

Para el rendimiento de azúcar, al hacer el análisis estadístico, indicó tener diferencia estadística únicamente para el facto “B” niveles de nitrógeno teniendo los mejores rendimientos de azúcar con los niveles de 150, 200 y 100 kg de N/ha con 16.9, 16.6 y 15.8 TAH respectivamente.

Se logró determinar una dosis óptima económica de nitrógeno - DOEN de 184 kg de nitrógeno por hectárea en plantía para la variedad promisoría CG02-163 y una dosis óptima económica de nitrógeno de 149 kg de nitrógeno por hectárea en plantía para la variedad promisoría CG04-09514.

También se determinó con el análisis económico de presupuestos parciales, de los tratamientos evaluados, para la variable rendimiento de caña (TCH), el mejor fue el tratamiento 18, que corresponde a la variedad promisoría CG02-163 + la dosis de 100 kg N/ha, siendo económicamente superior que los demás tratamientos, presentando una tasa marginal de retorno de 338.84 %.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1. Marco conceptual

#### 1.1. El cultivo de caña de azúcar

La caña de azúcar es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio se forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña con la energía tomada del sol durante la fotosíntesis, constituye el cultivo de mayor importancia desde el punto de vista de la producción azucarera, además representa una actividad productiva y posee varios subproductos, entre ellos la producción de energía eléctrica derivada de la combustión del bagazo, alcohol de diferentes grados como carburante o farmacéutico (Alexander, 1985 citado por Díaz & Portocarrero, 2002).

#### 1.2. Clasificación taxonómica de la caña de azúcar

Según CONADESUCA, (2015). Botánicamente *Saccharum officinarum* L. se clasifican de la siguiente manera:

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Liliopsida  
Sub clase: Commelinidae  
Orden: Poales  
Familia: Poaceae  
Subfamilia: Panicoideae  
Género: *Saccharum*  
Especie: *Saccharum officinarum* L.

El género *Saccharum* corresponde a un complejo constituido por seis especies, cuatro domesticas: *Saccharum officinarum* L., *Saccharum edule*, *Saccharum barberi*, *Saccharum sinensis* y dos silvestres *Saccharum spontaneum* y *Saccharum robustum* (Díaz & Portocarrero, 2002).

### **1.3. Características agronómicas de la caña de azúcar**

El ambiente (suelo y clima) genera el marco en el que se desarrolla y crece el cultivo, definiendo las limitaciones y disponibilidades de recursos agroecológicos dentro de los cuales se debe implantar, cultivar y producir la caña de azúcar (Romero, Digonzelli & Scandaliaris, 2009).

Resulta por lo tanto de fundamental importancia un conocimiento detallado de sus características generales y particulares para evaluar las posibilidades productivas, como también para efectuar una correcta elección de las prácticas de manejo a implementar (Romero, Digonzelli & Scandaliaris, 2009).

La tecnología (manejo y genotipo) por su parte, buscará minimizar las limitaciones agroecológicas que afectan la productividad del cultivo, favorecer el óptimo aprovechamiento de los recursos ambientales disponibles, maximizar la eficiencia técnico - económica del sistema productivo y conservar el ambiente. Una elección acertada de estrategias de manejo estrechamente asociadas y adaptadas a las características del agroecosistema, será la base para obtener una producción agrícola sostenida (Romero, Digonzelli & Scandaliaris, 2009).

Los rendimientos a obtener dependerán de la participación interactiva de los distintos componentes del rendimiento, cuya magnitud se define a través de los eventos fisiológicos que acontecen durante el ciclo de cultivo y de sus interacciones con los recursos ambientales, el manejo suministrado y el potencial productivo del genotipo. Pero la producción final de azúcar también depende de la influencia de los factores ambientales durante la zafra y de la eficiencia con que se realice la cosecha y el procesamiento (Romero, Digonzelli & Scandaliaris, 2009).

## 1.4. Requerimientos ambientales de la caña de azúcar

Este cultivo está adaptado a un amplio rango de climas tropicales y subtropicales. No tolera temperaturas de congelamiento y el crecimiento prácticamente cesa por debajo de los 10 – 12 ° C (Romero, Digonzelli & Scandalariis, 2009). Los principales componentes climáticos que controlan el crecimiento, el rendimiento y la calidad de la caña son la temperatura, la luz y la humedad disponible (Duarte & González, 2019).

### 1.4.1. Suelos

Según Duarte & González, (2019). Las propiedades favorables del suelo para el cultivo de la caña de azúcar son las siguientes:

- **Textura:** suelo con proporciones adecuadas de los tres componentes, es decir un suelo franco-areno-arcilloso.
- **Estructura:** granular que facilite su laboreo y capacidad para almacenar agua y un adecuado grado de infiltración.
- **Composición mineral:** una suficiente cantidad de los cuatro nutrientes minerales calcio (Ca), nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); además de materia orgánica, como partículas de humus.
- **Acidez o alcalinidad:** la caña de azúcar tolera valores de pH entre los 5.5 a 8.

Las condiciones ideales de suelo para el cultivo de la caña de azúcar son suelos profundos, alcanzando 80 a 90 cm y buen drenaje natural.

### 1.4.2. Régimen térmico

Según Duarte & González, (2019). La temperatura es el principal determinante climático del cultivo de la caña de azúcar, ya que necesita que sean altas. Durante el ciclo de cultivo de la caña de azúcar, se distinguen tres períodos: germinación y desarrollo radicular, crecimiento, maduración.

- **Germinación y desarrollo radicular:** la temperatura óptima para la germinación y el desarrollo radicular va de 26 a 33 °C; si la temperatura cae debajo de 20 °C la germinación y el desarrollo radicular son lentos.

- **El crecimiento:** la caña de azúcar paraliza su crecimiento cuando la temperatura cae debajo de 15 °C o sube arriba de 38 °C, siendo la temperatura óptima de 30 a 34°C.
- **Maduración:** durante el periodo de maduración, bajas temperaturas resultan en aumento de producción y almacenaje de sacarosa, mientras que el crecimiento de la caña es reducido.

### 1.4.3. Radiación solar

La caña de azúcar es una planta que se favorece con la presencia del sol. El macollamiento es influenciado por la intensidad y la duración de la radiación solar. Una alta intensidad y larga duración de la irradiación estimulan el macollamiento, mientras que condiciones de clima nublado y días cortos lo afectan negativamente. El crecimiento del tallo aumenta cuando la luz diurna se extiende entre 10 a 14 horas (Duarte & González, 2019).

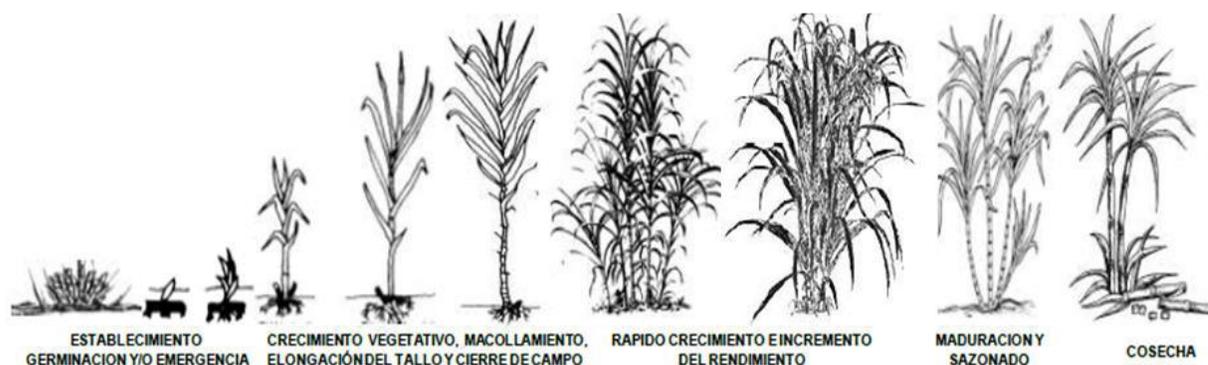
### 1.4.4. Disponibilidad hídrica

La caña de azúcar necesita un promedio de precipitación de 1,200 a 1,500 mm por año, aunque su requerimiento de agua varía durante su ciclo vegetativo (Duarte & González, 2019).

- El desarrollo de las raíces sólo ocurre si existe suficiente cantidad de agua y las raíces jóvenes llegan a morir en suelos secos.
- Durante su principal período de crecimiento, cuando la mayor parte de la biomasa es producida, la caña planta necesita una gran cantidad de agua y cualquier deficiencia en agua ocasiona la disminución en el rendimiento.
- Durante el período de maduración, por otro lado, el requerimiento de agua es más reducido, debido a que la sacarosa se almacena sólo cuando la caña detiene su crecimiento.

## 1.5. Fases fenológicas de la caña de azúcar

Según CONADESUCA, (2015) el cultivo de caña de azúcar en su ciclo de plantilla tiene un desarrollo vegetativo de duración variable, dado a que depende de la variedad y de la influencia del clima. De la siembra a la cosecha el cultivo puede durar desde 14 y hasta 17 meses. En este periodo la caña de azúcar pasa por cuatro etapas: germinación o emergencia, macollamiento o ahijamiento, rápido crecimiento y maduración. En tanto, el desarrollo de las socas (segundo corte de la caña) tiene una duración de 11 a 13 meses y se distinguen tres etapas: brotación, macollamiento, rápido crecimiento y maduración. A continuación, en la figura uno se describe cada una de estas etapas.



**Figura 1. Etapas fenológicas del cultivo de la caña de azúcar *S. officinarum* L.**  
Fuente. CONADESUCA, (2015).

### 1.5.1. Etapa de germinación o emergencia

La germinación es el proceso que da paso de los órganos primordios<sup>1</sup> latentes en la yema al estado activo de crecimiento y desarrollo. Aunque la duración de esta etapa puede variar, inicia entre los 7 a 10 días después de la siembra. El crecimiento inicial se prolonga hasta los 35 días. Las temperaturas óptimas para la brotación oscilan entre los 24 a 37 °C con disponibilidad de buena humedad en el suelo.

<sup>1</sup> **Primordios:** se refiere a la primera fase reconocible en el desarrollo embrionario y en la diferenciación de un determinado órgano, tejido o estructura.

El éxito de esta fase radica en la magnitud, ritmo y uniformidad de la emergencia (desarrollo inicial de la plántula), como también en el logro de una adecuada distribución espacial de los tallos primarios en el surco. Emergencias pobres y prolongadas afectarán el cumplimiento efectivo de las siguientes fases y finalmente la producción del cañaveral (CONADESUCA, 2015).

### **1.5.2. Etapa de macollamiento o ahijamiento**

Esta etapa comienza alrededor de los 35 a 40 días después de la plantación y se caracteriza por el brote de varios tallos a partir de las articulaciones nodales que se encuentran en la base de los tallos primarios. Los factores que favorecen el ahijamiento son: la variedad, los días de larga duración y alta intensidad luminosa, una temperatura cercana a los 30°C es la óptima, buenas condiciones de humedad en el suelo y buen nivel de nitrógeno.

Es una fase de gran importancia en la definición del rendimiento, ya que en su transcurso se establece el número potencial de órganos cosechables. Además, durante esta fase ocurre la generación del sistema radicular adventicio<sup>2</sup> y definitivo del cañaveral. (CONADESUCA, 2015).

### **1.5.3. Etapa de rápido crecimiento**

En esta etapa se da la formación y elongación de la caña con rapidez. Así mismo, en esta fase también se presenta una gran acumulación de materia seca y la planta alcanza su máxima área foliar (hojas). Esta etapa puede prolongarse de acuerdo a la variedad, la temperatura y la humedad. Sin embargo, como referencia puede citarse que comienza alrededor de los 120 días después de la plantación y es a los 180 días aproximadamente queda definido la población de tallos (sólo sobreviven entre el 40 y el 50% de los hijuelos o retoños).

---

<sup>2</sup> **Raíces Adventicias:** aquellas que no provienen de la radícula del embrión, sino que se originan en cualquier otro lugar de la planta, como por ejemplo en tallos subterráneos y en raíces viejas, formando sistemas radicales fibrosos. Su duración varía, en algunos pastos perennes pueden durar varios años.

Como se mencionó, durante esta etapa se define la producción de caña al determinarse la población final de tallos a moler y, en gran medida, el peso fresco por tallo. Además, se inicia el almacenamiento de azúcar en los entrenudos que van completando su desarrollo. En esta fase el cultivo expresa la máxima respuesta a los factores ambientales y de manejo. (CONADESUCA, 2015).

#### **1.5.4. Etapa de maduración**

En esta etapa de desarrollo de la planta de caña se da el proceso de síntesis y acumulación de sacarosa en los tallos de la caña. La maduración de la caña es de la base al ápice (extremo superior) de la planta. Esta parte del desarrollo tiene una duración de unos 2 a 3 meses. Los factores que favorecen el almacenamiento de sacarosa son aquellos que inhiben el crecimiento de la planta, entre ellos la presencia de noches frescas (temperaturas de 18°C), días calurosos y secos.

Las variedades constituyen un factor intrínseco de gran importancia en la maduración, registrándose entre ellos diferencias en la modalidad y en la producción de azúcar por hectárea. (CONADESUCA, 2015).

#### **1.6. Variedades comerciales de caña de azúcar en la agroindustria azucarera de Guatemala.**

El cuadro uno muestra que para la zafra 2017-2018 en la Agroindustria azucarera de Guatemala - AIA se cosecharán 14 variedades comerciales (con más del uno por ciento del área) en plantías y socas. Estas 14 variedades representarán el 90.6 por ciento del área total a cosecha.

De las 14 variedades comerciales que conformarán el 90.6 por ciento del área a cosechar se describen las que conforman cerca del 80 por ciento del área. La variedad más sembrada es la CP72-2086 con 36.7 por ciento del área.

Esta proporción está por arriba del valor máximo sugerido (20 por ciento) debido a que esta variedad resultó moderadamente susceptible a la enfermedad Roya naranja *Puccinia kuehnii* (CENGICAÑA, 2017).

El resurgimiento de esta variedad puede ser explicado con base en los malos resultados en productividad de azúcar obtenidos con la variedad CP88-1165 en las últimas zafras y a la falta de consolidación a nivel comercial de una variedad nueva. La CP72-2086 está más difundida en el estrato litoral, bajo y medio con 44.3, 37.7 y 26.5 por ciento del área, respectivamente.

**Cuadro 1. Variedades comerciales en plantía y socas de la agroindustria azucarera de Guatemala para la zafra 2017-2018.**

Variedad	Agroindustria		Estratos altitudinales							
			Alto		Medio		Bajo		Litoral	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
CP72-2086	72,258	36.7	876	7.9	11,498	26.5	18,690	37.7	41,193	44.3
CP731547	28,235	14.3	1,485	13.4	7,013	16.2	6,729	13.6	13,008	14
CG98-78	17,201	8.7	803	7.3	8,109	18.7	4,105	8.3	4,184	4.5
CP88-1165	14,489	7.4	2,023	18.3	2,691	6.2	1,919	3.9	7,856	8.4
CG02-163	11,064	5.6	472	4.3	1,952	4.5	5,578	11.2	3,061	3.3
SP71-6161	6,620	3.4	14	0.1	281	0.6	1,350	2.7	4,975	5.3
CG98-46	6,107	3.1	424	3.8	1,594	3.7	1,135	2.3	2,953	3.2
Mex79-431	5,677	2.9	284	2.6	1,869	4.3	1,312	2.6	2,211	2.4
SP79-1287	4,127	2.1	86	0.8	156	0.4	1,001	2.0	2,884	3.1
CG00-102	2,992	1.5	125	1.1	548	1.3	961	1.9	1,358	1.5
RB84-5210	2,883	1.5	680	6.2	1,202	2.8	590	1.2	412	0.4
CG98-10	2,448	1.2	67	0.6	389	0.9	196	0.4	1,796	1.9
RB732577	2,370	1.2	54	0.5	157	0.4	742	1.5	1,418	1.5
CG00-033	2,050	1.0	22	0.2	551	1.3	616	1.2	861	0.9

**Fuente. CENGICAÑA, (2017).**

Se puede observar el porcentaje de mayor a menor de las variedades comerciales que se tiene en la agroindustria azucarera de Guatemala, siendo la variedad CP72-2086 la que tiene un mayor porcentaje de siembra a nivel de Ingenios azucareros de Guatemala, seguidos por las variedades CP73-1547, CG98-78, CP88-1165 y CG02-163.

### 1.6.1. Variedades comerciales de caña de azúcar en Ingenio Tulum S.A.

En el cuadro dos se muestra que para la zafra 2017-2018 Ingenio Tulum cosecharán nueve variedades comerciales (plantías y socas) y una variedad promisorio (plantía). Estas 9 variedades representarán el 93.94 por ciento del área total a cosecha y el 2.42 por ciento corresponde a la variedad promisorio CG02-163 (Ingenio Tulum, Departamento de Planificación y Control, 2018).

De las 9 variedades comerciales que conformarán el 93.94 por ciento del área a cosechar se describen las que conforman el 32.80 por ciento del área. La variedad más sembrada es la CP72-2086 con 34.07 por ciento del área, seguido de la variedad CG98-78 con 28.17 por ciento del área. En el cuadro dos se presentan las variedades utilizadas por Ingenio Tulum:

**Cuadro 2. Variedades comerciales utilizadas por el Ingenio Tulum.**

Variedad	Área (Ha)	Porcentaje
CG98-46	4.82	0.06
MEX79-431	57.44	0.76
Varias	181.46	2.42
CP88-1165	189.04	2.52
CG00-102	232.88	3.10
MEX69-290	265.50	3.53
CG00-033	380.31	5.06
CP73-1547	1525.11	20.30
CG98-78	2116.08	28.17
CP72-2086	2559.17	34.07
<b>Total</b>	<b>7511.81</b>	<b>100.00</b>

**Fuente. Ingenio Tulum, Departamento de Planificación y Control, (2018).**

Se puede observar las variedades comerciales y el área que se va a cosechar por cada variedad para la zafra 2018 – 2019. Cabe mencionar que las variedades MEX79-431, MEX69-290 y CP88-1165 por presentar bajo rendimientos de caña y de azúcar se van a sacar del programa de siembra para las siguientes renovaciones.

## 1.7. Descripción de las variedades de caña de azúcar evaluadas

### 1.7.1. Variedad comercial de caña CP72-2086

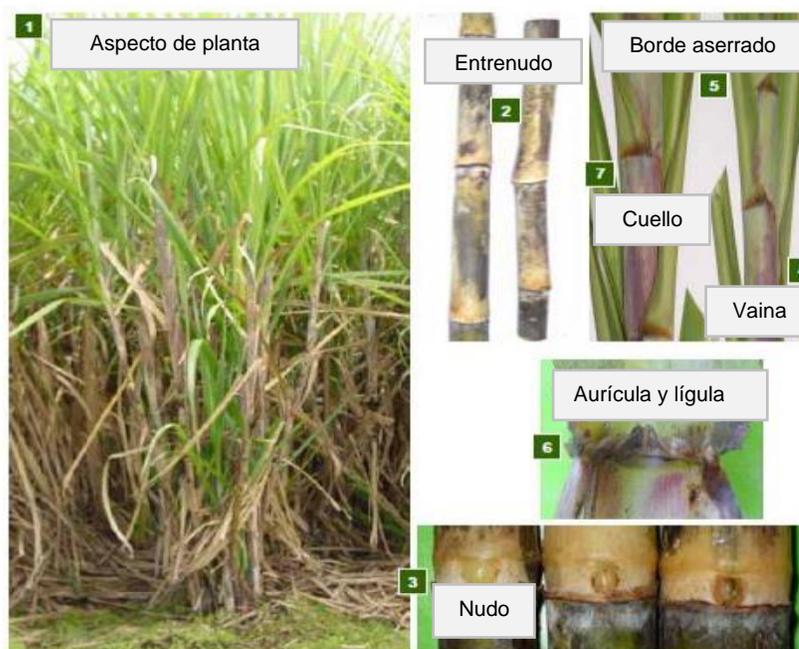
Surge de la cruce de las variedades CP62-374 X CP63-588, variedad que se encuentra sembrada en un 32.80 % del área que se destina para producción de caña de azúcar en Ingenio Tuluá, presentándose resultados obtenidos de ensayos realizados con esta variedad (Consuegra, C. 2014).

**Cuadro 3. Producción del estrato medio y bajo, variedad CP72-2086.**

Variable	Zona Media
TCH	130
Pol Caña %	16.6
TAH	21.5

**Fuente. Orozco, H. et al (2004), citado por Consuegra, C. (2014)**

A continuación, se presentan las características morfológicas de la variedad CP72-2086.



**Figura 2. Características morfológicas de la variedad CP72-2086**  
**Fuente. Orozco, H. et al (2004), citado por Consuegra, C. (2014).**

Se pueden observar las características morfológicas de la variedad CP72-2086, presenta las siguientes observaciones: Incidencia alta a Mosaico, Raya Roja y amarillamiento foliar.

### 1.7.2. Variedad comercial de caña CG98-78

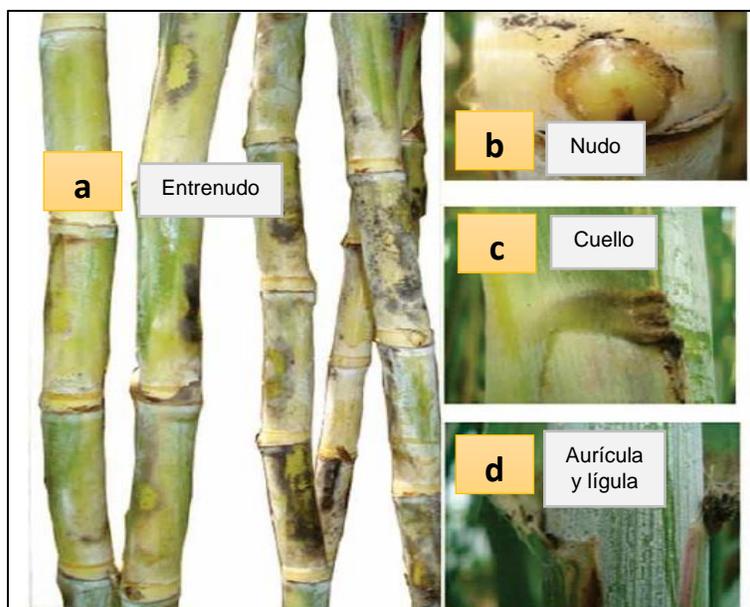
Surge de la cruce de las variedades TUC68-19 X CP57-603, variedad que se encuentra sembrada en un 27.15 % del área que se destina para producción de caña de azúcar en Ingenio Tululá, presentándose resultados obtenidos del rendimiento con esta variedad (Orozco, H. 2014).

**Cuadro 4. Producción del estrato medio, variedad CG98-78.**

<b>Variable</b>	<b>Zona Media</b>
TCH	160.4
Pol Caña %	16.0
TAH	25.6

**Fuente. Departamento Agronomía, Ingenio Tululá, 2018.**

Las características morfológicas de la variedad CG98-78, presenta las siguientes observaciones: Buena población, buena altura y buen diámetro, presencia de algunos mamones en la macolla, la vaina se raja longitudinalmente por la mitad, desprende la cera al tacto, Floración: 21 % en la zona media y 0 % en Zona Baja (Orozco, H. 2014). A continuación, en la figura tres se pueden observar las características morfológicas de la variedad CG98-78:



**Figura 3. Características morfológicas de la variedad CG98-78.**  
Fuente. Héctor Orozco, (2014).

### 1.7.3. Variedad comercial de caña CG00-033

Surge de la cruce de las variedades CG95-125 X CP81-1384, variedad que se encuentra sembrada en un 4.87 % del área que se destina para producción de caña de azúcar en Ingenio Tuluá, presentándose resultados obtenidos del rendimiento con esta variedad (Orozco, H. 2014).

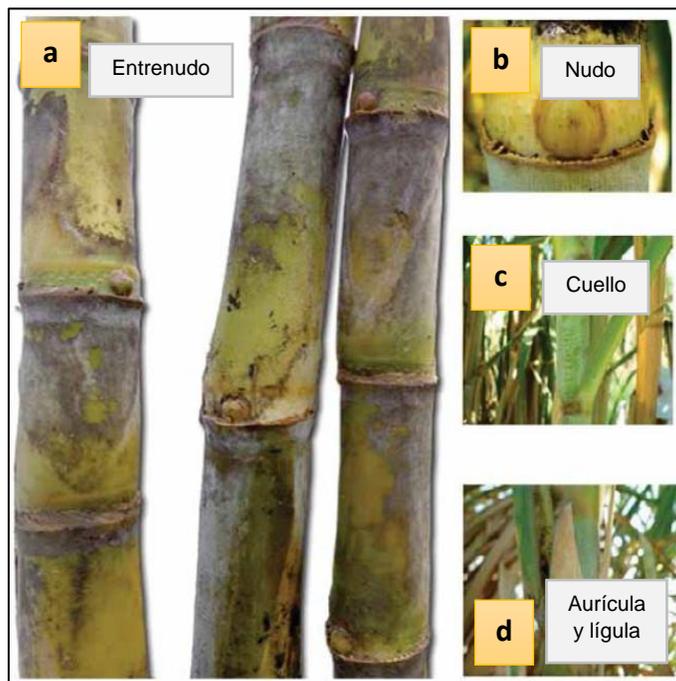
**Cuadro 5. Producción del estrato medio, variedad CG00-033.**

Variable	Zona Media
TCH	123.3
Pol Caña %	18.8
TAH	23.2

**Fuente. Departamento Agronomía, Ingenio Tuluá, 2018.**

Las características morfológicas de la variedad CG00-033, presenta las siguientes observaciones: Tallos de longitud larga y diámetro mediano, cogollo medio, anillo, ceroso poco visible, floración: 0% en ZB, corcho: 11% en ZB, fibra: 13.83 % en ZM (CP72-2086, 13.88 % en ZM).

A continuación, se presentan las características morfológicas de la variedad CG00-033.



**Figura 4. Características morfológicas de la variedad CG00-033.**  
Fuente. Héctor Orozco, (2014).

#### 1.7.4. Variedad promisoría de caña CG02-163

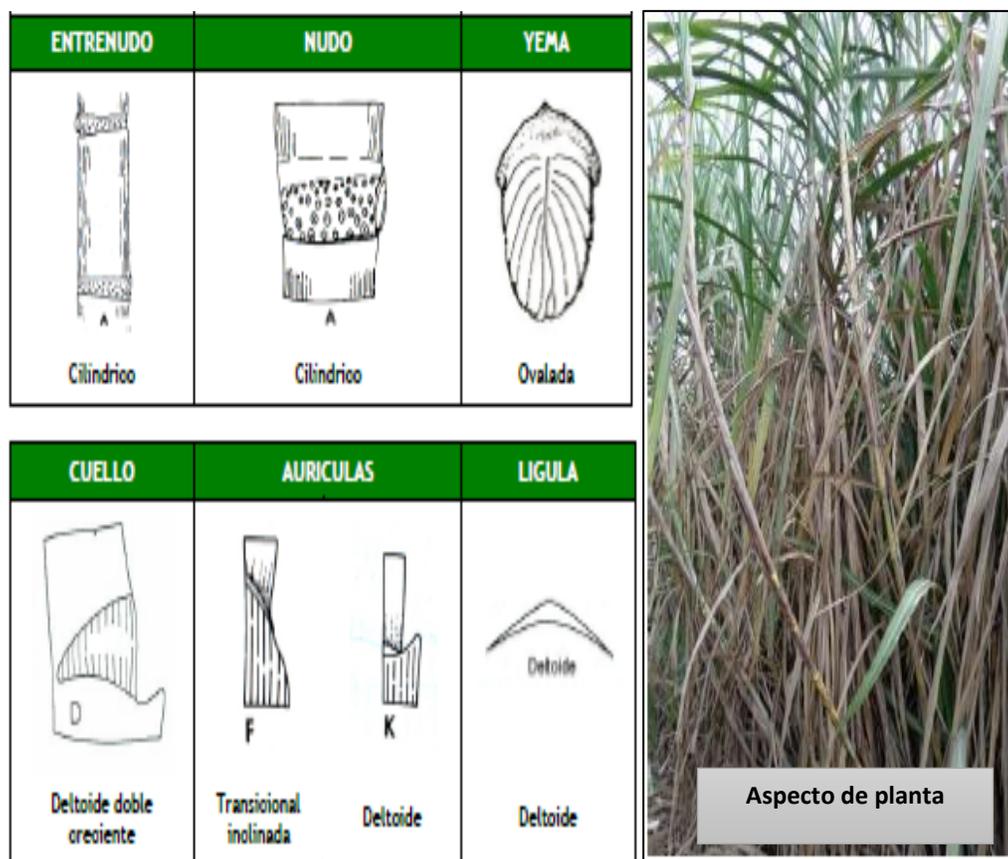
Surge de la cruce de las variedades CP65-357 x CP72-2086, variedad que se encuentra sembrada en un 3.73 % del área que se destina para producción de caña de azúcar en Ingenio Tumulá, presentándose resultados obtenidos del rendimiento con esta variedad (Orozco, H. 2020).

**Cuadro 6. Producción del estrato medio, variedad CG02-163.**

Variable	Zona Media
TCH	155.3
Pol Caña %	16.0
TAH	24.8

**Fuente. Departamento Agronomía, Ingenio Tumulá, (2018).**

A continuación, se presentan las características morfológicas de la variedad CG02-163.



**Figura 5. Características morfológicas de la variedad CG02-163.**  
Fuente. Orozco, H. (2020).

Se pueden observar las características morfológicas de la variedad CG02-163, presentando las siguientes observaciones: Aspecto de planta, entrenudos, nudo, yema, cuello, aurículas y lígula (Orozco, H. 2020).

#### 1.7.5. Variedad promisoría de caña CG04-09514

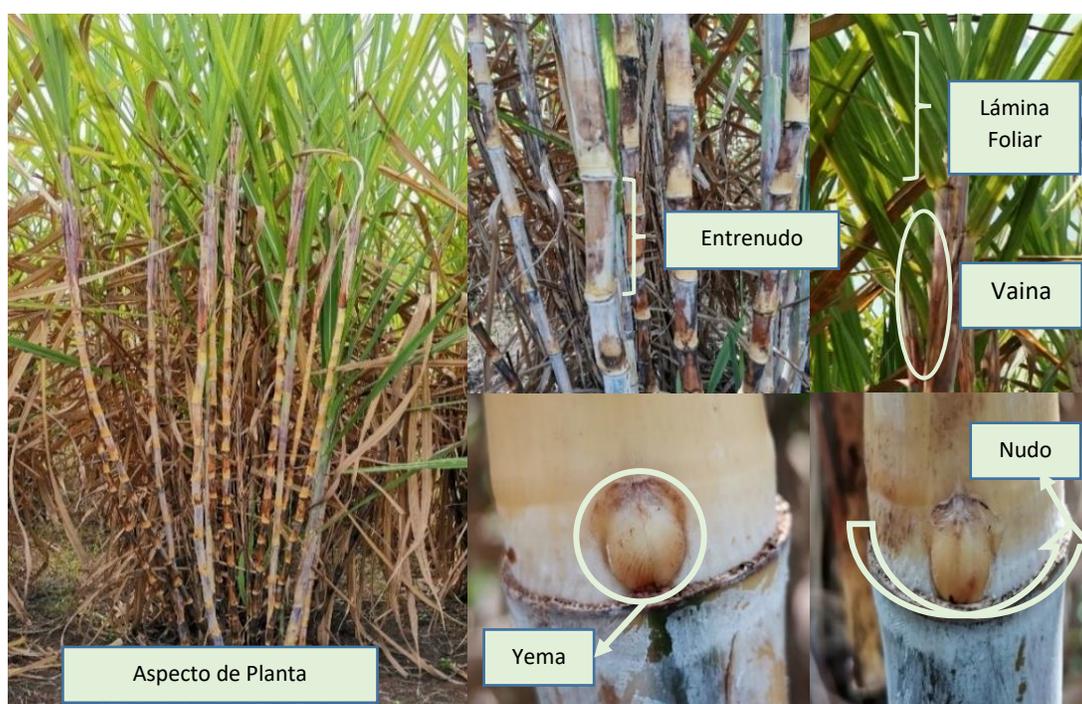
Surge de la cruce de las variedades CP72-2086 X CP81-1384, esta variedad se encuentra en evaluación semicomercial ya que ha demostrado buenos rendimientos de caña y azúcar, para sacarla a siembra comercial en Ingenio Tulumá, presentándose resultados obtenidos del rendimiento con esta variedad:

**Cuadro 7. Producción del estrato medio, variedad CG04-09514.**

Variable	Zona Media
TCH	163.5
Pol Caña %	12.0
TAH	19.6

**Fuente. Departamento de Agronomía, Ingenio Tuluá, (2018).**

A continuación, se presentan las características morfológicas de la variedad CG04-09514.



**Figura 6. Características morfológicas de la variedad CG04-09514.**

**Fuente. Héctor Orozco, (2014).**

Se pueden observar las características morfológicas de la variedad CG04-09514, presentando las siguientes observaciones: Población casi uniforme de tallos en la macolla, cogollo corto, buen sistema radicular, poca mancha purpura en zona media (Orozco, H. 2014).

### 1.8. Requerimientos nutricionales de la caña de azúcar

Las plantas como la caña de azúcar requieren para su crecimiento y desarrollo 16 elementos denominados esenciales. Estos nutrientes son carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). A continuación, se presentan:

**Cuadro 8. Elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo del cultivo de *Saccharum officinarum* L. caña de azúcar.**

Tipo	Nutriente	Extracción kg/TC	Función
B i o r e l e m e n t o s	Carbono (C)	Proveniente del bióxido de carbono, agua y del aire	Forma el esqueleto de todas las moléculas orgánicas
	Hidrógeno (H)		Participa en la descomposición de los carbohidratos para obtener energía.
	Oxígeno (O)		En combinación con el oxígeno, forman agua, líquido que constituye un gran porcentaje del peso total de las plantas.
M a c r o n u t r i e n t e s	Nitrógeno (N)	1.00	Es un componente esencial en los aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofila y otros pigmentos, y también lo es para todo proceso enzimático.
	Fósforo (P)	0.40	Es un nutriente esencial para las plantas juega un papel vital en la fotosíntesis y en muchos otros procesos bioquímicos. Sus principales funciones son el transporte y almacenamiento de energía, y el mantenimiento de la integridad de la membrana celular.
	Potasio (K)	2.65	Elemento esencial en la osmoregulación, activación de enzimas, regulación del pH y balance entre aniones y cationes en las células. Intervienen en la fotosíntesis y ejerce un control sobre los movimientos de azúcares y en el uso eficiente del agua por las plantas.
	Calcio (Ca)	0.60	Participa en el equilibrio electrostático de la célula y actúa como un activador de numerosas enzimas como la amilasa, fosfolipasas, quinasas y ATP-ases y juega un importante papel en el metabolismo del N.
	Magnesio (Mg)	0.27	Es un constituyente de la clorofila y, por lo tanto, está involucrado en la asimilación de CO <sub>2</sub> y en la síntesis de proteínas. Es importante en el movimiento de P en las plantas y participa en los procesos de respiración.
	Azufre (S)	0.27	Es esencial para la síntesis de aminoácidos, proteínas, vitaminas, formación de clorofila y el crecimiento de las plantas.
M i c r o n u t r i e n t e s	Hierro (Fe)	3.84	Participa en la actividad de las enzimas, transporte de electrones, metabolismo de los ácidos nucleicos, síntesis de la clorofila y la fotosíntesis.
	Manganeso (Mn)	1.13	Participa en la actividad enzimática y la fotosíntesis.
	Zinc (Zn)	0.43	Interviene en el metabolismo de las auxinas, uso del agua, actividad enzimática y crecimiento celular
	Cobre (Cu)	0.20	Participa en la fotosíntesis, resistencia a plagas y enfermedades, actividad de las enzimas.
	Boro (B)	0.21	Transporte de azúcar a través de las membranas celulares, mitótica.
	Molibdeno (Mo)	0.10	Participa en la asimilación de nitrógeno.
	Cloro (Cl)	-----	Interviene en la fotosíntesis.

Fuente. Cengicaña, (2012)

### 1.8.1. Disponibilidad del nitrógeno en el suelo

El nitrógeno es un componente esencial en los aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofila y otros pigmentos, y también lo es para todo proceso enzimático. El N es absorbido por las raíces de las plantas en forma de ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y en forma de ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (ver figura siete). La falta o escasez de nitrógeno se manifiesta en el poco desarrollo de toda la planta, poco macollamiento, tallos delgados y raquíticos y las hojas se tornan de un color verde pálido o amarillento. Los síntomas aparecen primero en las hojas viejas debido a la movilidad de este elemento en la planta (CENGICAÑA, 2012).

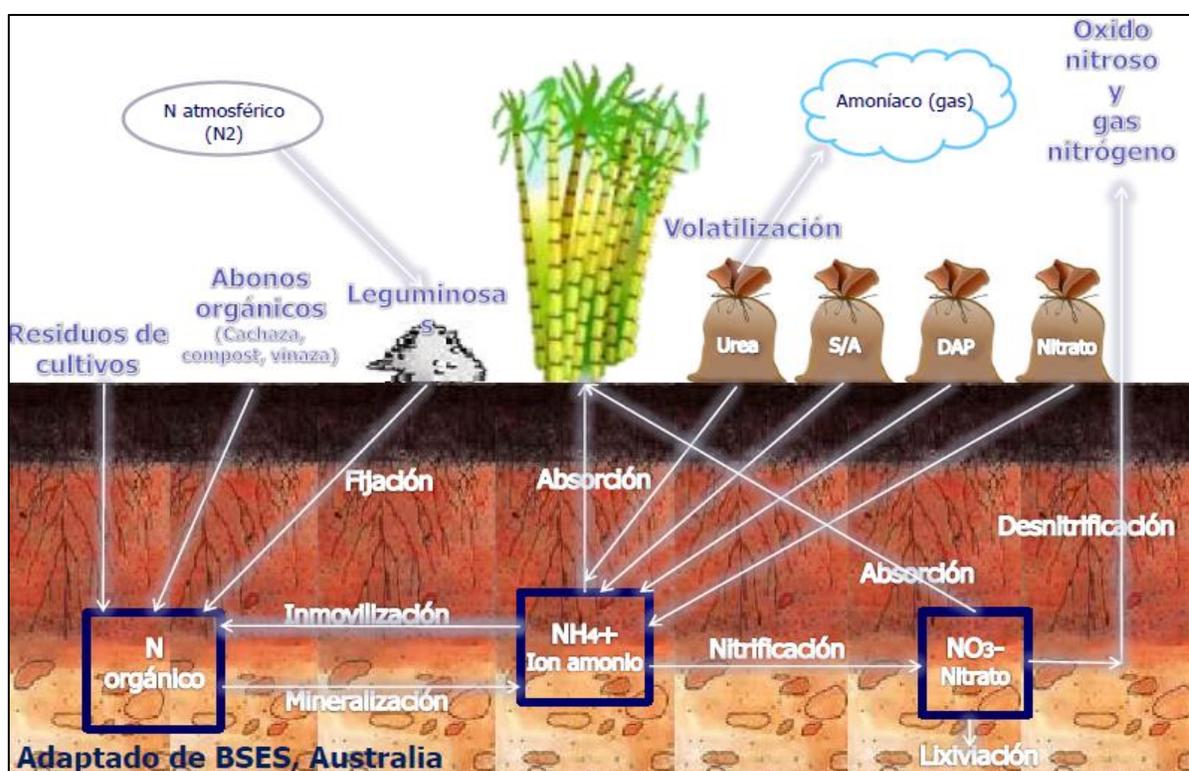


Figura 7. Ciclo del nitrógeno en un campo de caña de azúcar.  
Fuente. Pérez, O. (2015).

Se puede observar el proceso de transformación del elemento nitrógeno en las diferentes formas que se encuentran en el ambiente ya sea en residuos de cultivos, abonos orgánicos, leguminosas o aplicación de nitrógeno químico, estos se mineralizan en ion amonio y en nitrato para que la planta pueda aprovecharlo. Este se puede perder por lixiviación o desnitrificación.

**Formas de N en el suelo:** El nitrógeno se encuentra en el suelo en su mayor parte en formas orgánicas (generalmente más del 95 %) ligado al C en el humus o en células muertas o vivas de plantas, microorganismos y animales pequeños (Allison, 1973) y solo pequeñas cantidades se encuentran en formas minerales. Las formas orgánicas de N del suelo no son disponibles para las plantas y deben ser convertidas a formas minerales ( $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ ) a través de los microorganismos del suelo, para que puedan ser aprovechadas por las raíces de las plantas. De esta manera, la mineralización del N orgánico de la materia orgánica (MO) del suelo es una fuente importante de disponibilidad de N para las plantas. La tasa de mineralización del N orgánico del suelo está determinada por factores ambientales como la temperatura, la humedad, la aireación del suelo y por el tipo y cantidad de N orgánico presente (CENGICAÑA, 2012).

**Fuentes de nitrógeno:** Las fuentes de N más utilizadas son: **a) Urea** ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) con una concentración de N del 46 por ciento en forma de amida en su totalidad ( $\text{NH}_2$ ). La urea debe ser incorporada al suelo para evitar pérdidas de N por volatilización, si se deja en la superficie del terreno, además es el fertilizante preferido entre los granulados por su alta concentración de N. **b) Nitrato de amonio** ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) con 33.5 por ciento de N, con la mitad en forma de  $\text{NH}_4^+$  y la otra mitad en forma de  $\text{NO}_3^-$ . El nitrato de amonio debe transportarse y almacenarse con cuidado, y evitar el contacto con materiales orgánicos, ya que bajo estas circunstancias puede ser explosivo. **c) Amoniacó anhidro** ( $\text{NH}_3$ ) con 82 por ciento de N. El amoniacó es un gas bajo presión atmosférica normal, por lo que debe ser almacenado en tanques de alta presión o en refrigeración. La aplicación de amoniacó requiere de equipos especiales para inyectarlo al suelo, y los suelos tienen que estar bien preparados. **d) Sulfato de amonio** ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) con 21 por ciento de N y 24 por ciento de S (CENGICAÑA, 2012).

### 1.8.2. Importancia del nitrógeno para las plantas

El nitrógeno es uno de los macronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de cualquier cultivo. El suelo dispone naturalmente de él, en forma orgánica y mineral, esta última esencial para que pueda ser absorbido por las plantas. Sin embargo, las cantidades disponibles en el suelo no son suficientes para suplir las necesidades de las plantas cultivadas, por lo que se debe aplicar fertilizantes que aporten nitrógeno (Grupo Agrovitra, 2020).

El nitrógeno forma parte de las proteínas, enzimas y clorofila, por tanto, es esencial en los procesos de síntesis de proteínas y en la fotosíntesis, concretamente entre sus funciones también destaca el aceleramiento de la división celular, y la elongación de las raíces. Una planta con carencia de nitrógeno no podrá completar procesos metabólicos indispensables para su desarrollo. Interviene en la división celular y en muchos otros procesos, como la producción de clorofila, sin la cual la fotosíntesis no es posible. Además, juega un papel importante en la producción de azúcares, almidón y lípidos, entre otras sustancias, para la nutrición y otros procesos básicos de las plantas (Agrovitra, 2020). El nitrógeno se mueve en el sistema radicular por flujo de masa. Las formas asimilables del nitrógeno por las raíces de las plantas en el suelo son en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Grupo Agrovitra, 2020).

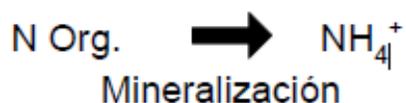
**Deficiencia de Nitrógeno:** Una deficiencia de nitrógeno se manifiesta por medio de clorosis, es decir, un amarillamiento de las hojas. Esta aparece primero en las más viejas y a medida que se incrementa, afecta a las más jóvenes, ya que las plantas son capaces de movilizar el nitrógeno existente en las hojas viejas hacia las más jóvenes y a los puntos de crecimiento. En casos de deficiencias extremas puede haber una detención del crecimiento y caída de hojas, además de que la planta es más propensa a padecer enfermedades y ataques de insectos (Grupo Agrovitra, 2020).

**Excesos de Nitrógeno:** Cuando las plantas tienen exceso de nitrógeno presentan un crecimiento exagerado ya que hay una mayor multiplicación celular por lo que la cantidad de brotes aumenta, lo que puede hacer que las plantas puedan ser más susceptible a ataques de plagas y enfermedades (Grupo Agrovitra, 2020).

Además, las plantas se volverán más susceptibles a las variaciones ambientales, como las de la humedad y la temperatura, por lo que pueden enfermar o incluso morir con más facilidad. Asimismo, no hay que dejar de mencionar que se tendrá un retraso en la producción, los rendimientos serán menores y la calidad de los productos disminuirá considerablemente (Grupo Agrovitra, 2020).

### 1.8.3. Mineralización de nitrógeno en el suelo

El término mineralización se usa normalmente para describir la transformación de N orgánico en N inorgánico, ya sea este en forma de  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ . El término amonificación se usa generalmente para describir específicamente el pasaje de N orgánico a  $\text{NH}_4^+$ . Otros autores, en cambio, emplean el término mineralización para referirse sólo al pasaje de N orgánico a  $\text{NH}_4^+$ . Esto se debe en parte a que el  $\text{NH}_4^+$  es la forma de N inmovilizada preferentemente por los microorganismos, a la conexión íntima que existe entre los procesos de mineralización e inmovilización de N y a que el proceso de mineralización hasta  $\text{NH}_4^+$  es realizado por los microorganismos heterótrofos del suelo, los cuales utilizan sustancias orgánicas carbonadas como fuente de energía. En este texto se ha preferido usar esta última acepción (Perdomo, Barbazán & Durán, 2013).



El pasaje de N orgánico a  $\text{NH}_4^+$  involucra dos reacciones, aminización y amonificación, llevadas a cabo por una gran variedad de microorganismos no especializados, incluyendo bacterias aeróbicas y anaeróbicas, hongos y actinomicetes. Es, además un proceso lento, comparado con el resto de las transformaciones que sufre el N hasta llegar a  $\text{NO}_3^-$  (Perdomo, Barbazán & Durán, 2013).





La asimilación del nitrógeno requiere una serie compleja de reacciones bioquímicas con un alto costo energético. En la asimilación del nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), el nitrógeno del  $\text{NO}_3^-$  es convertido en una forma de energía superior, nitrito,  $\text{NO}_2$ , luego en una mayor forma de energía, amonio,  $\text{NH}_4^+$  y finalmente en nitrógeno amídico en la glutamina. Este proceso consume 12 equivalentes de ATPs por molécula de nitrógeno. Por otra parte, las leguminosas que presentan una forma simbiótica con bacterias que transforman el nitrógeno atmosférico ( $\text{N}_2$ ) en amonio; proceso denominado, fijación biológica del nitrógeno junto con la subsecuente asimilación del amonio en los aminoácidos, consume 16 ATPs por nitrógeno (Pereyra, 2001).

La mayoría de los compuestos presentes en las células vegetales contienen nitrógeno, tales como: aminoácidos, nucleótidos fosfatos, componentes de fosfolípidos, clorofila. Solamente el oxígeno, carbono, y el hidrógeno son elementos más abundantes en las plantas que el nitrógeno (Pereyra, 2001).

#### **1.8.5. Fertilizante urea como fuente del nutriente nitrógeno**

A pesar de que es un insumo que contribuye de manera apreciable en la rentabilidad del cultivo de la caña de azúcar, a menudo cuando hay que hacer ajustes presupuestarios, se reduce los niveles porque presentan un rubro importante en los costos de producción (Subirós, 1995 citado por López, 2008).

**Urea:** es la fuente nitrogenada que se emplea con mayor frecuencia en el cultivo de la caña de azúcar, posee 46 por ciento de nitrógeno. Se caracteriza por tener una higroscopicidad moderada, menor que el nitrato de amonio, pero mayor que el sulfato de amonio. La urea debe hidrolizarse primero como amonio y luego nitrificarse mediante bacterias anaeróbicas (Subirós, 1995 citado por López, A. 2008).

#### **1.8.6. Características físicas y químicas del fertilizante urea**

Las características físicas y químicas de la urea se presentan a continuación:

**Cuadro 9. Características físicas y químicas de la urea**

<b>Nutrientes principales</b>	Nitrógeno (N) 46 %
<b>Nombre químico</b>	Urea, carbamida, carbonildiamida, ácido carbamídico
<b>Formula química</b>	$\text{NH}_2\text{CONH}_2$
<b>Peso molecular</b>	60.06 g/mol
<b>Color</b>	Blanco
<b>Presentación</b>	Granular o perlada
<b>Densidad</b>	768 kg/m <sup>3</sup>
<b>Solubilidad</b>	100 g/100 ml de agua
<b>Acidez equivalente o carbonato de calcio</b>	84
<b>Índice de salinidad</b>	75.4

**Fuente. Corporación DISAGRO, (2018).**

Se pueden observar las características físicas y químicas de la urea, donde este es compatible con la mayoría de fertilizantes, excepto con nitrato de amonio, nitrato de calcio, nitrato de sodio y nitrato de magnesio.

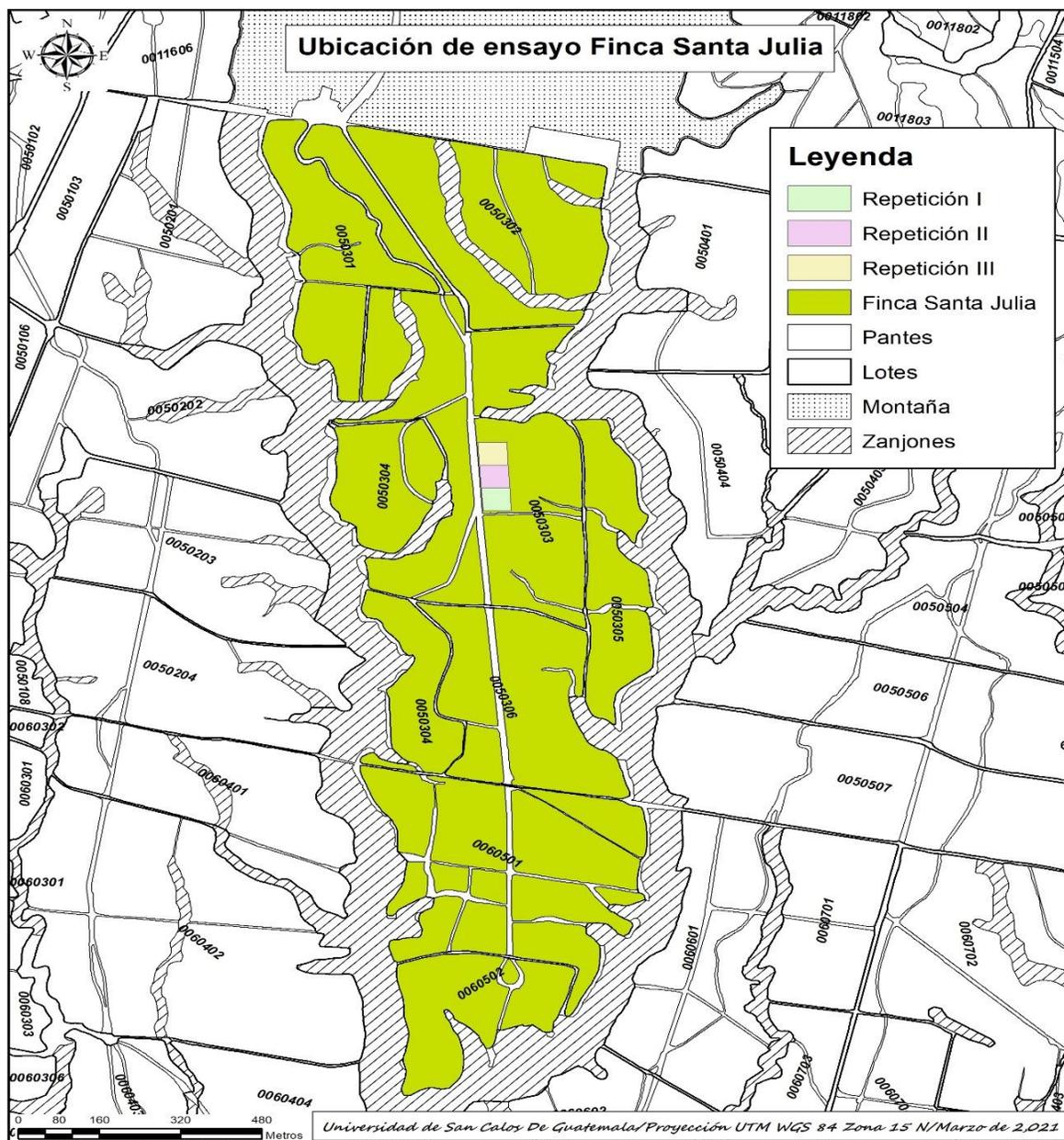
#### **1.8.7. Comportamiento del nitrógeno en el suelo**

La urea tiene una reacción inicial alcalina y finalmente ácida en el suelo, si se aplica al voleo o a la superficie del suelo puede producirse pérdidas de amónico gaseoso por volatilización, en suelos alcalinos se intensifica este fenómeno, en suelos ligeramente ácido (pH entre 5.5 y 6.5) su nitrificación es más rápida (Corporación DISAGRO, 2018).

## 2. Marco referencial

### 2.1. Localización y ubicación geográfica del experimento de campo

El experimento se realizó en finca Santa Julia en el lote 0050303, en las coordenadas geográficas 14°26'27" latitud norte y a 91°37'30" de longitud oeste, respecto al meridiano de Greenwich, a 143 metros sobre el nivel del mar. A continuación, se presenta la ubicación del ensayo en campo.

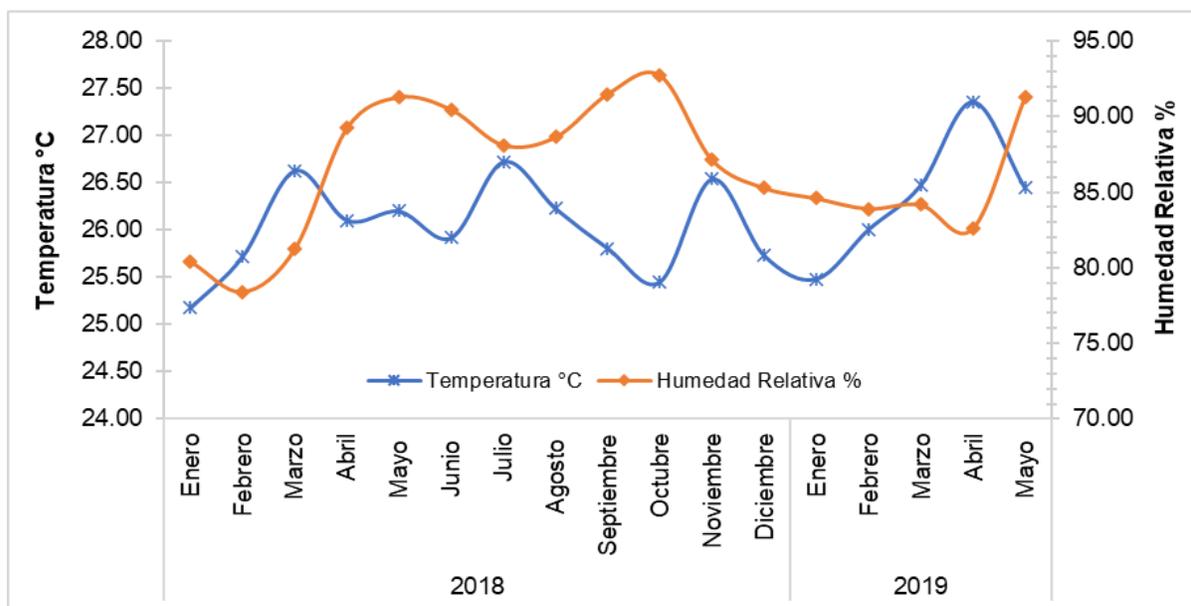


**Figura 8. Ubicación del experimento en campo finca Santa Julia**  
Fuente. Departamento de Ingeniería Agrícola modificado por el autor, (2,018).

## 2.2. Descripción ecológica del área en estudio

Según Holdridge, L.R. (1976) citado por Herrera, A. (2015) las fincas administradas por el Ingenio Tululá se encuentran ubicadas en la zona de vida del Bosque Muy Húmedo Subtropical (Cálido) representado por el símbolo de bmh – S(c).

Con temperaturas promedio de 26.65 ° C, registrándose temperaturas mínimas de 18.83 ° C y máximas de 34.48 ° C (ICC, 2018), la humedad relativa es de 80.38 – 86.65 % (Ver figura 9). Con vientos de 5.57 km/hora para los meses de enero a marzo y una intensidad lumínica de 9 horas luz/día.



**Figura 9. Descripción de temperatura y humedad relativa para Ingenio Tululá. Fuente. Estación Meteorológica Tululá – ICC, (2018).**

Se pueden observar los datos de temperatura y humedad relativa promedio por mes del año 2,018 y del mes de enero al mes de mayo del año 2019, obtenidos de la estación meteorológica de Ingenio Tululá - ICC.

Los suelos de las fincas de Ingenio Tululá aproximadamente un 35 % pertenecen al orden de suelos Inceptisoles y un 65 % pertenecen al orden de suelos Vertisoles, donde la textura del área experimental pertenece a un suelo arcilloso, según la taxonomía de suelos pertenece al orden Vertisol (CENGICAÑA, 2012).

## 2.3. Antecedentes de investigaciones relacionadas

### 2.3.1. Respuesta de variedades nuevas de caña de azúcar a nitrógeno en plantía en un suelo molisol de la zona cañera de Guatemala.

El experimento fue establecido en un suelo Molisol de la finca Playa Grande del ingenio Pantaleón con el objetivo de determinar si existen respuestas diferenciales de las variedades nuevas de caña de azúcar en cuanto a su respuesta a nitrógeno. Se evaluaron 8 variedades y cuatro niveles de nitrógeno (Cengicaña, 2016).

Las variedades evaluadas fueron CG00-102, CG02-163, CG04-0587, CG04-10295, CG98-78, CG98-46 y las variedades comerciales tradicionales CP72-2086 y CP73-1547. Los niveles de nitrógeno fueron: 0, 50, 100 y 150 kg de N/ha. En los Cuadros 10 y 11 se presentan las medias de rendimiento de caña (TCH), y rendimiento de azúcar (TAH) de las ocho variedades evaluadas según los niveles de nitrógeno aplicados (Cengicaña, 2016).

**Cuadro 10. Medias de rendimiento de caña (TCH) de 8 variedades de caña según niveles de N aplicados en caña plantía.**

N (kg/ha)	CG00-102	CG02-163	CG04-0587	CG04-10295	CG98-46	CG98-78	CP72-2086	CP73-1547	Promedio
0	157.5	200.2	186.4	193.4	174.6	205.7	194.1	206.7	189.8
50	169.2	203.3	192.8	214.3	163.1	204.7	209.8	206.2	195.4
100	169.7	221.2	195.6	208.3	173.6	212.6	184.9	209.5	196.9
150	168.7	226.0	220.9	226.5	172.0	216.4	190.5	194.2	201.9
<b>Promedio</b>	<b>166.3</b>	<b>212.7</b>	<b>198.9</b>	<b>210.6</b>	<b>170.8</b>	<b>209.9</b>	<b>194.8</b>	<b>204.2</b>	<b>196.0</b>

**Fuente. Cengicaña, (2,016)**

En los cuadros 10 y 11 se determinó que las variedades de caña de azúcar evaluadas tuvieron respuestas diferenciales a nitrógeno, destacándose las variedades **CG02-163** y **CG04-10295** por su respuesta a altos niveles de nitrógeno y alto rendimiento de caña en comparación con las variedades comerciales tradicionales (Cengicaña, 2016).

**Cuadro 11. Medias de rendimiento de azúcar (TAH) de 8 variedades de caña según niveles de N aplicados en caña plantía.**

N (kg/ha)	CG00-102	CG02-163	CG04-0587	CG04-10295	CG98-46	CG98-78	CP72-2086	CP73-1547	Promedio
0	23.0	29.2	29.0	29.8	24.0	32.0	29.4	31.3	28.5
50	25.7	30.2	29.5	31.0	24.4	29.4	30.5	31.7	29.0
100	25.1	32.8	30.0	31.0	25.8	30.7	25.9	30.2	28.9
150	25.3	34.0	34.1	34.2	24.8	30.1	27.9	30.5	30.1
<b>Total general</b>	<b>24.8</b>	<b>31.5</b>	<b>30.6</b>	<b>31.5</b>	<b>24.7</b>	<b>30.5</b>	<b>28.4</b>	<b>30.9</b>	<b>29.1</b>

**Fuente. Cengicaña, (2,016)**

Las variedades CG02-163 y CG04-10295 respondieron linealmente a nitrógeno hasta 150 kg de N/ha, en tanto que la variedad CP73-1547 tuvo una respuesta cuadrática alcanzando el máximo TCH con 50 kg de N/ha (Cengicaña, 2016).

Se estimó un incremento de 14 por ciento (27 toneladas/ha) más de caña al aplicar 150 kg de N/ha en las variedades CG02-163 y CG04-10295 mientras que con la variedad CP73-1547 el incremento de rendimiento fue solamente de 1.7 por ciento que con la aplicación de 50 kg de N/ha que fue donde se alcanzó el máximo TCH en esta variedad (Cengicaña, 2016).

No fue posible la estimación de la dosis optima económica de nitrógeno (DOEN) para las variedades CG02-163 y CG04-10295 porque éstas respondieron linealmente a nitrógeno (Cengicaña, 2016).

### 2.3.2. Respuesta de variedades de caña de azúcar a nitrógeno en un suelo molisol de la zona cañera de Guatemala.

El experimento fue establecido en un suelo Molisol de la finca Playa Grande del ingenio Pantaleón con el objetivo de determinar las respuestas a nitrógeno de variedades nuevas de caña de azúcar en comparación con las variedades comerciales tradicionales y determinar el contenido de N en la hoja y su relación con la producción (Cengicaña, 2017).

Se evaluaron ocho variedades y cuatro niveles de nitrógeno. Las variedades evaluadas fueron CG00-102, CG02-163, CG04-0587, CG04-10295, CG98-78, CG98-46 y las variedades comerciales tradicionales CP72-2086 y CP73-1547. Los niveles de nitrógeno aplicados en primera soca fueron: 0, 60, 120 y 180 kg de N/ha. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con 3 repeticiones (Cengicaña, 2017).

A continuación, en los cuadros 12 y 13 se presentan las medias de rendimiento de caña (TCH), y rendimiento de azúcar (TAH) de las ocho variedades evaluadas según los niveles de nitrógeno aplicados (Cengicaña, 2017).

**Cuadro 12. Medias de rendimiento de caña (TCH) de 8 variedades de caña según niveles de N aplicados en primera soca.**

N (kg/ha)	CG00-102	CG02-163	CG04-0587	CG04-10295	CG98-46	CG98-78	CP72-2086	CP73-1547	Media
0	117.6	168.3	146.8	157.6	125.2	149.0	158.7	156.7	149.2
60	131.9	182.2	161.2	181.0	142.6	157.8	186.0	162.4	163.1
120	119.2	183.9	154.6	189.2	159.7	168.4	193.0	168.8	167.1
180	123.6	200.5	162.0	192.0	155.4	159.9	189.3	169.2	169.0
<b>Media</b>	<b>123.1</b>	<b>183.7</b>	<b>156.1</b>	<b>180.0</b>	<b>145.7</b>	<b>158.8</b>	<b>185.1</b>	<b>164.3</b>	<b>162.1</b>

**Fuente. Cengicaña, (2,017)**

Las variedades comerciales nuevas CG02-163 y CG04-10295 se destacaron por su alto rendimiento de caña y azúcar, confirmando los rendimientos altos mostrado en el primer corte. Por su parte la variedad comercial testigo CP72-2086 también se destacó por los altos rendimientos similares a estas dos variedades, pero su comportamiento no fue consistente con los resultados del primer corte en donde tuvo rendimientos bajos.

**Cuadro 13. Medias de rendimiento de azúcar (TAH) de 8 variedades de caña según niveles de N aplicados en primera soca.**

N (kg/ha)	CG00-102	CG02-163	CG04-0587	CG04-10295	CG98-46	CG98-78	CP72-2086	CP73-1547	Media
0	12.6	17.8	15.4	15.5	12.7	13.7	17.1	15.5	15.0
60	14.0	18.1	17.1	18.1	13.8	14.8	18.7	15.8	16.3
120	13.0	17.5	16.6	17.0	16.3	17.0	17.8	17.5	16.6
180	13.8	20.0	17.4	19.2	14.2	15.8	16.6	16.9	16.7
Media	13.4	18.4	16.6	17.4	14.2	15.3	17.4	16.4	16.2

**Fuente. Cengicaña, (2,017)**

Las variedades CG04-10295 y CP72-2086 tuvieron similares respuestas a nitrógeno en cuanto al rendimiento de caña. La dosis de N con que se alcanzó el rendimiento máximo en estas dos variedades fue de 138 kg de N/ha (DOEmax) y la dosis óptima económica de N (DOEN) fue de 118 kg de N/ha. Por su parte la variedad CG02-163 tuvo una respuesta lineal a las aplicaciones de nitrógeno por lo que no fue posible la determinación de la DOEN en esta variedad por no llegar a la meseta de producción e indica la posibilidad de producir más caña todavía con más nitrógeno en esta variedad (Cengicaña, 2017).

La variedad CG98-78 se destacó por presentar valores menores de N (1.55 %) en la hoja y menores valores de clorofila para la obtención del máximo rendimiento de caña en comparación con el resto de variedades evaluadas, determinándose una DOEN de 90 kg de N/ha, para un rendimiento estimado ajustado de 131 TCH. Los datos indican la posibilidad de reducir la dosis de N en esta variedad en alrededor de 10 kg/ha en ambientes de alta producción como los del sitio evaluado (Cengicaña, 2017).

Los resultados mostraron que el valor de 1.80 % de N en la hoja correspondió con altos rendimientos de caña en la mayoría de variedades, con excepción de la variedad CG98-78 que tuvo menores niveles de N menores que el resto de variedades (Cengicaña, 2017).

### III. OBJETIVOS

#### 1. Objetivo general

Evaluar cinco niveles de nitrógeno en el rendimiento de variedades comerciales y promisorias *Saccharum officinarum* L. de caña de azúcar en plantía en finca Santa Julia, Ingenio Tulumá, Retalhuleu.

#### 2. Objetivos específicos

- 2.1. Determinar el rendimiento de caña en toneladas de caña por hectárea – TCH en tres variedades comerciales y dos promisorias de caña evaluadas.
- 2.2. Determinar el rendimiento de azúcar en toneladas de azúcar por hectárea - TAH en tres variedades comerciales y dos promisorias de caña evaluadas.
- 2.3. Determinar la dosis óptima económica de la aplicación de nitrógeno en plantía en las variedades promisorias.
- 2.4. Evaluar los parámetros como componentes del rendimiento, población, altura y diámetro en tres variedades comerciales y dos promisorias de caña evaluadas.
- 2.5. Determinar un análisis económico con base a la rentabilidad de presupuesto parciales y la mejor tasa marginal de retorno en los tratamientos que muestren diferencia estadística significaba en toneladas de caña por hectárea – TCH.

#### IV. HIPÓTESIS

- Ha<sub>1</sub>: Al menos una variedad comercial y una promisorio de caña de azúcar *Saccharum officinarum L.* evaluadas, tendrán un efecto diferente sobre el rendimiento de caña - TCH y azúcar - TAH.
- Ha<sub>2</sub>: Al menos un nivel de nitrógeno evaluado, tendrá un efecto diferente sobre el rendimiento en toneladas de caña - TCH y azúcar - TAH.
- Ha<sub>3</sub>: Existe interacción entre niveles de nitrógeno y las variedades comerciales y promisorias de caña de azúcar *Saccharum officinarum L.* evaluadas.

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1. Materiales**

#### **1.1. Recursos físicos**

- 75 cajas con 90 toletes de caña de azúcar de la variedad CP72-2086
- 75 cajas con 90 toletes de caña de azúcar de la variedad CG98-78
- 75 cajas con 90 toletes de caña de azúcar de la variedad CG00-033
- 75 cajas con 90 toletes de caña de azúcar de la variedad CG02-163
- 75 cajas con 90 toletes de caña de azúcar de la variedad CG04-09514
- 12 libras de nitrógeno 46 – 0 – 0 (dosis de 50 kg/ha)
- 23 libras de nitrógeno 46 – 0 – 0 (dosis de 100 kg/ha)
- 35 libras de nitrógeno 46 – 0 – 0 (dosis de 150 kg/ha)
- 46 libras de nitrógeno 46 – 0 – 0 (dosis de 200 kg/ha)
- 150 libras de tripe Superfosfato 0 – 46 – 0 – 15 Ca (dosis de 100 kg/ha)
- 150 libras de Potasio (MOP) 0 – 0 – 60 (dosis de 100 kg/ha)
- 5 azadones
- 1 cinta métrica
- 300 estacas
- 75 trompos
- 1 barreno tipo holandés
- 10 bolsas plásticas de dos libras
- 5 machetes
- 100 cintas de nylon
- 1 rollo de pita
- 1 navaja
- 1 balanza semi – analítica
- 1 computadora

#### **1.2. Recursos humanos**

- Un estudiante EPSAT
- 12 operativos del departamento de agronomía
- Un supervisor de investigación
- Un supervisor – asesor de EPSAT

#### **1.3. Recursos financieros**

- El apoyo económico se realizó con el presupuesto del departamento de agronomía.

## 2. Metodología

### 2.1. Material experimental evaluado

Se utilizaron cinco variedades de caña de azúcar (tres comerciales y dos promisorias) y cinco niveles de nitrógeno, los cuales se presentan a continuación:

### 2.2. Variedades de caña de azúcar evaluadas

Las variedades que se utilizaron son tres comerciales y dos promisorias las que se presentan a continuación:

**Cuadro 14. Variedades de caña comerciales y promisorias utilizadas por Ingenio Tululá.**

Variedad	Tipo variedad	No. Cajas	Total Toletes
CP72 - 2086	Comercial	75	90
CG98 - 78	Comercial	75	90
CG00 - 030	Comercial	75	90
CG02 – 163	Promisoria	75	90
CG04 – 09514	Promisoria	75	90

Se pueden observar las variedades que se utilizaron para la investigación, se tienen tres comerciales y dos promisorias, las variedades comerciales se utilizaron como testigos relativos.

### 2.3. Niveles de nitrógeno evaluados

En cuanto a los niveles de nitrógeno en plantía corresponden a: 0, 50, 100, 150 y 200 kg de N/ha, todos los niveles se hicieron en una sola aplicación, la fuente de nitrógeno utilizado fue urea (46 – 0 – 0).

### 2.4. Análisis estadístico

#### 2.4.1. Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue un “Bifactorial en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas”.

### 2.4.2. Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + (\alpha\rho)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Siendo:

- $Y_{ijk}$  = Variable de respuesta en rendimiento de TCH (toneladas de caña por hectárea).
- $\mu$  = Media general de rendimiento de TCH (toneladas de caña por hectárea).
- $\beta_j$  = Efecto del j – ésimo bloque.
- $\alpha_i$  = Efecto de la i – ésima variedad comercial y promisoría.
- $(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción del i – ésima variedad comercial y promisoría con el j – ésimo bloque.
- $\rho_k$  = Efecto del k – ésimo nivel de nitrógeno en estudio.
- $(\alpha\rho)_{ik}$  = Efecto debido a la interacción de la i – ésima variedad comercial y promisoría con el k – ésimo nivel de nitrógeno en estudio.
- $\varepsilon_{ijk}$  = Error experimental asociado a la i – j – k – ésima unidad experimental.

### 2.4.3. Grados de libertad para determinar el número de repeticiones

Para poder determinar la cantidad de repeticiones se calculó con base a los grados de libertad del factor B, según Bautista & Gonzales Ramírez, (2016) define que el experimento estadísticamente se puede establecer si los grados de libertad es igual o mayor a 12. Para la siguiente investigación se determinó los siguientes grados de libertad.

$$GL = a (b - 1)(r - 1)$$

$$GL = 5 (5 - 1)(3 - 1)$$

$$GL = 40$$

De acuerdo con los resultados se determinó un valor de 40 grados de libertad, con tres repeticiones lo cual hace factible para la ejecución del ensayo.

## 2.5. Tratamientos y Repeticiones

### 2.5.1. Tratamientos

La parcela grande consistió en las tres variedades de caña azúcar comerciales  $V_1 =$  CP72-2086,  $V_2 =$  CG98-78,  $V_3 =$  CG00-033 y las dos promisorias:  $V_4 =$  CG02-163 y  $V_5 =$  CG04-09514. La parcela pequeña consistió en cinco niveles de nitrógeno:  $N_1 =$  0 kg N/ha,  $N_2 =$  50 kg N/ha,  $N_3 =$  100 kg N/ha,  $N_4 =$  150 kg N/ha, y  $N_5 =$  200 kg N/ha. El arreglo fue en parcelas divididas donde los tratamientos evaluados fueron determinados por la combinación del factor A = variedades de caña de azúcar y factor B = niveles de nitrógeno, teniendo un total de 25 tratamientos. A continuación, se presentan:

**Cuadro 15. Tratamientos evaluados, factor A = variedades de caña de azúcar y factor B = niveles de nitrógeno.**

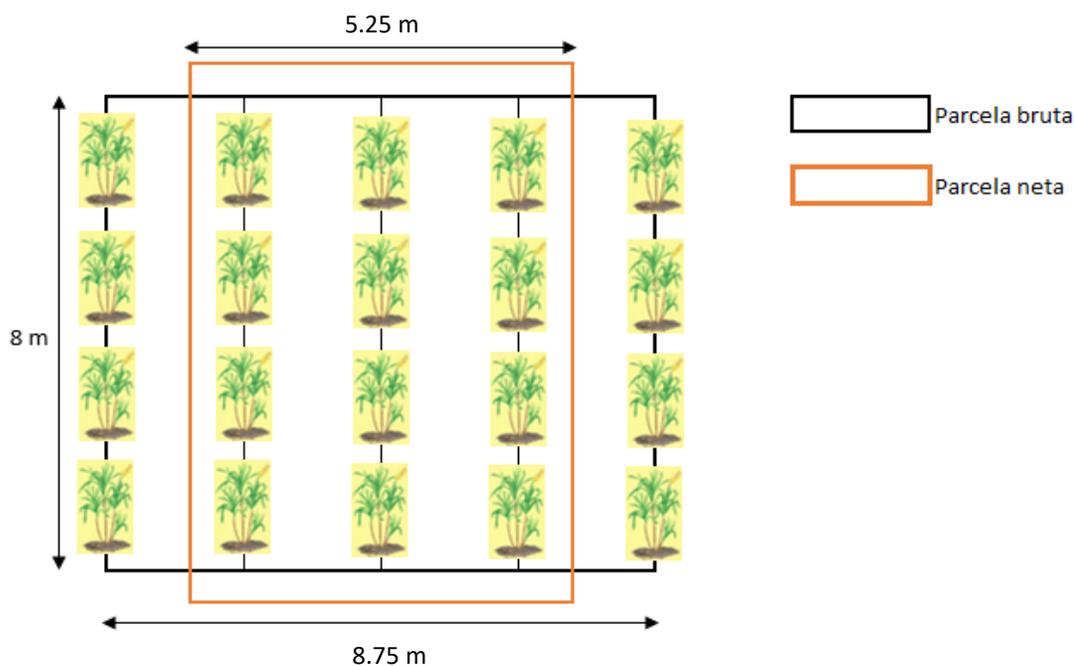
Tratamientos		
Código	Descripción	
	Factor A	Factor B
T1	CP72-2086	0 kg N/ha
T2	CP72-2086	50 kg N/ha
T3	CP72-2086	100 kg N/ha
T4	CP72-2086	150 Kg N/ha
T5	CP72-2086	200 kg N/ha
T6	CG98-78	0 kg N/ha
T7	CG98-78	50 kg N/ha
T8	CG98-78	100 kg N/ha
T9	CG98-78	150 Kg N/ha
T10	CG98-78	200 kg N/ha
T11	CG00-033	0 kg N/ha
T12	CG00-033	50 kg N/ha
T13	CG00-033	100 kg N/ha
T14	CG00-033	150 Kg N/ha
T15	CG00-033	200 kg N/ha
T16	CG02-163	0 kg N/ha
T17	CG02-163	50 kg N/ha
T18	CG02-163	100 kg N/ha
T19	CG02-163	150 Kg N/ha
T20	CG02-163	200 kg N/ha
T21	CG04-09514	0 kg N/ha
T22	CG04-09514	50 kg N/ha
T23	CG04-09514	100 kg N/ha
T24	CG04-09514	150 Kg N/ha
T25	CG04-09514	200 kg N/ha

### 2.5.2. Repeticiones en campo

Para el establecimiento en campo se utilizaron 3 bloques o repeticiones.

### 2.5.3. Unidades Experimentales

Se tuvieron 25 tratamientos y 3 repeticiones haciendo un total de 75 unidades experimentales. Cada unidad experimental contó con cinco surcos de caña a un distanciamiento de siembra de 1.75 metros entres surco y un largo de ocho metros, con un área de 70 m<sup>2</sup> por unidad experimental (parcela bruta), teniendo un área total de 0.895 hectáreas para todo el experimento. A continuación, se presenta la unidad experimental:



**Figura 10. Representación de parcela bruta y parcela neta.**

Se puede observar la unidad experimental para la evaluación de variedades de caña de azúcar y niveles de nitrógeno, donde para los datos de componentes de producción (población, altura y diámetro) se tomó una parcela neta por efecto de borde de 42 m<sup>2</sup> lo que es equivalente a tres surcos, mientras que para los datos de rendimiento de caña se cosechó la totalidad de la parcela bruta (5 surcos).

### 2.5.4. Croquis de campo y aleatorización de tratamientos

A continuación, se puede observar la aleatorización de los tratamientos en el ensayo en campo.

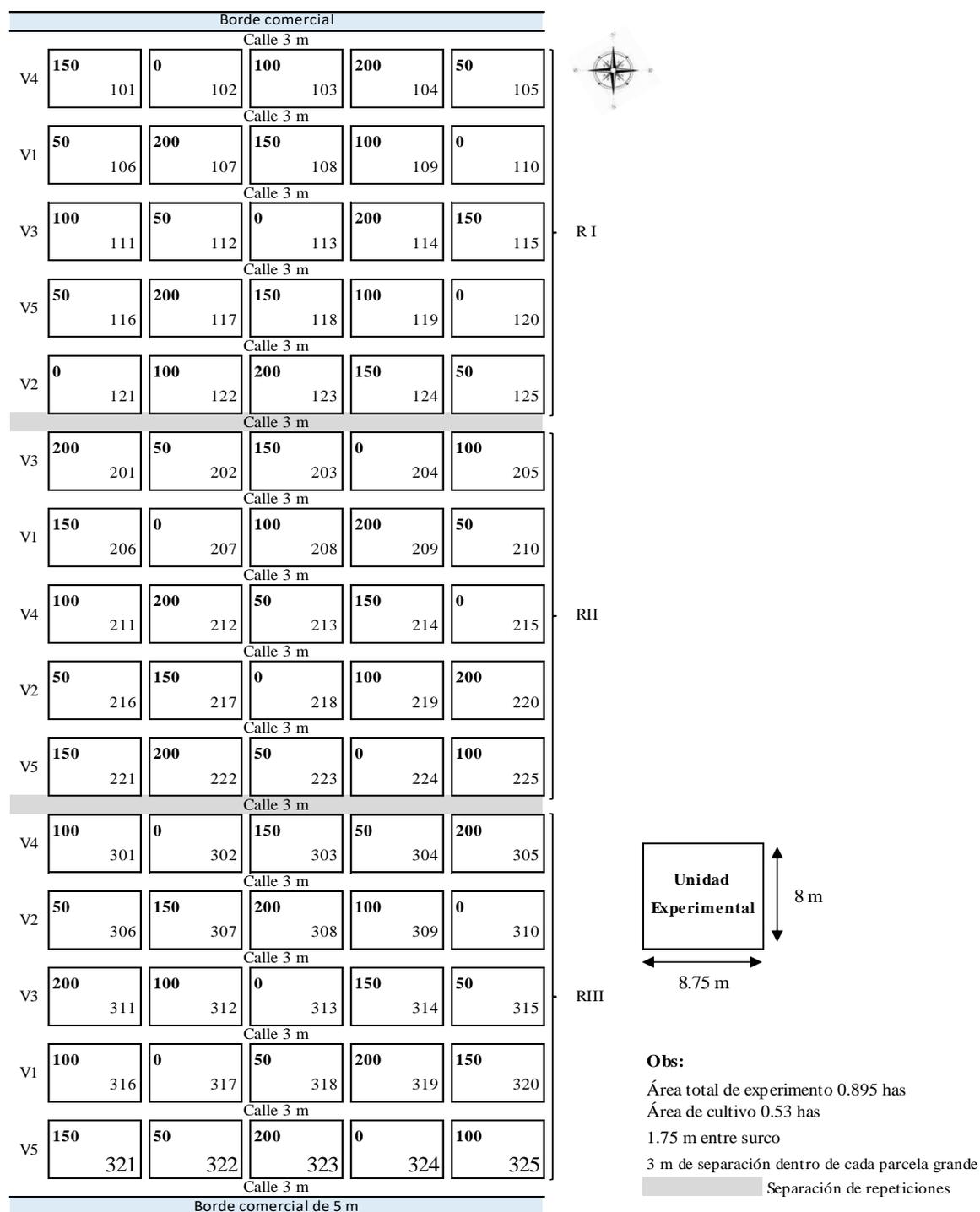


Figura 11. Croquis, aleatorización de tratamientos y dimensiones de la unidad experimental en campo.

Se observa la aleatorización y distribución de la parcela grande: variedades comerciales CP72-2086, CG98-78, CG00-033 y promisorias CG02-163, CG04-09514, mientras que en la parcela pequeña: los niveles de nitrógeno 0 kg, 50 kg, 100 kg, 150 kg y 200 kg N/ha.

## **2.6. Variables de respuesta**

Las variables de respuesta, analizadas en esta investigación se hicieron mediante metodologías utilizadas por CENGICAÑA – Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar.

### **2.6.1. Rendimiento en toneladas de caña por hectárea - TCH**

Se cosechó en forma manual la totalidad de tallos de los 5 surcos de cada parcela a la edad de 11 meses, de acuerdo al bloque comercial de cosecha del ingenio. El pesado se realizó con una balanza digital de campo (ver figura 22 anexos), tomando en cuenta todos los tallos y expresados en TM/ha.

### **2.6.2. Determinación del rendimiento de azúcar - TAH**

Previo a la cosecha se tomaron 5 tallos molederos que ya estaban marcados con nylon del surco central de cada parcela para la determinación del rendimiento de azúcar en cada uno de los tratamientos (ver figura 21 en anexos). Esta determinación se realizó en el laboratorio de agronomía de CENGICAÑA.

### **2.6.3. Determinación de dosis óptima económica de nitrógeno**

Para el análisis de esta variable se utilizó la metodología que utiliza CENGICAÑA donde indica lo siguiente:

1. Se calculó la relación I/P (Insumo – producto) con los precios actuales del kg de nitrógeno y el precio de la tonelada métrica de caña. Para obtener el precio por kg de nitrógeno, se calcula los kg de nitrógeno puro de un quintal de fertilizante, donde se toma cuenta el porcentaje de nitrógeno de un quintal, el cual se divide entre lo equivalente en libras de un kilogramo, obteniendo 20.865 kg de nitrógeno puro.

2. Obteniendo los kilogramos de nitrógeno puro, se calculó el precio por kilogramo, el precio del quintal de fertilizante urea es de Q 174.27, esto se dividió entre 20.865 kg de nitrógeno puro, como resultante se tiene un precio de Q 8.35 por kilogramo de nitrógeno.
3. Se procedió a calcular la relación I/P (Insumo – Producto) tomando en cuenta el precio de Q 8.35 por kg nitrógeno y Q 168.00 por tonelada de caña métrica:

$$\text{Relación I/P} = \frac{\text{Insumo}}{\text{Precio Tonelada de caña}}$$

$$\text{Relación I/P} = \frac{Q\ 8.35\ kg\ N}{Q\ 168.00\ TC} = \mathbf{0.0497}$$

4. Se ajustó la ecuación de regresión cuadrática despejándola en su primera derivada en función de nitrógeno, como ejemplo tomaremos la ecuación de la variedad CG02-163 donde  $y = 86.049 + 0.2701N - 0.0006N^2$  su deriva es  $y = 0.2701 - 0.0012 N$ .
5. Ya obtenida la primera derivada de la ecuación, se sustituyeron los valores y se despejaron en función del nitrógeno. El valor que se tomó en cuenta para la sustitución es la relación I/P. A continuación, como ejemplo de sustitución de la variedad CG02-163 donde  $y = 0.2701 - 0.0012N$  esto es igual a  $0.0497 = 0.2701 - 0.0012 N$ , ya sustituido la ecuación se despejó en función del nitrógeno para el cálculo de la dosis óptima – DOEN.

#### **2.6.4. Parámetros como componentes del rendimiento, altura (cm), diámetro (mm) y población (tallos por metro lineal)**

Con fines de precisión se realizaron dos muestreos de biometría, el primero se realizó a la edad de 7 meses, tomando datos de población, altura y diámetro de tallos en la totalidad de las parcelas en 2 repeticiones. El segundo muestreo de biometría se realizó a la edad de 10 meses tomando en cuenta los parámetros antes mencionados.

Para la población de tallos se contaron todos los tallos presentes en el surco central (parcela neta) de cada unidad experimental y los cuales fueron expresados en tallos por metro lineal.

Para la variable altura de tallos se midió la longitud de 5 tallos que anteriormente fueron marcados con nylon, en el surco central (parcela neta) de cada unidad experimental. La altura se midió desde el nivel del suelo hasta la última lígula visible de cada tallo. El diámetro se determinó con un vernier graduado, midiendo el diámetro de 5 tallos a 1 metro de altura a partir de la superficie del suelo. Los tallos medidos en este caso fueron los mismos que fueron seleccionadas para la medición de las alturas (ver figura 21 en anexos).

### **2.7. Análisis de la información**

#### **2.7.1. Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza según el diseño de parcelas divididas para los parámetros como componentes de producción altura (cm), población (tallos por metro lineal), diámetro (mm) de tallos, tomando en cuenta también las variables de rendimiento caña (Toneladas de caña por hectárea - TCH) y rendimiento de azúcar (Toneladas de azúcar por hectárea - TAH).

De acuerdo al análisis de varianza, en los que existieron diferencias significativas, se realizó una prueba de medias, utilizando la comparación de pruebas de medias de Tukey al 5 % de significancia, para determinar qué tratamiento es el mejor. Análisis de regresión relacionando los niveles de nitrógeno y el rendimiento de caña.

## **2.7.2. Análisis económico**

El análisis de rentabilidad para la evaluación de variedades comerciales y promisorias de caña de azúcar *Saccharum officinarum* L. a la aplicación de nitrógeno en plantía, que se utilizó fue el de presupuestos parciales para cada uno de los tratamientos evaluados, por medio de los siguientes pasos:

### **2.7.2.1. Identificación de los rubros de costos relevantes**

Se identificaron las fuentes de costos que varían de la evaluación de variedades comerciales y promisorias a la aplicación de nitrógeno.

### **2.7.2.2. Estimación de los precios de campo de los insumos**

Se determinaron los precios de campo de los insumos necesarios para la evaluación de variedades comerciales y promisorias.

### **2.7.2.3. Estimación de los costos que varían**

Se obtuvieron multiplicando los precios de campo de los insumos relevantes de la cantidad utilizada en la evaluación de variedades comerciales y promisorias a la aplicación de nitrógeno.

### **2.7.2.4. Estimación de los precios de campo del producto**

El precio del producto a nivel de campo se estimó, restando el precio del mercado, todos los costos unitarios de cosecha y comercialización.

### **2.7.2.5. Estimación de los rendimientos ajustados**

Debido a que los rendimientos experimentales tienden a ser mayores que los obtenidos por los agricultores, se redujeron los rendimientos obtenidos en el experimento en un 15 %, para poder acercarse a los obtenidos por los pequeños productores.

#### **2.7.2.6. Estimación de los beneficios brutos de campo**

Se estimó el beneficio bruto de campo, multiplicando el precio de campo del producto por el rendimiento ajustado.

#### **2.7.2.7. Estimación de los beneficios netos de campo**

Estos se obtuvieron al restar los beneficios brutos de campo, los costos que varían, en la evaluación de variedades comerciales y promisorias a la aplicación de nitrógeno.

#### **2.7.2.8. Análisis de dominancia de los tratamientos**

Para realizar este análisis, se deben organizar los tratamientos de acuerdo con un orden creciente de los costos que varían, y luego comparar si al aumentar los costos ocurre un incremento en los beneficios netos, si esto ocurre, el tratamiento es no dominado, si ocurre lo contrario es dominado (Reyes, 2001).

Para determinar la dominancia, por definición, el primer tratamiento es no dominado. En seguida se observa si al pasar de T11 a T16 aumentan los beneficios, en este caso no aumentaron, entonces, T16 es dominado. Como T16 fue dominado, se sigue empleando T11 como referencia del cambio, y ahora se observa si al pasar de T11 a T1, T6, T21, T7, T17, T22, T12, T2 aumentan los beneficios, en este caso, esto no ocurre, por tanto, son dominados. En seguida se observa si al pasar de T11 a T18 los beneficios, en este caso si aumentan, entonces, T18 es no dominado. Ahora se observa si al pasar de T18 a T3, T13, T8, T23, T14, T24, T19, T9, T4 aumentan los beneficios, en este caso, esto no ocurre, por tanto, son dominados. En seguida se observa si al pasar de T18 a T20 los beneficios, en este caso si aumentan, entonces, T20 es no dominado. En este caso se empleará T20 como referencia de cambio y se observa si al pasar de T20 a T25, T15, T10, T5 aumentan los beneficios, como tampoco esto ocurre, son dominados.

### **2.7.2.9. Cálculo de la tasa marginal de retorno (TMR)**

Con los tratamientos no dominados se calcularon los incrementos en los costos que varían y beneficios netos derivados del cambio de un tratamiento de costo variable menor a uno de costo mayor.

## **2.8. Manejo del experimento**

### **2.8.1. Selección del área para el ensayo de campo**

El área asignada para la investigación se localizó en Finca 005 Santa Julia, con caña plantía para la temporada 2018-2019. Luego se procedió a las labores de preparación de suelo, empezando por el subsuelo, arado, rastreo y por último surqueo.

Ya seleccionado el área para el establecimiento del ensayo se delimitó haciendo uso de una cinta métrica y estacas, siento el área total del ensayo de 0.895 ha (incluyendo parcelas, calles y bordes), además se tomaron muestras de suelo (muestras compuestas) para análisis físico químico de rutina a nivel de cada repetición (bloque) (ver figura 19 en anexos).

### **2.8.2. Trazo y estaquillado del ensayo de campo**

Se delimitó el área total del ensayo y de las parcelas con la ayuda de una cinta métrica, 300 estacas y 75 trompos, delimitando 5 parcelas brutas de 70 m<sup>2</sup> por cada bloque, se dejó entre cada bloque 3 m de calle.

Por cada parcela de 70 m<sup>2</sup> se identificó con estacas y cintas de nylon de color azul, rotulando el número de parcela y número de tratamiento al que corresponde cada una con la ayuda de un marcador permanente. Cabe mencionar que las cintas de nylon se cambiaron a los seis meses de la siembra del cultivo por el deterioro que presentaban (ver figura 19 en anexos).

### **2.8.3. Siembra del ensayo en campo**

El establecimiento del cultivo se realizó de forma directa (asexual), utilizando cinco cajillas por unidad experimental, haciendo un total de 75 cajas, cada cajilla estaba constituida por 90 toletes de caña y la siembra se realizó conforme la secuencia de la siembra de la finca en renovación del cultivo de caña (ver figura 19 en anexos).

### **2.8.4. Fertilización del ensayo en campo**

La fertilización se hizo con base a recomendaciones de Cengicaña, donde la fertilización base consistió en la aplicación de P en el fondo del surco al momento de la siembra. La dosis de P fue uniforme en todas las parcelas aplicando el equivalente de 100 kg de  $P_2O_5$ /ha como triple superfosfato (TSP 50 %).

Así mismo se aplicó potasio K en el fondo del surco al momento de la siembra a una dosis de 100 kg de  $K_2O$ /ha como sulfato de potasio (60 %).

El nitrógeno según los niveles evaluados se hizo en una sola aplicación a los 45 días después de la siembra, se aplicó en la banda del surco e incorporo al mismo tiempo. La fuente de nitrógeno que se utilizó en todos los casos fue urea 46 % (ver figura 20 en anexos).

Para la preparación de los tratamientos de nitrógeno se pesó el equivalente de la dosis de N para un área de 14 m<sup>2</sup> correspondiente a la fertilización de un surco (8 m x 1.75 m). El fertilizante se puso en bolsas de plástico luego se hicieron grupos de 5 bolsas de la misma medida para igual número de surcos de cada unidad experimental con su debida identificación.

### **2.8.5. Muestreo de biometría del ensayo en campo**

Se realizaron dos muestreos de biometría, el primero se hizo a los 6 meses después de la siembra y el segundo a los 10 meses después de la siembra, para conocer el desarrollo del cultivo, donde se midieron las variables de población de tallos (tallos por metro lineal), altura de tallo (cm) y diámetro (mm) de tallo (ver figura 22 en anexos).

En el muestreo se tomó el surco central de la parcela neta y se seleccionaron 5 tallos al azar, la medición de las variables se realizó de la forma siguiente:

- ✚ **Población de tallos:** se contabilizaron todos los tallos listos para molienda y tallos secundarios (mamones)
- ✚ **Altura de tallos:** se cuantificó la altura a partir de la base del tallo hasta el punto de quiebre del tallo.
- ✚ **Diámetro de tallo:** esto se realizó con la ayuda de un vernier, midiendo el diámetro de entrenudo a un metro desde la base del suelo.

#### **2.8.6. Otras labores durante el manejo del ensayo en campo**

El manejo de la plantación en cuanto a control de malezas, riego, control de plagas se hizo en forma uniformizada en todo el experimento de acuerdo con la secuencia de labores de la finca.

#### **2.8.7. Cosecha del ensayo en campo**

En cuanto a la cosecha se hizo de forma manual (corte granel), a la edad de 11 meses.

Se cosechó toda la unidad experimental, seguidamente se alzó con la ayuda de una alzadora, cadenas y una balanza digital con capacidad de 5 toneladas, para tener los pesos de caña y calcular las toneladas por hectárea (TCH) por cada tratamiento (ver figura 23 en anexos).

## VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 1. Determinación del rendimiento de caña en toneladas de caña por hectárea.

A continuación, se presentan los resultados promedios de rendimiento de caña comparando la respuesta de las variedades comerciales y promisorias a la aplicación de 5 niveles de nitrógeno:

**Cuadro 16. Medias de rendimiento de caña en variedades comerciales y promisorias con 5 niveles de nitrógeno aplicados en plantía.**

N (kg/ha)	CP72 - 2086	CG98 - 78	CG00 - 033	CG02 - 163	CG04 - 09514	Promedio
0	82.65	74.07	89.11	85.03	71.82	80.53
50	87.22	99.15	91.85	97.14	93.19	93.71
100	95.33	90.10	95.31	118.19	83.51	96.49
150	94.82	98.84	115.08	104.11	105.03	103.57
200	87.29	103.10	108.61	125.56	108.67	106.65
<b>Promedio</b>	<b>89.46</b>	<b>93.05</b>	<b>99.99</b>	<b>106.01</b>	<b>92.45</b>	<b>96.19</b>

Se puede observar que la variedad promisoría CG02-163 respondió mejor a las aplicaciones de nitrógeno presentando un rendimiento promedio de 106.01 TCH, respecto a las variedades comerciales CP72-2086, CG98-78 y CG00-033 que tuvieron un promedio de 11.17 por ciento menos de toneladas métricas por hectárea.

Comparando con la otra variedad promisoría CG04-09514 tuvo una diferencia de 13.56 TCH menos. De acuerdo a estas diferencias de medias en el rendimiento se procedió a realizar un análisis de varianza para determinar si se tiene diferencia significativa entre tratamientos. En el cuadro 18 se resume el análisis de varianza de un ciclo de evaluación para la variable rendimiento de caña, en toneladas métricas de caña por hectárea.

El análisis de varianza indicó que hay un efecto estadístico altamente significativo del factor B = niveles de nitrógeno (kg/ha) sobre el rendimiento de caña (TCH), mientras que para el factor A = variedades de caña comerciales y promisorias no se tuvo diferencia estadística para el rendimiento de caña.

**Cuadro 17. Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) en la variable rendimiento de caña en un suelo arcilloso del orden vertisol.**

Fuente de variación	GL	SC	CM	Probabilidad P>F Rendimiento de caña
Modelo	34	21853.57	642.75	0.0001
Variedad	4	2699.77	674.94	0.4441
Bloque	2	4510.88	2255.44	0.0001
Nivel N kg/ha	4	6228.30	1557.07	0.0001**
Variedad*Bloque	8	5196.31	649.54	0.0023
Variedad*Nivel N kg/ha	16	3218.31	201.14	0.3368
Error	40	6917.89	172.95	-----
Total	74	28771.46		-----
CV (%)			9.56	

**Nota:** GL = Grados de libertad, SM = Sumatoria de cuadrados, CM = Cuadrado medio del error.

Se resume el análisis de varianza tomando en cuenta la variable rendimiento de caña. El análisis de varianza indicó que no hay un efecto estadísticamente significativo para el factor A = *variedades de caña comerciales* (CP72-2086, CG98-78 y CG00-033) y *promisorias* (CG02-163 y CG04-09514) en la variable rendimiento de caña por lo tanto no se realizó pruebas de medias de tukey, mientras que para el factor B = *Niveles de nitrógeno* la variable rendimiento de caña si presentó un efecto estadístico altamente significativo. A excepción de la interacción del factor A = *variedades de caña comerciales* (CP72-2086, CG98-78, CG00-033) y *promisorias* (CG02-163 y CG04-09514) con el factor B = *niveles de nitrógeno* (0 kg, 50 kg, 100 kg, 150 kg y 200 kg/ha) no presentó diferencia estadística, por lo cual no se realizó la prueba de medias de tukey.

Los resultados obtenidos son similares a estudios realizados por Cengicaña, 2017 donde el análisis de varianza indicó que en promedio el nitrógeno tuvo efecto estadísticamente significativo en el rendimiento de caña (P: 0.014), pero este efecto fue dependiente de la variedad de caña, evidenciado por la significancia de la interacción variedad x nitrógeno (P: 0.045), en tanto que la variable concentración de azúcar (kg Az/TC) no fue afectada en forma significativa por los niveles de nitrógeno evaluados, y no se observaron efectos de la interacción variedad x nitrógeno en esta variable.

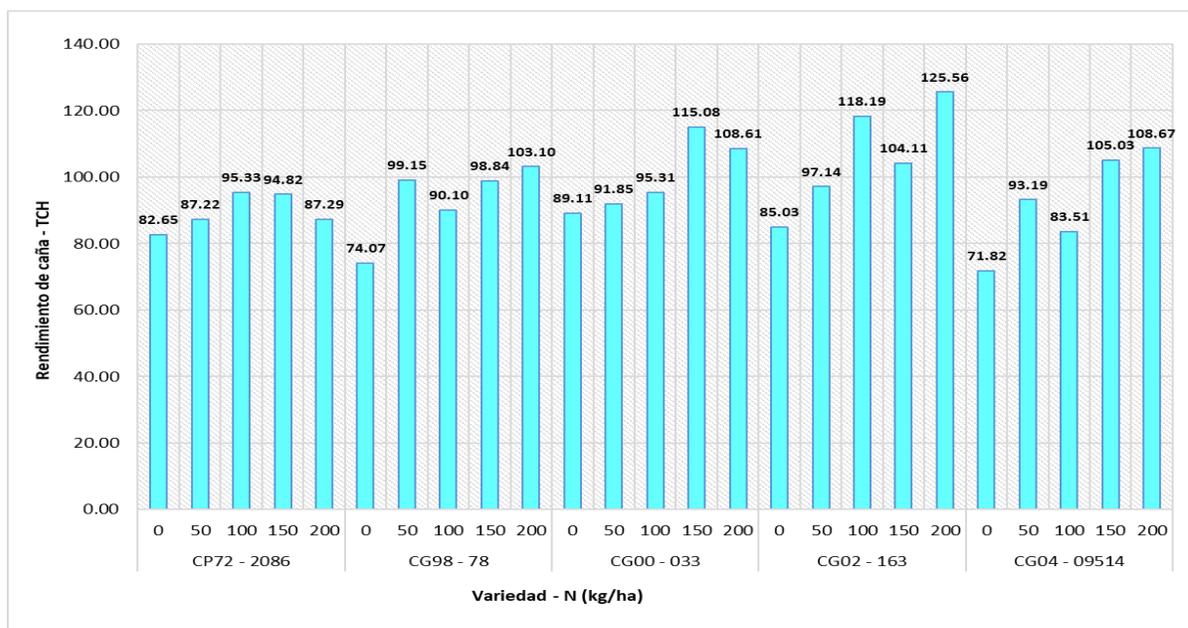
Ya que se tuvo diferencia altamente estadística para el factor B = Niveles de nitrógeno se procedió a realizar una prueba de medias de Tukey con un 5 % de significancia. A continuación, se presentan los resultados:

**Cuadro 18. Comparación de medias en el rendimiento de caña para el factor B Niveles de nitrógeno en kg/ha.**

Nivel N kg/ha	TCH	Clasificación
200	106.65	A
150	103.57	A
100	96.49	A
50	93.71	B
0	80.53	B

Según la prueba de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5 % y con un 95 % de confianza, en el cuadro 18 indica que los mejores niveles de nitrógeno en kg/ha corresponde a 200 kg, 150 kg y 100 kg teniendo los mejores rendimientos promedios de 106.65, 103.57 y 96.49 TCH respectivamente.

Se muestra respectivamente el comportamiento del rendimiento de caña en un ciclo de evaluación, en cinco variedades de caña (tres comerciales y dos promisorias) y cinco niveles de nitrógeno (0 kg, 50 kg, 100 kg, 150 kg y 200 kg/ha):



**Figura 12. Efecto de la aplicación de niveles de nitrógeno sobre el rendimiento medio de caña (TCH).**

Se presentan los rendimientos de caña promedios expresados en toneladas métricas por hectárea, correspondiendo a los tratamientos evaluados en un suelo del orden Vertisol, completamente arcilloso, como lo indicó el análisis de varianza, para el factor B = niveles de nitrógeno se tiene diferencias estadísticas altamente significativas, se observa que la variedad promisoría CG02-163 respondió mejor al nitrógeno por su respuesta lineal en el rendimiento de caña conforme se fue aumentando el nivel de nitrógeno.

Comparado con la variedad comercial CP72-2086, expresó su máximo rendimiento de caña con la dosis de 100 kg N/ha, teniendo un rendimiento promedio de 95.33 TCH. Mientras que la variedad comercial CG98-78 tuvo una variabilidad en el efecto de nitrógeno, su máximo rendimiento promedio de caña fue de 103 TCH con la dosis de 200 kg N/ha.

Por otro parte la variedad comercial CG00-033 su máximo rendimiento promedio de caña fue de 115.08 TCH con la dosis de 150 kg N/ha. La variedad promisoría CG04-09514 su máximo rendimiento promedio de caña fue de 108.67 TCH con la dosis de 200 kg N/ha.

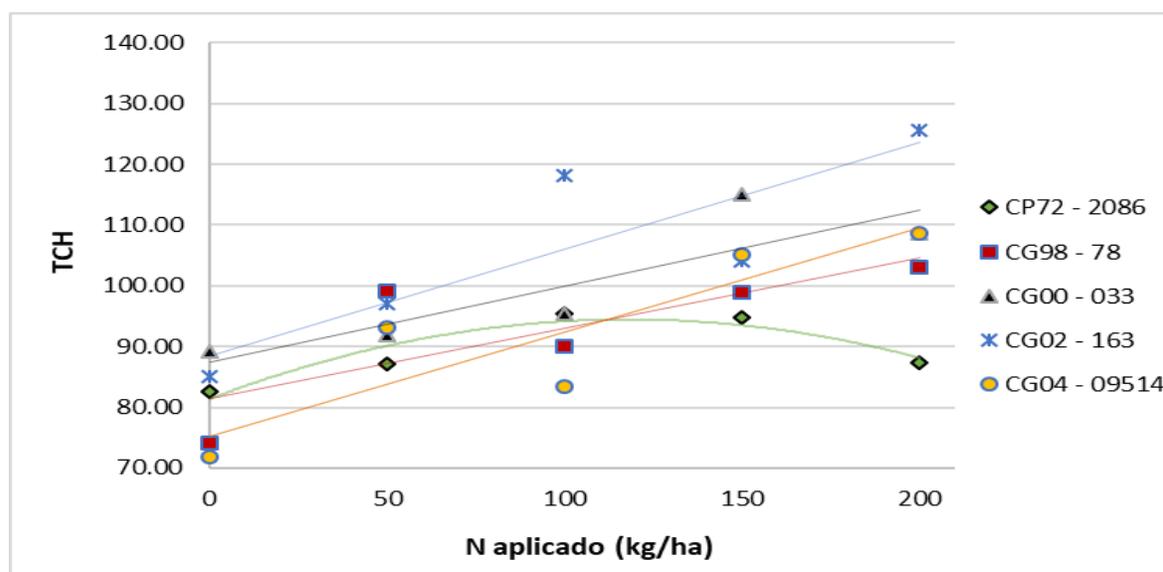
Y como era de esperarse, en todas las variedades el tratamiento que no llevó nitrógeno fue el que presentó bajos rendimientos (CP72-2086 = 84.25 TCH, CG98-78 = 74.07 TCH, CG00-033 = 89.11 TCH, CG02-163 = 85.03 TCH y CG04-09514 = 71.82 TCH).

Como ya se había indicado, la variedad promisoría CG02-163 fue la que mejor respondió al efecto de nitrógeno; está superó en un 18 por ciento de TCH a la variedad CP72-2086, en un 14 por ciento de TCH a la variedad CG98-78 y en un 6 por ciento de TCH a la variedad CG00-033, resaltando que estas son variedades comerciales del Ingenio, además también superó a la variedad promisoría CG04-09514 en 15 por ciento de TCH.

Los resultados obtenidos eran de esperarse, ya que en estudios realizados en un suelo molisol, indica que en promedio el incremento máximo obtenido con las aplicaciones de nitrógeno en las variedades promisorias de alto rendimiento, CG02-163 y la variedad comercial CP72-2086 fueron más altas, respectivamente fueron del 19 y 22 por ciento (Cengicaña, 2017).

En contraposición, la variedad comercial CG98-78 tuvo un menor incremento del orden del 13 por ciento respectivamente y con un rendimiento de caña promedio menor que las tres variedades de alto rendimiento ya mencionadas (Cengicaña, 2017).

En la siguiente figura se presenta la respuesta observada y estimada del rendimiento de caña (TCH) por variedad en un suelo Vertisol de Finca Santa Julia.



**Figura 13. Tendencia de respuesta a nitrógeno en TCH en variedades comerciales y promisorias de alta producción en caña plantía.**

Se puede observar que las variedades presentan diferentes tendencias de respuesta a las aplicaciones de nitrógeno, en cuanto al rendimiento de caña (TCH), se observa que las variedades promisorias CG02-163 y CG04-09514 en promedio respondieron de forma lineal con el aumento de las dosis de nitrógeno, al igual que las variedades comerciales CG98-78 y CG00-033, mientras que la variedad comercial CP72-2086 tuvo una respuesta cuadrática a las aplicaciones de nitrógeno.

Respecto a los resultados de las variedades comerciales y promisorias evaluadas son similares a estudios realizados en un suelo molisol donde indican que la variedad CG02-163 aumentó el rendimiento de caña en forma lineal con el aumento de las dosis de nitrógeno, alcanzando el más alto tonelaje con la dosis más alta de N evaluada.

Según Cengicaña, (2017) en un estudio similar evaluó las variedades CP72-2086, CG98-78 y CG02-163, donde la variedad CP72-2086 presentó una respuesta cuadrática, con rendimientos bajos de caña en comparación con la variedad CG02-163. Mientras que la variedad CG98-78 presentó rendimientos similares a la variedad comercial CP73-1547, con una respuesta cuadrática a las aplicaciones de nitrógeno.

Según los resultados obtenidos de esta investigación, la variedad CP72-2086 tuvo la misma respuesta cuadrática con bajos rendimientos de caña, comparando la variedad promisorio CG02-163 que tuvo rendimientos superiores. En cuanto a la variedad CG98-78 tuvo rendimientos similares a la variedad comercial CG00-033 con una diferencia de 6.94 TCH con una respuesta lineal a las aplicaciones de nitrógeno. Esto quiere decir que los resultados son aceptables ya que son similares a estudios realizados anteriormente.

## 2. Determinación del rendimiento de azúcar en toneladas de azúcar por hectárea.

A continuación, se presenta la respuesta observada y estimada del rendimiento de azúcar en toneladas de azúcar por hectárea, kilogramos de azúcar por tonelada de caña y libras de azúcar por tonelada de caña, con los cuales se realizó un análisis de varianza:

**Cuadro 19. Rendimientos de azúcar por efecto de los niveles de nitrógeno.**

Trat.	Variedad	Nivel N kg/ha	TAH	KgAz/TC	LbAz/TC
T1	CP72 - 2086	0	13.34	93.37	205.85
T2	CP72 - 2086	50	13.60	90.60	199.74
T3	CP72 - 2086	100	15.26	93.18	205.42
T4	CP72 - 2086	150	15.57	95.14	209.74
T5	CP72 - 2086	200	12.92	85.60	188.71
T6	CG98 - 78	0	11.63	89.94	198.28
T7	CG98 - 78	50	15.80	92.15	203.15
T8	CG98 - 78	100	14.90	94.58	208.52
T9	CG98 - 78	150	15.73	92.09	203.03
T10	CG98 - 78	200	15.96	91.14	200.94
T11	CG00 - 033	0	15.11	98.36	216.84
T12	CG00 - 033	50	15.66	98.42	216.97
T13	CG00 - 033	100	16.63	100.69	221.98
T14	CG00 - 033	150	19.25	96.56	212.87
T15	CG00 - 033	200	18.64	99.27	218.84
T16	CG02 - 163	0	13.97	95.19	209.86
T17	CG02 - 163	50	15.56	92.33	203.56
T18	CG02 - 163	100	19.99	97.50	214.95
T19	CG02 - 163	150	17.55	97.55	215.06
T20	CG02 - 163	200	21.70	99.80	220.02
T21	CG04 - 09514	0	9.64	77.47	170.79
T22	CG04 - 09514	50	12.97	80.04	176.46
T23	CG04 - 09514	100	12.09	82.25	181.33
T24	CG04 - 09514	150	16.38	89.63	197.59
T25	CG04 - 09514	200	13.90	74.29	163.77

Se observan los promedios de productividad de azúcar de las variedades evaluadas la cuales presentaron un aumento en el TAH de acuerdo a los niveles de nitrógeno aplicados. Por lo tanto, se realizó un análisis de varianza para comprobar si estadísticamente todos los tratamientos tenían la misma productividad de azúcar. A continuación, se presenta el análisis de varianza:

**Cuadro 20. Resumen del análisis de varianza ANDEVA en la variable de rendimiento de azúcar en un suelo arcilloso del orden vertisol.**

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Probabilidad P>F Rendimiento de azúcar
Modelo	34	819.90	24.09	0.0001
Variedad	4	240.18	60.04	0.085
Bloque	2	131.24	65.62	0.0001
Nivel N kg/ha	4	171.50	42.87	0.0001**
Variedad*Bloque	8	158.31	19.79	0.0018
Variedad*Nivel N kg/ha	16	117.96	7.37	0.1694
Error	40	203.77	5.09	-----
Total	74	1022.96	-----	-----
CV(%)			14.7	

**Nota:** GL = Grados libertad, SM = Sumatoria de cuadrados, CM = Cuadrado medio del error.

Como se observa, el resultado del análisis de varianza indica que se tiene diferencias estadísticas altamente significativas para el factor B = niveles de nitrógeno sobre la variable rendimiento de azúcar y esto es congruente con los valores medios de toneladas de azúcar por hectárea que se presentaron en el cuadro 19, donde se observa un consistente incremento de la producción conforme los niveles de nitrógeno evaluados, esto a su vez indica que el nitrógeno sí tuvo un efecto en las variedades comerciales y promisorias evaluadas.

En tanto que para el factor A = variedades de caña comercial y promisorias no tuvo diferencias estadísticas, así mismo tampoco se tuvo diferencia estadística para la interacción factor A = variedades de caña comerciales y promisorias con el factor B = niveles de nitrógeno.

Para el factor A y la interacción no se tuvo diferencia estadística por lo tanto no se procedió a realizar pruebas de medias de Tukey. Mientras que para el factor B = Niveles de nitrógeno se tuvo diferencia estadística altamente significativa se procedió a realizar una prueba de medias de Tukey con un 5 % de significancia. A continuación, en el cuadro 21 se presentan los resultados:

**Cuadro 21. Comparación de medias en el rendimiento de azúcar para el factor B Niveles de nitrógeno en kg/ha.**

Nivel N kg/ha	TAH	Clasificación	
150	15.55	A	
200	15.29	A	
100	14.51	A	
50	13.54	A	B
0	11.72		B

Según la prueba de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5 % y con un 95 % de confianza, en el cuadro anterior indicó que los mejores niveles de nitrógeno en kg/ha corresponde al orden de 150 kg, 200 kg y 100 kg teniendo los mejores rendimientos de azúcar promedios de 15.55, 15.29 y 14.51 TAH respectivamente.

De acuerdo a los mejores niveles de nitrógeno el punto de inflexión, en la respuesta del rendimiento de azúcar estuvo comprendida entre 150 y 200 kg de N/ha en las variedades de caña evaluadas.

La variedad CP72-2086 de acuerdo a las toneladas de azúcar por hectárea (cuadro 19) respondió mejor al nivel de 150 kg de N/ha correspondiente al tratamiento 4.

En cuanto a la variedad CG98-78 el máximo rendimiento de azúcar de 15.96 toneladas de azúcar por hectárea, se obtuvo con la dosis de 200 kg N/ha correspondiente al tratamiento 10.

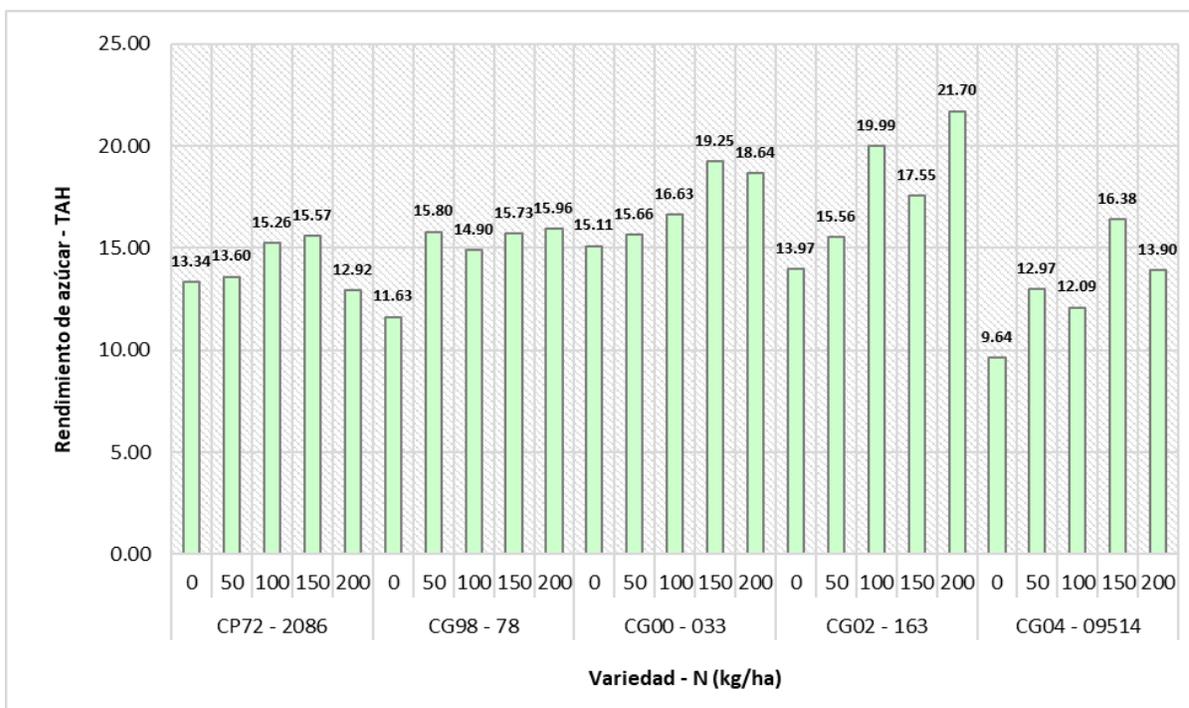
Mientras tanto la variedad CG00-033 el máximo rendimiento de azúcar fue de 19.25 toneladas de azúcar por hectárea, se obtuvo con la dosis de 150 kg de N/ha correspondiente al tratamiento 14.

En tanto que la variedad de caña promisoría CG02-163 tuvo buena respuesta a la aplicación de nitrógeno, por cada nivel de nitrógeno aplicado el rendimiento de azúcar incremento en promedio 1.55 toneladas de azúcar por hectárea, el máximo rendimiento de azúcar fue de 21.70 toneladas de azúcar por hectárea, con la dosis de 200 kg de N/ha correspondiente al tratamiento 20.

La variedad de caña promisoría CG04-09514 el máximo rendimiento azúcar fue de 16.38 toneladas de azúcar por hectárea, se obtuvo con la dosis de 150 kg N/ha correspondiente al tratamiento 21.

Tal como lo indica la prueba de medias los mejores rendimientos de azúcar en todas las variedades de caña estuvieron comprendidas en el punto de inflexión de 150 kg y 200 kg N/ha.

En la siguiente figura se presenta respectivamente el comportamiento del rendimiento de azúcar en un ciclo de evaluación, en cinco variedades de caña (tres comerciales y dos promisorias) y cinco niveles de nitrógeno.



**Figura 14. Efecto de la aplicación de niveles de nitrógeno sobre el rendimiento medio de azúcar (TAH).**

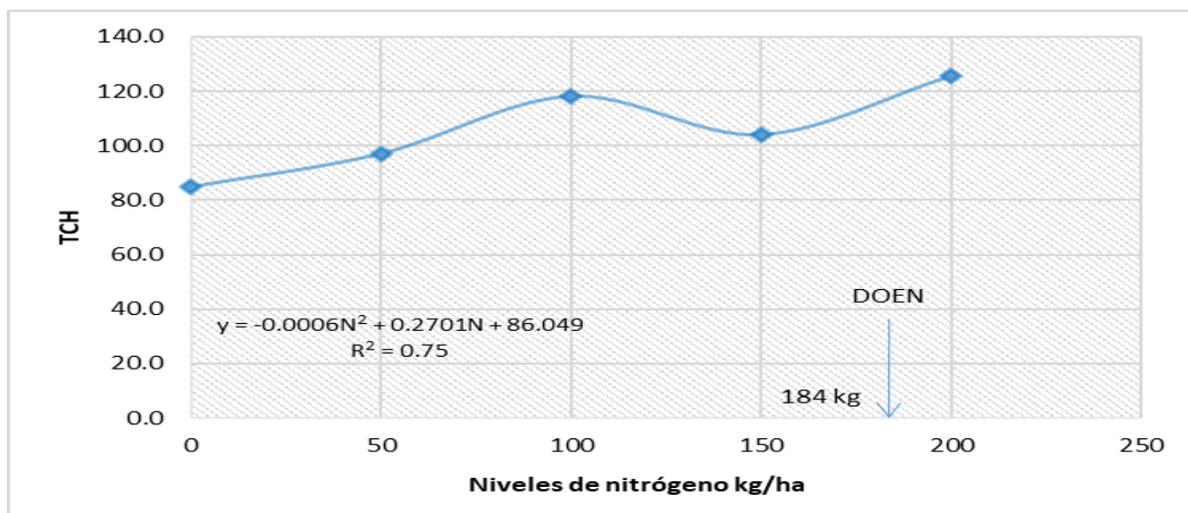
Se puede observar que los niveles de 50 kg, 100 kg, 150 kg y 200 kg de N/ha tuvieron mejores rendimientos de azúcar en comparación con el testigo relativo sin nitrógeno. El incremento en el rendimiento se debe al efecto de la aplicación de los niveles de nitrógeno, confirmando que la variedad de caña promisoría CG02-163 mostró la más alta producción de azúcar con rendimientos importantes aun con las dosis bajas de nitrógeno, lo cual indica que esta variedad tiene una buena adaptación y comportamiento a un suelo arcilloso del orden Vertisol.

La variedad CP72-2086 por su parte no tuvo un buen comportamiento en este ambiente ya que a partir de las dosis de 50 a 100 kg N/ha presentó un crecimiento exponencial en el rendimiento de azúcar, mientras que de las dosis de 150 a 200 kg N/ha el rendimiento decreció. La variedad CG98-78 mostró una respuesta media con un incremento exponencial en el rendimiento de azúcar en este ambiente de suelo arcilloso. Por su parte la variedad CG00-033 mostró una respuesta intermedia con potencial bajo de azúcar.

La variedad CG04-09514 mostró un comportamiento interesante por su alto rendimiento de azúcar con las dosis de 50 a 150 kg N/ha, y teniendo una disminución drástica con las dosis de 200 kg de N/ha (Ver figura 32 y 33 en anexos).

### 3. Determinación de la dosis óptima económica de aplicación de nitrógeno en plantía en las variedades promisorias de caña evaluadas.

Debido al efecto que tuvo la aplicación de los niveles de nitrógeno sobre el rendimiento de caña en las variedades promisorias se determinó la dosis óptima económica en el sitio de evaluación de las variedades promisorias. A continuación, se presenta las medias de TCH y su función de la tendencia cuadrática para la variedad de caña promisorio CG02-163.



**Figura 15. Respuesta estimada en el rendimiento de caña de la variedad promisorio CG02-163 en los diferentes niveles de nitrógeno.**

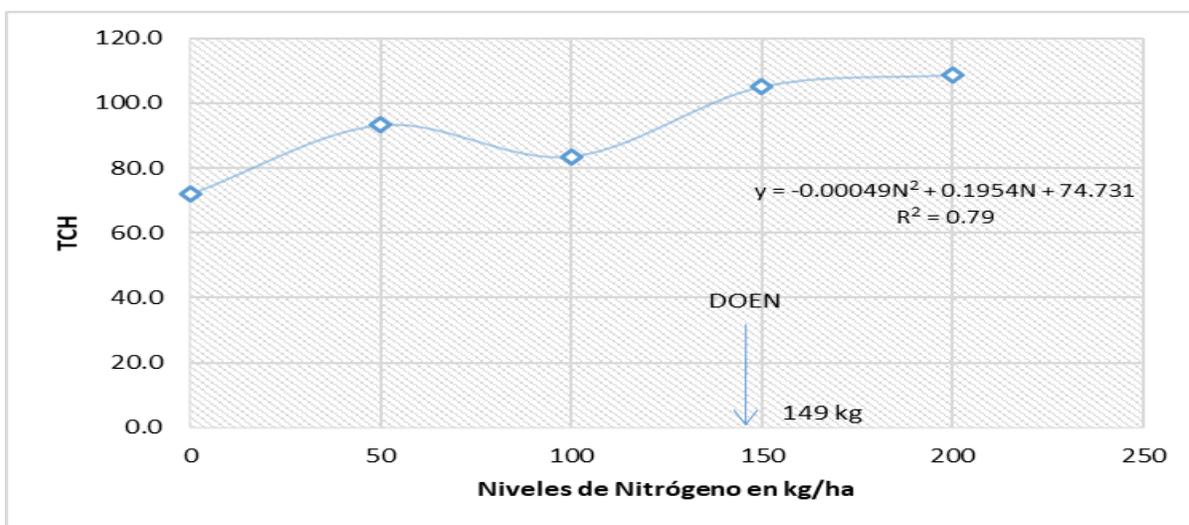
Se puede observar que el rendimiento máximo lo alcanzó con los niveles de 100 kg a 200 kg N/ha en un suelo arcilloso del orden Vertisol en finca Santa Julia. Utilizando precios de campos de Q 8.35 el kg de nitrógeno y Q 168.00 la tonelada métrica de caña, con una relación de insumo - producto (Rel I/P)<sup>3</sup> de 0.0497 se estimó que la dosis óptima económica de nitrógeno (DOEN) para el suelo de finca Santa Julia fue de 184 kg de N/ha.

Aunque para la variedad promisorio CG02-163 en estudios realizados en otras localidades no se le ha calculado la dosis óptima de nitrógeno debido a que no ha llegado a la meseta de su rendimiento, Cengicaña (2017) indica que presenta posibilidades de rendir más, con más nitrógeno.

<sup>3</sup> **Relación** = Insumo (Precio del kg de nitrógeno puro) / Producto (precio de la tonelada métrica de caña)

Se determinó la dosis óptima económica en finca Santa Julia porque aquí si llegó a su meseta de rendimiento que fue a los 150 kg de N/ha.

Para calcular la dosis optima de nitrógeno - DOEN para la variedad promisoría CG04-09514 se utilizaron los mismos precios de Insumo – Productos (Relación Insumo = precio del kg puro de nitrógeno/Precio de tonelada métrica de caña) de la variedad promisoría CG02-163. Lo que cambió fue la ecuación cuadrática para el cálculo de la DOEN. A continuación, en la figura 16 se presenta las medias TCH y la función de la tendencia cuadrática para la variedad de caña promisoría CG04-09514:



**Figura 16. Respuesta estimada en el rendimiento de caña de la variedad promisoría CG04-09514 en los diferentes niveles de nitrógeno.**

Se puede observar que el rendimiento máximo lo alcanzó con los niveles de 150 kg a 200 kg N/ha en un suelo arcilloso del orden Vertisol en finca Santa Julia. utilizando precios de campos de Q 8.35 el kg de nitrógeno y Q 168.00 la tonelada métrica de caña, con la relación insumo - producto (Rel I/P) de 0.0497 se estimó que la dosis optima económica de nitrógeno (DOEN) para la variedad CG04-09514 en el suelo de finca Santa Julia fue de 149 kg de N/ha.

#### 4. Evaluación de parámetros como componentes del rendimiento, población (tallos\*metro lineal), altura cm y diámetro mm.

Los componentes que definen el rendimiento de una variedad de caña, son la población, altura, diámetro. Durante la evaluación del desarrollo de las variedades se obtuvieron parámetros en las variables mencionadas respectivamente. A continuación, se presenta los parámetros de población, altura y diámetros obtenidos en dos muestreos:

**Cuadro 22. Medias de los efectos varietales en las variables población (tallos\*metro lineal), altura cm y diámetro mm.**

Trat.	Variedad	Nivel N kg/ha	Tallos*m lineal	Altura (cm)	Diámetro (mm)
1	CP72-2086	0	14	223.85	20.90
2		50	<b>16</b>	228.40	23.50
3		100	15	233.30	22.45
4		150	15	<b>256.25</b>	<b>23.70</b>
5		200	15	246.55	23.15
6	CG98-78	0	12	227.40	24.35
7		50	13	251.45	25.35
8		100	<b>14</b>	245.35	25.70
9		150	13	<b>263.50</b>	<b>27.15</b>
10		200	14	250.10	25.05
11	CG00-033	0	13	241.10	22.55
12		50	14	251.75	<b>24.30</b>
13		100	14	246.10	22.80
14		150	14	268.85	23.75
15		200	<b>15</b>	<b>292.60</b>	23.15
16	CG02-163	0	16	211.25	21.35
17		50	17	232.50	21.70
18		100	<b>19</b>	247.40	20.90
19		150	17	226.90	21.20
20		200	18	<b>259.85</b>	<b>22.30</b>
21	CG04-09514	0	14	184.60	24.25
22		50	14	208.65	24.15
23		100	<b>17</b>	207.15	24.60
24		150	15	<b>235.55</b>	<b>26.65</b>
25		200	14	225.50	25.60

Se observan los promedios de las variables población (tallos\*m Lin), altura cm y diámetro mm, de dos épocas de muestreo, donde se observan que hay diferencias. Por lo tanto, se procedió a realizar un análisis de varianza para los tratamientos evaluados:

**Cuadro 23. Resumen del análisis de varianza (ANDEVA) para las variables de población (tallos\*m Lin), altura cm y diámetro mm.**

Fuente de variación	Gl	Probabilidad P>F		
		Población	Altura	Diámetro
Modelo	29	0.0195	0.0067	0.0001
Variedad	4	0.2829	0.2967	<b>0.0001 **</b>
Bloque	1	0.3443	0.0539	0.0604
Nivel N kg/ha	4	0.1292	<b>0.0033 **</b>	<b>0.0059 **</b>
Variedad*Bloque	4	0.0054	0.0087	0.9528
Variedad*Nivel N kg/ha	16	0.9924	0.8661	0.4269
Error	20	-----	-----	-----
Total	49	-----	-----	-----
CV (%)			7.89	

Se observa la probabilidad de población (tallos por metro lineal), altura en cm y diámetro en mm, no existe diferencia significativa para la variable población de tallos, de manera que las variedades evaluadas y los niveles del nitrógeno aplicados no provoca diferencias significativas.

Mientras que para la variable diámetro existe diferencia estadística significativa para ambos factores A y B, de manera que las variedades evaluadas y los niveles de nitrógeno aplicados provocan diferencia estadística. En el caso de la variable altura también existe diferencia estadística únicamente para el factor B, esto indica que sólo los niveles de nitrógeno provocan diferencia estadística sobre esta variable, los datos son congruentes ya que se obtuvo un coeficiente de variación de 7.89 % lo que indica que el experimento fue bien manejado.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, se procedió a realizar una prueba de media de Tukey al 5 % de significancia. A continuación, se presentan las pruebas de medias:

**Cuadro 24. Comparación de medias de Tukey al 5 % para la variable diámetro para el factor A variedades comerciales y promisorias.**

Variedad	Diámetro	Clasificación
CG98 – 78	25.52	A
CG04 - 09514	25.05	A
CG00 – 033	23.31	B
CP72 – 2086	22.74	B
CG02 – 163	21.49	C

**Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).**

**Cuadro 25. Comparación de medias de Tukey al 5 % para la variable altura y diámetro para el factor B Niveles de nitrógeno.**

Nivel N kg/ha	Altura	Clasificación	Nivel N kg/ha	Diámetro	Clasificación	
200	254.92	A	150	24.49	A	
150	250.21	A	200	23.85	A	B
100	235.86	A	50	23.8	A	B
50	234.55	A	100	23.29	A	B
0	217.64	B	0	22.68	B	B

**Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).**

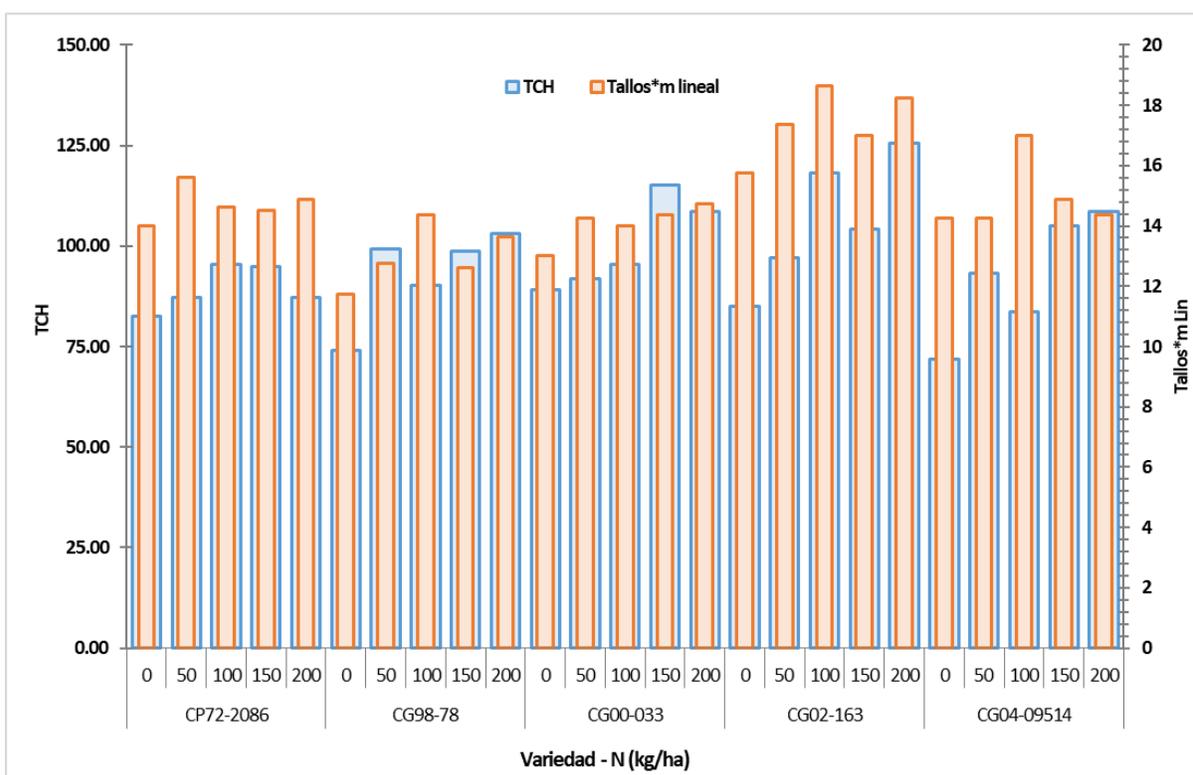
Se presenta la comparación de medias de Tukey al cinco por ciento de significancia de las variables que definen el rendimiento de caña, altura y diámetro, independientemente de los niveles de nitrógeno evaluados respectivamente en finca Santa Julia.

Respecto al factor A “variedades de caña” se observa en el cuadro 24 que en promedio el diámetro de caña fue diferente. La variedad con el diámetro mayor fue la CG98-78 con un promedio de 25.52 mm, superando significativamente a la variedad en estudio CG02-163 que obtuvo un diámetro promedio de 21.49. Las variedades CG04-09514, CG00-033 y CP72-2086 tuvieron diámetros similares entre sí en términos estadísticos de 25.05 mm, 23.31 mm 22.74 mm. La variedad CG02-163 tuvo el menor diámetro de tallo significativamente menor que el resto de variedades evaluadas en donde las variedades CG98-78 y CG04-09514 tuvieron los diámetros más altos.

Mientras que el factor B “Niveles de nitrógeno” se observa en el cuadro 25 que en promedio la variable altura respondió mejor al nivel de 200 kilogramos de N/ha con una altura promedio de 254.92 cm. El diámetro respondió mejor al nivel de 150 kg de N/ha con un diámetro promedio 24.49 mm.

En términos estadísticos se encontraron diferencias altamente significativas para la variable diámetro, en promedio los datos fueron similares para los cinco niveles de nitrógeno que se evaluaron. La variedad diámetro no es una variable tan importante para que se refleje el efecto del nitrógeno.

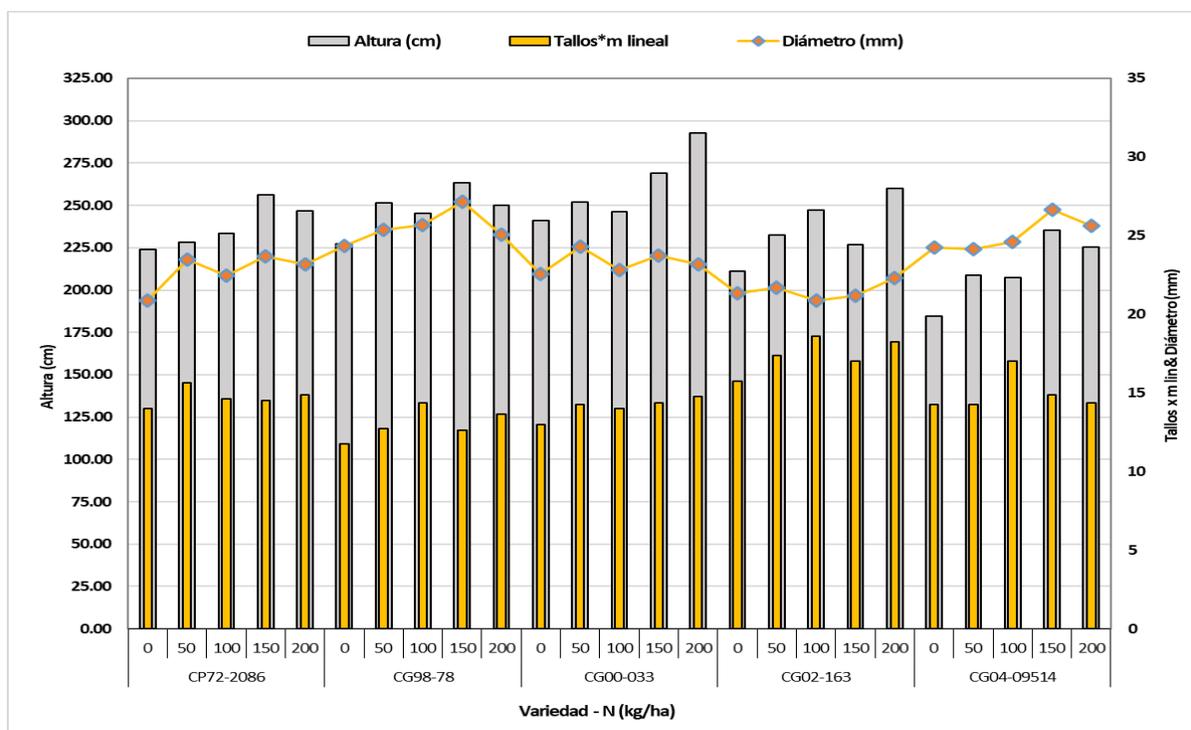
En términos estadísticos la población de tallos por metro lineal no se tuvo diferencia significativa, pero se puede ver la relación que hay con el rendimiento de caña; ya que a mayor población mayor tonelada de caña por hectárea. A continuación, se presenta la relación que hay entre la población y el rendimiento de caña:



**Figura 17. Relación de la población de tallos por metro lineal con el rendimiento de caña.**

Se puede observar la relación de la población de tallos por metro lineal con el rendimiento de caña, se puede ver que las toneladas de caña están estrechamente relacionadas con la población, a pesar de que la variedad promisoría CG02-163 tuvo la menor altura y diámetro, no se vio afectado en el rendimiento ya que lo compensó con la población.

En la siguiente figura se muestra respectivamente el comportamiento de los parámetros como componentes de rendimiento de caña (tallos por metro lineal, altura y diámetro) según las cinco variedades y cinco niveles de nitrógeno evaluados en finca Santa Julia:



**Figura 18. Variables de tallos \* metro lineal, altura y diámetro según las aplicaciones de nitrógeno.**

Se observan los promedios de las variables de biometría (tallos por metro lineal, altura y diámetro), donde están estrechamente relacionadas con el rendimiento de caña, ya que a mayor población de tallos metro lineal, altura cm y diámetro se tiene mayor rendimiento en toneladas de caña por hectárea, y como era de esperar conforme se iba incrementando los niveles de nitrógeno los parámetros incrementaron.

La variable altura presentó diferencia estadística altamente significativa respecto al factor nivel de nitrógeno, siendo la variedad CG00-033 la que presentó la mayor altura promedio con 260 cm, mientras que las demás variedades presentaron una altura promedio de 234 cm.

Para la variable diámetro en el factor variedad y factor niveles de nitrógeno se tuvo diferencias estadísticas altamente significativas, siendo la variedad CG98-78 la que tuvo el mayor diámetro promedio de 26 mm, seguidos de la variedad CG04-09514, CP72-2086, CG00-033 y CG02-163, con diámetros promedios de 25 mm, 23 mm y 21 mm respectivamente. De acuerdo a esto, la aplicación de los niveles de nitrógeno, influyen sobre las variables altura y diámetro, principalmente con la variedad CG00-033, presentó una altura de 293 cm con la dosis de 200 kg N/ha.

## 5. Determinación del análisis económico con base a la rentabilidad con presupuestos parciales y la mejor tasa marginal de retorno en los tratamientos que mostraron diferencias estadísticas significativas.

Según el análisis estadístico de TCH y TAH no muestran diferencias estadísticas para el factor A variedad, sin embargo, se determinó que existe diferencia estadística para el factor niveles de N kg/ha respectivamente. A continuación, se presenta el análisis de rentabilidad del experimento, por medio de la metodología de presupuestos parciales, tomando como referencia la comparación de medias, para el factor variedad de caña y niveles de N kg/ha.

### 5.1. Identificación de los rubros de costos relevantes

Al evaluar económicamente la aplicación de nitrógeno en variedades comerciales y promisorias en plantía, se determinó que los rubros asociados en la siembra y la aplicación de nitrógeno, incluyen los costos de preparación, siembra, fertilización, y cosecha del cultivo.

### 5.2. Estimación de los precios de campo de los insumos

Son los costos asociados en la ejecución del ensayo, tales costos de aplicación, costo de siembra, costo de combustible y fertilizantes, a continuación, se presentan los precios de los insumos puesto en los lotes del cultivo de caña.

**Cuadro 26. Rubros utilizados en la evaluación de variedades de caña de azúcar comerciales y promisorias a la aplicación de nitrógeno en plantía.**

Rubro	Cantidad (kg)	Costo
Fertilización Urea 46 - 0 - 0	50	\$ 73.25
Fertilización Urea 46 - 0 - 0	100	\$ 94.72
Fertilización Urea 46 - 0 - 0	150	\$ 116.20
Fertilización Urea 46 - 0 - 0	200	\$ 137.67
Preparación de terreno	-----	\$ 73.74
Siembra	-----	\$ 446.31

Fuente. Planificación y control, (2018)

Se puede observar los rubros que se utilizaron para el cálculo de los costos que varía por tratamiento evaluado, los costos de los rubros se obtuvieron en planificación y control y están con base a la unidad de área de una hectárea.

### 5.3. Estimación de los costos que varían

La estimación de los costos que varían se realizó para la evaluación de las variedades sobre una hectárea, utilizando los precios de campo de los insumos necesarios. A continuación, se presenta los costos que varían en la preparación de terreno, siembra y aplicación de fertilizante mecanizado.

**Cuadro 27. Costos que varían por hectárea de fertilización en la evaluación de variedades de caña comerciales y promisorias.**

Trat.	Factor A (Variedades)	Factor B (Nitrogeno)	Costo preparación	Costo siembra	Costo Total labor	Costo fertilización	Costos Varian
T1	CP72-2086	0 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ -	\$ 520.05
T2	CP72-2086	50 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 73.25	\$ 593.30
T3	CP72-2086	100 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 94.72	\$ 614.77
T4	CP72-2086	150 Kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 116.20	\$ 636.25
T5	CP72-2086	200 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 137.67	\$ 657.72
T6	CG98-78	0 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ -	\$ 520.05
T7	CG98-78	50 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 73.25	\$ 593.30
T8	CG98-78	100 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 94.72	\$ 614.77
T9	CG98-78	150 Kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 116.20	\$ 636.25
T10	CG98-78	200 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 137.67	\$ 657.72
T11	CG00-033	0 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ -	\$ 520.05
T12	CG00-033	50 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 73.25	\$ 593.30
T13	CG00-033	100 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 94.72	\$ 614.77
T14	CG00-033	150 Kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 116.20	\$ 636.25
T15	CG00-033	200 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 137.67	\$ 657.72
T16	CG02-163	0 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ -	\$ 520.05
T17	CG02-163	50 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 73.25	\$ 593.30
T18	CG02-163	100 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 94.72	\$ 614.77
T19	CG02-163	150 Kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 116.20	\$ 636.25
T20	CG02-163	200 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 137.67	\$ 657.72
T21	CG04-09514	0 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ -	\$ 520.05
T22	CG04-09514	50 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 73.25	\$ 593.30
T23	CG04-09514	100 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 94.72	\$ 614.77
T24	CG04-09514	150 Kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 116.20	\$ 636.25
T25	CG04-09514	200 kg N/ha	\$ 73.74	\$ 446.31	\$ 520.05	\$ 137.67	\$ 657.72

En el siguiente cuadro se presenta los costos de aplicación para cada tratamiento, los costos totales se repitieron en unos tratamientos debido a que se utilizó la misma dosis de nitrógeno, además para cada uno se detalló los costos utilizados, incluyendo costos de fertilización, costos de preparación y costos de siembra. De acuerdo a los costos que varían a continuación, en el cuadro 28 se presentan los beneficios netos:

**Cuadro 28. Beneficios netos para los tratamientos evaluados en variedades de caña comerciales y promisorias.**

Trat.	Factor A (Variedades)	Factor B (Nitrogeno)	Rend. Epx. Corregido	Rendimiento Ajustado	Beneficios Brutos	Costos que Varian	Beneficios Netos
T20	CG02-163	200 kg N/ha	125.56	106.72	\$2,315.91	\$ 657.72	\$ 1,658.19
T18	CG02-163	100 kg N/ha	118.19	100.46	\$2,180.00	\$ 614.77	\$ 1,565.23
T14	CG00-033	150 Kg N/ha	115.08	97.82	\$2,122.69	\$ 636.25	\$ 1,486.44
T25	CG04-09514	200 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 657.72	\$ 1,106.60
T15	CG00-033	200 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 657.72	\$ 1,106.60
T24	CG04-09514	150 Kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 636.25	\$ 1,128.08
T19	CG02-163	150 Kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 636.25	\$ 1,128.08
T10	CG98-78	200 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 657.72	\$ 1,106.60
T7	CG98-78	50 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 593.30	\$ 1,171.03
T9	CG98-78	150 Kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 636.25	\$ 1,128.08
T17	CG02-163	50 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 593.30	\$ 1,171.03
T3	CP72-2086	100 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 614.77	\$ 1,149.55
T13	CG00-033	100 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 614.77	\$ 1,149.55
T4	CP72-2086	150 Kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 636.25	\$ 1,128.08
T22	CG04-09514	50 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 593.30	\$ 1,171.03
T12	CG00-033	50 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 593.30	\$ 1,171.03
T8	CG98-78	100 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 614.77	\$ 1,149.55
T11	CG00-033	0 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 520.05	\$ 1,244.27
T5	CP72-2086	200 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 657.72	\$ 1,106.60
T2	CP72-2086	50 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 593.30	\$ 1,171.03
T16	CG02-163	0 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 520.05	\$ 1,244.27
T23	CG04-09514	100 kg N/ha	95.65	81.31	\$1,764.32	\$ 614.77	\$ 1,149.55
T1	CP72-2086	0 kg N/ha	82.65	70.25	\$1,524.39	\$ 520.05	\$ 1,004.34
T6	CG98-78	0 kg N/ha	74.07	62.96	\$1,366.17	\$ 520.05	\$ 846.12
T21	CG04-09514	0 kg N/ha	71.82	61.05	\$1,324.78	\$ 520.05	\$ 804.73

Se muestran los resultados de los rendimientos ajustados de la producción obtenida, y el beneficio neto en dólares, a la cual se le aplicó el análisis de dominancia para determinar el o los tratamientos que en términos de ganancias tengan la posibilidad de ser seleccionados para ser recomendados. A continuación, se presenta el análisis de dominancia:

**Cuadro 29. Análisis de dominancia para los tratamientos evaluados en variedades de caña comerciales y promisorias.**

Trat.	Factor A (Variedades)	Factor B (Nitrogeno)	Costos que varian	Beneficios netos	Observación cambio tratamiento	Decisión
T11	CG00-033	0 kg N/ha	\$ 520.05	\$ 1,244.27		No dominado
T16	CG02-163	0 kg N/ha	\$ 520.05	\$ 1,244.27	De T11 a T16	Dominado
T1	CP72-2086	0 kg N/ha	\$ 520.05	\$ 1,004.34	De T11 a T1	Dominado
T6	CG98-78	0 kg N/ha	\$ 520.05	\$ 846.12	De T11 a T6	Dominado
T21	CG04-09514	0 kg N/ha	\$ 520.05	\$ 804.73	De T11 a T21	Dominado
T7	CG98-78	50 kg N/ha	\$ 593.30	\$ 1,171.03	De T11 a T7	Dominado
T17	CG02-163	50 kg N/ha	\$ 593.30	\$ 1,171.03	De T11 a T17	Dominado
T22	CG04-09514	50 kg N/ha	\$ 593.30	\$ 1,171.03	De T11 a T22	Dominado
T12	CG00-033	50 kg N/ha	\$ 593.30	\$ 1,171.03	De T11 a T12	Dominado
T2	CP72-2086	50 kg N/ha	\$ 593.30	\$ 1,171.03	De T11 a T2	Dominado
T18	CG02-163	100 kg N/ha	\$ 614.77	\$ 1,565.23	De T11 a T18	No dominado
T3	CP72-2086	100 kg N/ha	\$ 614.77	\$ 1,149.55	De T18 a T3	Dominado
T13	CG00-033	100 kg N/ha	\$ 614.77	\$ 1,149.55	De T18 a T13	Dominado
T8	CG98-78	100 kg N/ha	\$ 614.77	\$ 1,149.55	De T18 a T8	Dominado
T23	CG04-09514	100 kg N/ha	\$ 614.77	\$ 1,149.55	De T18 a T23	Dominado
T14	CG00-033	150 Kg N/ha	\$ 636.25	\$ 1,486.44	De T18 a T14	Dominado
T24	CG04-09514	150 Kg N/ha	\$ 636.25	\$ 1,128.08	De T18 a T24	Dominado
T19	CG02-163	150 Kg N/ha	\$ 636.25	\$ 1,128.08	De T18 a T19	Dominado
T9	CG98-78	150 Kg N/ha	\$ 636.25	\$ 1,128.08	De T18 a T9	Dominado
T4	CP72-2086	150 Kg N/ha	\$ 636.25	\$ 1,128.08	De T18 a T4	Dominado
T20	CG02-163	200 kg N/ha	\$ 657.72	\$ 1,658.19	De T18 a T20	No dominado
T25	CG04-09514	200 kg N/ha	\$ 657.72	\$ 1,106.60	De T20 a T25	Dominado
T15	CG00-033	200 kg N/ha	\$ 657.72	\$ 1,106.60	De T20 a T15	Dominado
T10	CG98-78	200 kg N/ha	\$ 657.72	\$ 1,106.60	De T20 a T10	Dominado
T5	CP72-2086	200 kg N/ha	\$ 657.72	\$ 1,106.60	De T20 a T5	Dominado

Se puede observar el análisis de dominancia donde se tiene que el tratamiento 11, tratamiento 18 y tratamiento 20 fueron los tratamientos no dominados, por lo consiguiente se procede a determinar la tasa marginal de retorno para el análisis final el cual se presenta a continuación:

**Cuadro 30. Tasa Marginal de Retorno para los tratamientos evaluados no dominados en variedades de caña comerciales y promisorias.**

Trat.	Factor A (Variedades)	Factor B (Nitrogeno)	Beneficio Neto	Costo variación	Cambio beneficio neto	Cambio costo variable	TMR %
T11	CG00-033	0 kg N/ha	\$ 1,244.27	\$ 520.05	\$ -	\$ -	
T18	CG02-163	100 kg N/ha	\$ 1,565.23	\$ 614.77	\$ 320.95	\$ 94.72	338.84
T20	CG02-163	200 kg N/ha	\$ 1,658.19	\$ 657.72	\$ 92.96	\$ 42.95	216.44

Se puede observar el cálculo de la tasa marginal de retorno de los tratamientos no dominados mostrados en el cuadro 30, se determinó que el tratamiento 18 es el que muestra la mayor tasa marginal de retorno (338.84 por ciento).

Esta determinación se realizó comparando la tasa marginal de retorno obtenida en el cuadro 31 con la tasa mínima de retorno, la cual se obtuvo con el segundo valor de los tratamientos no dominados. El T18 = CG02-163 + 100 kg Nitrógeno/ha, es el segundo de los tratamientos no dominados, por lo tanto, es económicamente más rentable que el resto de los tratamientos evaluados. A continuación, se presenta la determinación del tratamiento más rentable:

**Cuadro 31. Análisis de residuos para los tratamientos evaluados no dominados en variedades de caña comerciales y promisorias.**

Trat.	Factor A (Variedades)	Factor B (Nitrogeno)	Costo variación	Beneficio Neto	Costo oportunidad de los costos variación	Residuo
T11	CG00-033	0 kg N/ha	\$ 520.05	\$ 1,244.27	\$ 520.05	\$ 631.95
T18	CG02-163	100 kg N/ha	\$ 614.77	\$ 1,565.23	\$ 614.77	\$ 950.45
T20	CG02-163	200 kg N/ha	\$ 657.72	\$ 1,658.19	\$ 657.72	\$ 1,000.46

Se puede observar el análisis de residuos de los tratamientos no dominados, este análisis defiende los resultados que se obtuvieron en la tasa mínima de retorno (TAMIR). Según Hernández (2001) por regla general el tratamiento más rentable es que tiene los mayores residuos, en este caso es el T20 = Variedad CG02-163 + 200 kg de Nitrógeno por hectárea.

## VII. CONCLUSIONES

1. Los resultados de esta investigación son específicos y valederos a las condiciones de la finca Santa Julia, perteneciente al tercer tercio de corte, con suelo arcilloso según la taxonomía de suelo pertenece al orden Vertisol, y al ubicarse a 144 metros sobre el nivel del mar se ubica en el estrato medio de la zona cañera de Guatemala.
2. Se acepta la hipótesis alternativa dos ( $H_{a2}$ ), debido a que existió diferencias estadísticas altamente significativas para el factor niveles de nitrógeno, donde se determinó que el tratamiento 20 correspondiente a la variedad promisorio CG02-163 fue la que produjo el máximo rendimiento promedio de caña de 125.26 TCH en plantía con la dosis de 200 kilogramos de nitrógeno por hectárea.
3. El efecto de nitrógeno fue estadísticamente significativo en cuanto al rendimiento de azúcar. Siendo el tratamiento 20 correspondiente a la variedad promisorio CG02-163 la que presentó el máximo rendimiento promedio de azúcar en plantía de 21.70 TAH con la dosis de 200 kilogramos de nitrógeno por hectárea, en promedio este tratamiento dio diferencias de 13 TAH con respecto a los otros tratamientos. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa dos ( $H_{a2}$ ).
4. Se determinó la dosis óptima económica de nitrógeno - DOEN para las variedades promisorias en plantía, de 184 kg de nitrógeno por hectárea para la variedad CG02-163 y una dosis óptima económica de nitrógeno de 149 kg de nitrógeno por hectárea para la variedad promisorio CG04-09514.
5. En los parámetros como componentes de rendimiento, se determinó que hay diferencia estadística altamente significativa para el factor A = variedades comerciales y promisorias en la variable diámetro, siendo la variedad comercial CG98-78 la que expresó el mejor desarrollo en el diámetro promedio con 25.52 mm.

6. Se determinó que hay diferencia estadística altamente significativa para el factor niveles de nitrógenos sobre las variables de altura y diámetro de caña, siendo la altura máxima de 254.92 cm, correspondiente a la dosis de 200 kg N/ha, en cuanto al diámetro máximo fue de 24.49 mm correspondiente a la dosis de 150 kg N/ha.
7. Aunque para la variable población no se tiene diferencias estadísticas, en promedio se tuvieron buenas poblaciones, siendo la variedad promisoría CG02-163 la que tuvo el mayor incremento promedio en la población de 17 tallos por metro lineal. En tanto que las variedades que la siguen son la CP72-2086 y CG04-09514 con 15 tallos por metro lineal respectivamente.
8. Se determinó con el análisis económico de los tratamientos evaluados de caña comerciales y promisorias en plantía, para la variable rendimiento de caña (TCH), que el mejor fue el tratamiento 18, que corresponde a la variedad promisoría CG02-163 + la dosis de 100 kg N/ha, siendo económicamente superior que los demás tratamientos, presentando una tasa marginal de retorno de 338.84 %.

## VIII. RECOMENDACIONES

1. Bajo las condiciones estudiadas en caña plantía la variedad promisoría CG02-163 en un suelo del orden Vertisol, es conveniente hacer aplicaciones de 184 kg de nitrógeno por hectárea, ya que fue la dosis óptima económica de nitrógeno que se determinó, ya que estadísticamente respondió bien a las aplicaciones de altas dosis expresando los máximos rendimiento de caña.
2. La variedad promisoría CG02-163 en un suelo Vertisol se deben hacer evaluaciones en primera y segunda soca para determinar las dosis a las que responde mejor esta variedad, ya que estudios por CENGICANÑA las variedades después de corte de plantía a soca son más exigentes a nitrógeno.
3. Los resultados obtenidos en la evaluación son específicamente para un suelo del orden Vertisol, para poder hacer la aplicación a nivel de ingenio, se deberá realizar ensayo en otra localidad con diferentes condiciones de suelo.
4. Realizar evaluaciones a mayor escala y en diversos ambientes, la respuesta a nitrógeno en la variedad CG02-163 que destacó en este experimento para validar la respuesta y las recomendaciones de nitrógeno.
5. Los resultados obtenidos en la evaluación son específicamente para una zona del ingenio por lo que es importante que validen los resultados obtenidos en otras condiciones de acuerdo con el estrato y tipo de suelo de otras fincas administradas por el Ingenio.

## IX. REFERENCIAS

- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar – CENGICAÑA. (2012). *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. <https://cengicana.org/files/20170103101309141.pdf>
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar – CENGICAÑA. (2016). *Respuesta de variedades nuevas de caña de azúcar a nitrógeno en plantía en un suelo molisol de la zona cañera de Guatemala*. <https://cengicana.org/files/20170927132738697.pdf>
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar – CENGICAÑA. (2017). *Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2016 – 2017*. <https://cengicana.org/files/2018091908524687.pdf>
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar – CENGICAÑA. (2017). *Respuesta de variedades de caña de azúcar a nitrógeno en un suelo molisol de la zona cañera de Guatemala*. <https://cengicana.org/files/20170929111950263.pdf>
- Comité Nacional para el desarrollo Sustentable de la caña de azúcar – CONADESUCA. (2015). *Ficha técnica del cultivo de la caña de azúcar Saccharum officinarum L.* Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación – SAGARPA. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha\\_Tcnica\\_Ca\\_a\\_de\\_Az\\_car.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_Tcnica_Ca_a_de_Az_car.pdf)

Consuegra, C. (2014). *Productividad de las Variedades CP88-1165, CP73-1547 y CP72-2086 de la Agroindustria Azucarera en Base a la Zonificación Agroecológica, de la Costa Sur de Guatemala, Cengicaña*. [Tesis de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2742/1/INTEGRADO%20CARLOS%20CONSUEGRA%20Final.pdf>

Corporación Disagro (2018). *Características físicas y químicas del fertilizante urea*. <http://www.disagro.com/es/producto/pelicano-aplicacion-al-suelo>

Díaz Montejó, L. y Portocarrero Rivera, E. (2002). *Manual de producción de caña de azúcar Saccharum officinarum L.* [Tesis Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Universidad Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2247/1/CPA-2002-T043.pdf>

Duarte Álvarez, O. y González Villalba, J. (2019). *Guía técnica cultivo de caña de azúcar*. [Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Asunción]. [https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt\\_01.pdf](https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_01.pdf)

Grupo AGROVITRA (2020). *La gran importancia del nitrógeno en las plantas*. <https://www.agrovitra.com/la-importancia-del-nitrogeno-en-las-plantas/>

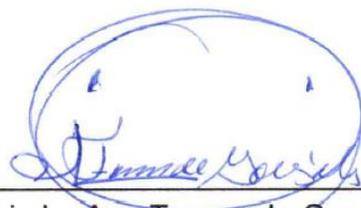
Herrera, A. (2015). *Evaluación del sistema de riego por mini aspersion en caña de azúcar Saccharum officinarum L., en las fincas El Minar y Santander, del ingenio Tuluá, S.A., San Andrés Villa Seca, Retalhuleu*. [Tesis de Agronomía Tropical. Universidad de San Carlos de Guatemala]. [http://www.repositorio.usac.edu.gt/5107/1/Documento\\_graduacion.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/5107/1/Documento_graduacion.pdf)

- Instituto del Cambio Climático – ICC (2018). *Información climática de temperatura y humedad relativa de Ingenio Tzulá*. <https://redmet.icc.org.gt/login>
- López, A. (2008). *Evaluación de dosis de nitrógeno en variedades comerciales y en expansión en Plantía y Primera Soca*. [Tesis de Agronomía Tropical]. Centro Universitario del Suroccidente. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Orozco, H. (2014). *Catálogo de Variedades Comerciales y Potenciales para el Ingenio Tzulá*. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar – CENGICAÑA.
- Orozco, H. y Buc, R. (2020). *Descriptor botánico de variedades potenciales para la agroindustria de Guatemala*. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar – CENGICAÑA.
- Pérez, O. (2015). *Manejo del nitrógeno en el cultivo de caña de azúcar impartido en el diplomado de ingeniería cañera*. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar – CENGICAÑA. Presentación PPT.
- Perdomo, C., Barbazán, M. y Durán Manzoni, J. (2013). *El nutriente nitrógeno*. Catedra de Suelos, Aguas y Fertilidad. [Universidad de la República de Uruguay]. <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>
- Pereyra, M. (2001). *Asimilación de nitrógeno en las plantas*. [Tesis de Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Pampa]. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Asimilacion%20del%20nitrogeno.pdf>

Reyes, M. (2001). *Análisis económico de experimentos agrícolas con presupuestos parciales*. [Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala].  
<https://www.researchgate.net/publication/334655730>

Romero, E., Dignonzelli, P. y Scandaliaris, J. (2009). *Manual del cañero*. EEAOC – Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Las Talitas.  
[http://agrodigital.producciontucuman.gob.ar/uploads/documentos/manual\\_cani\\_ero\\_EEAOC.pdf](http://agrodigital.producciontucuman.gob.ar/uploads/documentos/manual_cani_ero_EEAOC.pdf)

Vo. Bo.



Licda. Ana Teresa de González  
Bibliotecaria CUNSUROC



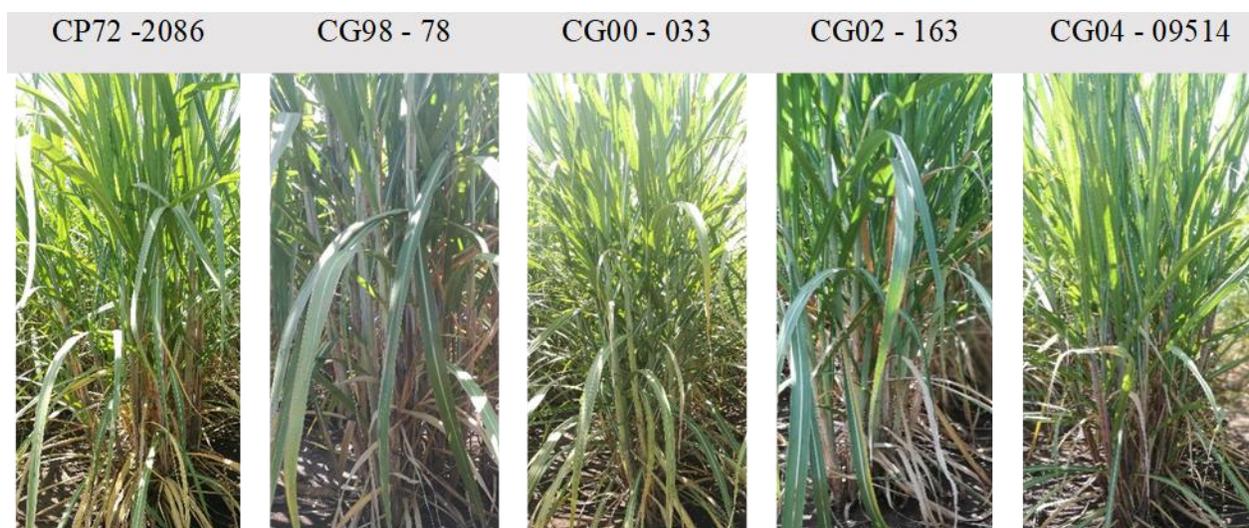
## X. ANEXOS



Figura 19. Logística de ejecución de ensayo.



Figura 20. Aplicación de fertilizante nitrogenado.



**Figura 21. Desarrollo de las variedades comerciales y promisorias utilizadas en la evaluación de fertilización de nitrógeno en planta.**



**Figura 22. Medición de parámetros como componentes de rendimiento.**



**Figura 23. Logística de cosecha de ensayo.**

**Cuadro 32. Medias de población, altura y diámetro de tallos de variedades comerciales y promisorias a los 7 meses.**

Variedad	Población (tallos/8 m lineales)	Altura (m)	Diámetro (mm)
CG00 -033	112.40	260.08	23.31
CG02 - 163	139.15	235.58	21.49
CG04 - 09514	119.25	212.29	25.05
CG98 - 78	104.00	247.56	25.52
CP72 - 2086	117.85	237.67	22.74

**Cuadro 33. Medías de población, altura y diámetro de tallos bajo cinco niveles de nitrógeno evaluados.**

Nivel de N kg/ha	Población (tallos/8 m lineales)	Altura (m)	Diámetro (mm)
0	110	217.64	22.68
50	118.5	234.55	23.8
100	125.7	235.86	23.29
150	117.25	250.21	24.49
200	121.2	254.92	23.85

**Cuadro 34. Medias de rendimiento de caña (TCH) en variedades de caña comercial y promisorias según niveles de nitrógeno aplicados en caña plantía.**

N (kg/ha)	CP72 - 2086	CG98 - 78	CG00 - 033	CG02 - 163	CG04 - 09514	Promedio
0	82.65	74.07	89.11	85.03	71.82	80.53
50	87.22	99.15	91.85	97.14	93.19	93.71
100	95.33	90.10	95.31	118.19	83.51	96.49
150	94.82	98.84	115.08	104.11	105.03	103.57
200	87.29	103.10	108.61	125.56	108.67	106.65
<b>Promedio</b>	<b>89.46</b>	<b>93.05</b>	<b>99.99</b>	<b>106.01</b>	<b>92.45</b>	<b>96.19</b>

**Cuadro 35. Medias de rendimiento de azúcar (TAH) en variedades de caña comerciales y promisorias según niveles de nitrógeno aplicados en caña plantía.**

N (kg/ha)	CP72 - 2086	CG98 - 78	CG00 - 033	CG02 - 163	CG04 - 09514	Promedio
0	13.34	11.63	15.11	13.97	9.64	<b>12.74</b>
50	13.60	15.80	15.66	15.56	12.97	<b>14.72</b>
100	15.26	14.90	16.63	19.99	12.09	<b>15.78</b>
150	15.57	15.73	19.25	17.55	16.38	<b>16.90</b>
200	12.92	15.96	18.64	21.70	13.90	<b>16.63</b>
<b>Promedio</b>	<b>14.14</b>	<b>14.80</b>	<b>17.06</b>	<b>17.76</b>	<b>13.00</b>	<b>15.35</b>

**Cuadro 36. Principales características del suelo en el área de estudio de Finca Santa Julia, Ingenio Tululá.**

Finca	Lote	Estrato	Conductividad Eléctrica (dS m-1)	pH en agua	Materia Orgánica	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Fósforo	Cobre	Cinc	Hierro	Manganeso	Boro	Tipo de Textura
						Meq intercambiables/100 g suelo				(ppm)						
Santa Julia	0050304	0-20	0.11	6.47	1.96	5.32	3.17	1.04	0.29	0.95	4.52	5.07	37.39	151.21	1.03	Arcilloso

**Fuente. Laboratorio agronómico Cengicaña, (2018).**