

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

INTERACCIÓN VINAZA-FERTILIZANTE INORGÁNICO EN LA NUTRICIÓN
DE CAÑA DE AZÚCAR; SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA
TESIS DE GRADO

LIGIA IVETH ACÁN AGUILAR
CARNET 21680-06

ESCUINTLA, SEPTIEMBRE DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

INTERACCIÓN VINAZA-FERTILIZANTE INORGÁNICO EN LA NUTRICIÓN
DE CAÑA DE AZÚCAR; SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
LIGIA IVETH ACÁN AGUILAR

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERA AGRÓNOMA CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADA

ESCUINTLA, SEPTIEMBRE DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA: ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

LIC. FERNANDO HERNANDEZ HERNANDEZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

DRA. MARÍA ANTONIETA ALFARO VILLATORO
MGTR. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTIZ
ING. MANUEL RODRIGO SALAZAR RECINOS

Guatemala, 18 de agosto de 2015

Honorable Consejo de
La Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente.

Distinguidos Miembros del Consejo:

Por este medio hago contar que he procedido a revisar el Informe Final de Tesis del estudiante Ligia Iveth Acan Aguilar, que se identifica con carné 21680 06, titulado: "**Interaccion vinaza-fertilizante inorgánico en la nutrición de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en Finca San Vicente Baúl, Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla.**" El cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad para ser aprobado, por lo que solicito sea revisado por la terna que designe el Honorable Consejo de la Facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,


Ing. Agr. Fernando Hernández Hernández
Colegiado No. 4026

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis, de Grado de la estudiante LIGIA IVETH ACÁN AGUILAR, Carnet 21680-06 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 0694-2015 de fecha 29 de agosto de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**INTERACCIÓN VINAZA-FERTILIZANTE INORGÁNICO EN LA NUTRICIÓN
DE CAÑA DE AZÚCAR; SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA**

Previo a conferírsele el título de INGENIERA AGRÓNOMA CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 10 días del mes de septiembre del año 2015.



ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios, por permitirme culminar mis estudios y cumplir una meta más en mi vida.

Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas de la Universidad Rafael Landívar, por brindarme los conocimientos adquiridos.

Ing. Agr. Fernando Hernandez por su valiosa asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

Corporación Pantaleón por permitirme realizar mi trabajo de investigación.

Equipo de Recursos Humanos Agrícola de Ingenio Pantaleón por su apoyo incondicional y colaboración en la ejecución de este trabajo.

DEDICATORIA

A:

Dios,

Por darme la fuerza, voluntad, la fe, el amor y la sabiduría necesaria para lograr culminar mis estudios. Por su inmensa fidelidad en mi vida.

Mis Padres,

José Leonardo Acán Ajín y Julia Yolanda Aguilar de Acán

Por su amor, comprensión y orientación a lo largo de mi vida, por los principios y valores que inculcaron en mí y ustedes ser ejemplo a seguir. Por enseñarme que con esfuerzo y dedicación se pueden alcanzar nuestros sueños.

Mis hermanos,

José Leonardo y Maria Alejandra

Por sus sabios consejos, amor incondicional, darme la motivación y entusiasmo para terminar con éxito mis metas propuestas.

A mi hija,

Alisson Iveth Gutiérrez Acán

Por ser mi tesoro más preciado, mi inspiración y mi fuerza para seguir adelante, por representar todo lo que me constituye y darle sentido a mi vida.

A mis amigos,

Quienes han sido pilares a lo largo de mi vida, por permitirme compartir muchas experiencias con ellos.

ÍNDICE

Contenido	Página
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR	3
2.1.1 Origen de la caña de azúcar	3
2.1.2 Importancia socioeconómica del cultivo para Guatemala	4
2.1.3 Descripción de la caña de azúcar	5
2.2. LA VINAZA	5
2.2.1 Características y descripción de la vinaza	6
2.3 USO DE LA VINAZA COMO FERTILIZANTE	8
2.3.1 Fertilización líquida con vinazas concentradas	9
2.3.2 Posibles usos de las vinazas	11
2.3.3 Efectos de las vinazas en el suelo	11
2.3.4 Efectos de las vinazas sobre la caña de azúcar	11
2.3.5 Formas de aplicación	12
2.4 CATEGORIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO	13
2.5 RECOMENDACIONES DE NITRÓGENO	14
2.5.1 Respuesta del cultivo a las aplicaciones de nitrógeno	14
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15

Contenido	Página
3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION DEL TRABAJO	15
IV. OBJETIVOS	17
4.1. OBJETIVO GENERAL	17
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
V. HIPÓTESIS	18
VI. MATERIALES Y METODOS	19
6.1. LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO	19
6.2. MATERIAL EXPERIMENTAL	19
6.3. FACTORES ESTUDIADOS	20
6.4. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	20
6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL	21
6.6 MODELO ESTADÍSTICO	21
6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL	22
6.8 CROQUIS	22
6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO	23
6.10 VARIABLES RESPUESTA	23
6.10.1 Componentes del rendimiento	23
6.10.2 Rendimiento de caña y kilogramos de azúcar	23
6.10.3 Toneladas de caña	23
6.10.4 Contenido de clorofila	24
6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	24

Contenido	Página
6.11.1 Análisis estadístico	24
6.11.2 Análisis económico	24
VII. RESULTADOS Y DISCUSION	25
7.1 RENDIMIENTO DE CAÑA Y DE AZÚCAR	25
7.2 ALTURA	29
7.3 POBLACIÓN	30
7.4 CONTENIDO DE CLOROFILA	31
7.5 POL, BRUX Y PUREZA	32
7.6 ANÁLISIS ECONÓMICO	33
VIII. CONCLUSIONES	35
IX. RECOMENDACIONES	36
X. BIBLIOGRAFIA	37
XI. ANEXOS	39

ÍNDICE DE CUADROS

Título	Página
Cuadro 1. Composición química de la vinaza producida en Ingenio Pantaleón	7
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos	21
Cuadro 3. Rendimiento promedio de caña	25
Cuadro 4. Análisis de varianza de rendimiento de caña y kilogramos azúcar	26
Cuadro 5. Análisis de varianza de altura	29
Cuadro 6. Análisis de varianza de población	31
Cuadro 7. Tallos por metro lineal	31
Cuadro 8. Análisis de varianza de unidades relativas de clorofila	32
Cuadro 9. Interacción de dosis de vinaza y dosis de nitrógeno	32
Cuadro 10. Relación beneficio costo de tratamientos	33
Cuadro 11. Análisis de varianza de grados brix	39
Cuadro 12. Análisis de varianza de pol	39
Cuadro 13. Análisis de varianza de pureza	39
Cuadro 14. Análisis de varianza de diámetro	40
Cuadro 15. Unidades relativas de clorofila	40
Cuadro 16. Resultados de análisis químicos del suelo	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Título	Página
Figura 1. Croquis del ensayo	22
Figura 2. Efecto promedio de dosis de vinaza en el rendimiento de caña	27
Figura 3. Efecto promedio de diferentes niveles de nitrógeno en el rendimiento	28
Figura 4. Efecto de la interacción de vinaza y nitrógeno en el rendimiento	29
Figura 5. Efecto de la interacción de vinaza y nitrógeno en altura	30
Figura 6. Ubicación geográfica del ensayo	42

INTERACCIÓN VINAZA - FERTILIZANTE INORGÁNICO EN LA NUTRICIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR; SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA

Resumen

La investigación evaluó la aplicación de vinaza así como las necesidades de nitrógeno cuando el mismo es aplicado juntamente con la vinaza (interacción vinaza con fertilizante inorgánico) sobre el rendimiento del cultivo de caña de azúcar. Este ensayo fue establecido en caña plantía de la variedad Mex 82-114 en finca San Vicente Baúl, Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla. Los factores evaluados fueron vinaza con 3 niveles (0, 2 y 4 m³/ha) y Nitrógeno con 4 niveles (0, 80, 120 y 160 kg N/ha). Los niveles de ambos factores fueron arreglados en un bifactorial 3 x 4 generando así los 12 tratamientos evaluados. El diseño experimental utilizado en el estudio fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental fue de 5 surcos de 10 m de largo con un distanciamiento de 1.50 m entre surcos. Según los resultados no se evidenciaron diferencias estadísticas con las aplicaciones de vinaza evaluadas; sin embargo, se observó una tendencia en la cual los rendimientos de caña fueron incrementando conforme los niveles de vinaza fueron más altos. Se obtuvieron diferencias altamente significativa en los diferentes niveles de nitrógeno evaluados en la variable de rendimiento de caña, alcanzando la máxima producción con la aplicación de 120 kg de N/ha. Se recomienda realizar esta evaluación en áreas con características distintas para observar la respuesta bajo condiciones diferentes y observar en un segundo ciclo y obtener datos comparativos con el ciclo de plantía.

INTERACTION BETWEEN VINASSE AND INORGANIC FERTILIZER IN THE NUTRITION OF SUGAR CANE; SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA

Summary

The present research evaluated the use of vinasse, as well as the nitrogen needs when used together with vinasse (interaction between vinasse and inorganic fertilizer) on the output of sugar cane crops. This trial was carried out on sugar cane crops type Mex 82-114 that were on their first cycle of life after planting [*caña plantía* is the term used in Spanish] at *San Vicente Baúl* farm in Santa Lucía Cotzumalguapa, department [political division] of Escuintla, Guatemala. The factors evaluated were: Vinasse at three levels (0, 2, and 4 m³/ha), and Nitrogen at four levels (0, 80, 120, and 160 kg N/ha). The levels of each factor were organized in a 3 x 4 two-way factorial arrangement, generating twelve evaluated treatments. An experimental randomized block design was used with four replications. Each experimental unit consisted of five furrows of 10m in length, with a distance of 1.50m between furrows. The results showed no statistical differences regarding the vinasse applications that were evaluated. However, a tendency was observed in which the output of sugar cane increased according to the higher levels of vinasse. Highly significant differences were observed in the distinct levels of nitrogen evaluated in the variable output of sugar cane, reaching maximum productivity with the application of 120 kg of N/ha. It is recommended to carry out this evaluation in areas with different characteristics to observe the response under different conditions, as well as to observe the plant in its second cycle to obtain comparative data in regards to the first cycle of the plant.

I. INTRODUCCIÓN

Guatemala es uno de los principales exportadores de azúcar en el mundo, su producción comprende un área de más de 250,000 hectáreas ubicadas en cuatro departamentos de la costa sur del país. El cultivo se ubica en cuatro estratos altitudinales. El primer estrato denominado litoral se ubica entre los 0 a 40 metros sobre el nivel del mar (msnm); la zona baja oscila de los 40 a 100 msnm; la zona media entre los 100 a 300 msnm y estrato denominado zona alta, corresponde a las plantaciones ubicadas arriba de los 300 msnm (CENGICAÑA 2007).

En todas las áreas de cultivo el uso de fertilizantes nitrogenados es generalizado, siendo este nutriente considerado como el más importante desde el punto de vista económico para la producción del cultivo. La respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de nitrógeno está influenciada por factores edáficos, climáticos y de manejo, factores que varían ampliamente en la zona cañera de Guatemala (Pérez, 2001).

En la actualidad en Ingenio Pantaleón se obtienen aproximadamente de 1800 a 2000 m³ diarios de vinaza, durante seis meses en tiempo de cosecha, por lo que es necesario buscar una alternativa de utilizarlo como fertilizante.

Los costos de producción aumentan día tras día debido al alza en el precio de los fertilizantes. Debido a esto los productores deben buscar alternativas y estrategias prácticas para la optimización de los recursos. A partir del 2012, en ingenio Pantaleón dio inicio una nueva modalidad de fertilización consistente en disolver en vinaza concentrada en nitrato de amonio, previo a su aplicación al cultivo, llamada fertilización líquida.

Gómez (2008) indica que la vinaza es un fertilizante orgánico que se caracteriza por una alta concentración de sólidos, materia orgánica, nitrógeno, potasio, azufre y elementos menores, con alta actividad microbiológica, que favorece el incremento de los contenidos de materia orgánica y el mejoramiento de las propiedades física (permeabilidad y estabilidad de los agregados) de los suelos. Debido a estas características se espera que

la fertilización líquida tenga efectos considerables positivos en comparación con la fertilización granulada.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la eficiencia de la fertilización líquida (vinaza + nitrato de amonio) en comparación a la fertilización granulada (nitrato de amonio), en cuatro niveles de nitrógeno. Se determinó su efecto sobre el rendimiento del cultivo y la rentabilidad de esta práctica. El ensayo se implementó en un área comercial del Ingenio Pantaleón, específicamente en la finca San Vicente Baúl, ubicada en el municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa, departamento de Escuintla.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

2.1.1 Origen de la caña de azúcar

Chen (1991) describe que mientras los orígenes de la agricultura se remontan a unos 9000 años, el cultivo de la caña de azúcar no es tan antiguo. En la literatura Hindú, el registro más antiguo data de hace aproximadamente 3000 años, y la obtención de azúcar cruda se desarrolló alrededor del año 400 a. de J.C. La literatura china tiene registros de la caña de azúcar que se remontan a 475 a. de J.C. El cultivo de la caña de azúcar se extendió muy lentamente, y llegó a Persia alrededor del año 500 d. de J.C. La Guerra Santa del Islam hizo que los árabes conocieran la caña de azúcar, y establecieron plantaciones y construyeron molinos de piedra. Cuando los árabes introdujeron la caña de azúcar a Egipto, alrededor de 710 d. de J.C. después de derrotar a los egipcios; éstos, un pueblo experto en la agricultura y la química, desarrollaron la clarificación, cristalización y refinación. La caña de azúcar se extendió entonces hacia el oeste a través del norte de África hasta Marruecos, y atravesando el Mediterráneo hasta Rodas, el Sur de España (755 d. de J.C.) y Sicilia (950 d. de J.C.). La ruta hacia el oeste continuó y la caña de azúcar llegó a Madeira (1420) y las Islas Canarias, desde donde Colón la llevó hasta el Nuevo Mundo en 1493.

La región cañera de Guatemala está localizada en la planicie costera del océano Pacífico en las regiones fisiográficas de la llanura costera del Pacífico y Pendiente volcánica reciente y está comprendido en las coordenadas 13° 55' 14" Latitud norte y 90° 30' 45" Longitud oeste (CENGICAÑA, 2007).

El clima es cálido húmedo con temperaturas que van desde los 22 grados centígrados en las zonas altas a 35 grados centígrados en las cercanías al mar, con una precipitación media anual de 2234 mm (Orozco, Soto, Pérez, Ventura y Recinos 1995).

Los suelos de la zona cañera de la costa sur de Guatemala son derivados de ceniza volcánica, producto de la actividad histórica de la cadena de volcanes circundantes. Son suelos de reciente formación y la mayor parte se caracteriza por tener excelentes

propiedades físicas. El pH generalmente es ácido y medianamente ácido en las zonas altas, y neutro a ligeramente alcalino en las zonas cercanas al mar; su riqueza en materia orgánica hace que se consideren como suelos de alta fertilidad natural. Según el estudio semi detallado de suelos (Cengicaña, 1996) en la región hay 6 órdenes de suelos predominando en su orden: Mollisoles (40%), Andisoles (25%), Entisoles (16%) e Inceptisoles (11%) y en menor escala Alfisoles (1%) y Vertisoles (1%) (Orozco, et al., 1995).

2.1.2 Importancia socioeconómica del cultivo para Guatemala

ASAZGUA (2006) indica que en Guatemala operaron 15 ingenios en la zafra 2004-2005, ubicados en cinco departamentos de la costa del Pacífico. En esta zafra las fábricas cultivaron una área de 250,000 ha, en las que se produjeron 850,000 toneladas de azúcar. La industria azucarera genera alrededor de 300,000 empleos (corresponden a cortadores de caña), la caña provee además otros productos como energía eléctrica, papel, abono, alcohol, levadura y otros.

ASAZGUA (2006) menciona que las exportaciones del edulcorante crecieron 44% durante la zafra 2004-2005. Los principales destinos siguen siendo Corea y China, que suman un poco mas de 400,000 toneladas métricas (TM) al año, le siguen Canadá con 117,000 TM y México con 65,000 TM. Se menciona que el crecimiento en la producción no obedeció precisamente al aumento de tierras sembradas sino a un mejor aprovechamiento de recursos disponibles. Guatemala es el segundo productor más eficiente de azúcar cruda del mundo, según los datos de la Asociación Mundial de Azucareros, es superada solo por Colombia, el crecimiento de la productividad por hectárea sembrada se debe gracias a la mejora en los mecanismos de riego y calidad del corte de la caña, estas mejoras han hecho que Guatemala permanezca como el sexto exportador de azúcar en el mundo.

2.1.3 Descripción de la caña de azúcar

Buenaventura (1986), menciona que la caña de azúcar (*Saccharum spp*, L.) 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 forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis.

2.2 LA VINAZA

La vinaza es el residuo líquido que queda después de la destilación del mosto de la fermentación del etanol. En la industria azucarera las vinazas constituyen el principal residuo líquido de la fermentación de la fabricación de alcohol. La composición es muy variable, pero como promedio cada metro cúbico de vinaza aporta: 1.8 kilogramos de Nitrógeno (N_2), 1.5 kilogramos de pentóxido de difósforo (P_2O_5) y 4.5 kilogramos de óxido de potasio (K_2O) (Cuellar *et al.*, 2003).

Además, su contenido de materia orgánica es elevado, fluctuando entre 6.5 y 7.5 %. Ante la decisión de destinar los jugos de caña energética para la producción de bioetanol, es necesario estudiar el efecto del uso de una nueva materia prima en el proceso y dentro de este contexto su impacto en la generación de residuales líquidos (vinazas), su composición, viabilidad técnico – económica en el uso de las alternativas de tratamiento y disposición de las mismas, y en su defecto, la búsqueda de nuevas alternativas de solución. Por lo que, caracterizar estas nuevas vinazas, valorar alternativas de usos, disposición constituye un valioso aporte en el completamiento de la información necesaria para el uso de la caña energética como alternativa energética viable en un concepto de gestión medio ambiental e integradora (Gómez y Santisteban, 2000).

El empleo racional de la vinaza está basado en el conocimiento de su composición básica, en el estudio de las condiciones físico-químicas del suelo que debe recibirlas, el cultivo y la variedad que ha de ser fertilizada, la fuente de vinaza empleada,

características climáticas (principalmente precipitación), infraestructura del área de abastecimiento, formas, medios de aplicación y consideraciones económicas.

La composición química de la vinaza es bastante variable, dependiendo principalmente de la materia prima utilizada en la destilación, la cual puede proceder de tres fuentes: melaza (concentrada), directamente del jugo de los molinos y mixta (mezcla de jugo y melaza) (Filho, 1983).

2.2.1 Características y descripción de la vinaza

Ferreira y Montenegro (1987) mencionan que la vinaza es un insumo para uso en agricultura orgánica. Se puede decir que la vinaza concentrada es un producto que se genera durante la producción de alcohol etílico, a partir de mieles de caña de azúcar, tiene aplicaciones como fertilizante de cultivos por su alto contenido de minerales.

Debido a la producción de vinaza que se tiene en el Ingenio Pantaleón, lo cual genera una gran cantidad de este líquido durante todo el ciclo de producción de bio-etanol, dicha vinaza posee una constitución con mayor potencialidad de materia orgánica tal y como se muestra en el cuadro 1 (Pantaleón S.A., 2008).

Cuadro 1. Composición química de la vinaza producida en Ingenio Pantaleón en el año 2008.

Densidad de la vinaza: 1.2 gr/cm³

PARÁMETRO	
pH	4.9
Concentración de Sales (C.S.)	0.22 dS/m
Materia Orgánica (M.O.)	31.97%
ELEMENTO	CONCENTRACIÓN (p/p)
	%
Nitrógeno (N)	0.08
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.13
Potasio (K ₂ O)	5.98
Calcio (Ca)	0.75
Magnesio (MgO)	0.26
	ppm
Boro (P ₂ O ₃)	18.39
Cobre (Cu)	2.48
Hierro (Fe)	17.87
Manganeso (Mn)	8.08
Zinc (Zn)	19.85

Fuente: Pantaleón S.A., 2008

Ferreira y Montenegro (1987) indican que la vinaza es un subproducto de la fabricación de alcohol, que se produce en una proporción de 13:1, es decir, por cada litro de alcohol se obtienen 13 litros de vinaza. De acuerdo con esta proporción puede variar entre 10:1 y 15:1. Recientemente se han desarrollado cambios en el proceso de fabricación de alcohol para obtener vinaza más concentrada; en Colombia, por ejemplo, la Industria de Licores del Valle produce 2.5 L de vinaza con 55% de sólidos totales por cada litro de

alcohol producido. El etanol puede ser producido a partir de azúcares, almidones y celulosa. Consta de las siguientes etapas: adecuación de la materia prima, fermentación, destilación y tratamiento del efluente.

En la etapa de fermentación el sustrato preparado se pone en contacto con algún tipo de levadura, generalmente *Sacharomyces cerevisiae* y la transformación de los azúcares a gas carbónico y etanol ocurre en un período de unas 24 horas. El gas carbónico se recupera en forma de gas. El líquido se denomina vino o mosto. Este es destilado en columnas de destilación (Ferreira y Montenegro, 1987).

Hay generalmente dos o tres pasos de destilación, dependiendo de la pureza que se requiera del etanol. En el primer paso de destilación, denominado *despojamiento*, se separa el etanol de los sólidos remanentes de la fermentación (orgánicos e inorgánicos, solubles e insolubles) generando una solución de etanol en agua al 50% v/v y un residuo que sale por el fondo de la columna denominado *vinaza*. Hay un segundo paso de destilación denominado rectificación, en el que se alimenta la solución de etanol al 50% v/v y se genera etanol en el punto de azeotropo de la mezcla, 96.5% v/v y se retiran las impurezas volátiles que contaminan el etanol denominadas *flemazas*. En la etapa de tratamiento del efluente, la vinaza es sometida a algún tratamiento que permite disponerla adecuadamente o tratarla para poder ser arrojada a una fuente de agua adecuada (Ferreira y Montenegro, 1987).

2.3 USO DE VINAZA COMO FERTILIZANTE

La vinaza es un residuo industrial del proceso de destilación de alcohol y se compone básicamente de agua, materia orgánica y sales minerales y es utilizado en los campos de cultivo para el aumento de la productividad, economía en el uso de fertilizantes y mejoramiento de los suelos en general. Las posibilidades de poder reducir la dosis de nitrógeno utilizada en el cultivo de la caña de azúcar en campos con vinaza pueden ser importantes. Debido a la diferencia de suelos existentes en la zona cañera de Guatemala, se recomienda evaluar y validar la reducción de diferentes niveles de

nitrógeno en campos aplicados con vinaza, con el fin de tener información en el corto plazo para la toma de decisiones sobre la optimización del uso de N y de la vinaza.

La fertilización líquida de la caña de azúcar en Colombia se inició en el Valle del Cauca en el año 2003, con las aplicaciones comerciales de solución UAN de 32% de nitrógeno (N) y de nitrato de amonio (22% de N). En estos trabajos los resultados obtenidos en producción fueron altamente significativos. Para ello fue necesario diseñar los equipos en el fin de lograr aplicaciones eficientes e incorporadas cerca al sistema radical de las plantas de caña de azúcar (Pérez, 2001).

Conociendo los altos requerimientos nutricionales de la caña de azúcar, y conscientes de la presencia de elevados contenidos de algunos nutrientes, de detrimento de otros que aparecen en menores proporciones, se ha constatado en varios estudios la necesidad de adicionar complementariamente fertilizantes minerales, principalmente que incorporen nitrógeno y fósforo, sobre todo en aquellos suelos que muestren deficiencias de los mismos. La cantidad de vinazas a incorporar depende de elementos como: fuente u origen de la misma, tipo de suelo, número de cortes de la plantación, factor de dilución, número de aplicaciones, etc. (Castillo, 1984)

2.3.1 Fertilización líquida con vinazas concentradas

La vinurea es un fertilizante orgánico que se caracteriza por una alta concentración de sólidos, materia orgánica, nitrógeno, potasio, azufre y elementos menores, con alta actividad microbológica, que favorece el incremento de los contenidos de materia orgánica y el mejoramiento de las propiedades físicas (permeabilidad y estabilidad de los agregados) de los suelos (Castillo, 1984).

En las plantas productoras de vinurea en Brasil y Australia se preparan soluciones fertilizantes que contienen vinaza, urea, fosfatos y azufre, tomando como base el contenido de potasio. Un suelo con altos contenidos de potasio requiere una aplicación de 60 kg/ha de este nutrimento, que se obtienen con una mezcla de 1300 kg de vinazas concentrada más 350 kg de urea (160 kg de N). Una de las propiedades principales de la

vinaza concentrada es su alto contenido de K_2O , por lo que aplicada en dosis entre 1000 a 1700 kg/ha reemplaza los requerimientos de potasio de la caña de azúcar cultivada en la mayoría de los suelos del Valle del Cauca (Castillo, 1984).

La actividad azucarera se considera uno de los ejemplos más claros de lo que ha dado en llamarse la agroindustria, por su alta y directa vinculación con la agroindustria, puesto que constituye una de las actividades que más personal (permanente y temporal) emplea, elabora un producto utilizable en el mercado nacional e internacional, sin considerar que es de las que ofrece más perspectivas para sus derivados y subproductos, además que mantiene una estrecha, y excelente relación complementaria con la actividad cafetalera del país (Castillo, 1984).

La economía mundial del azúcar se caracteriza por una combinación de problemas complejos que afectan tanto a los países en desarrollo como a los desarrollados, pues tiene que afrontar desequilibrios recurrentes entre la oferta y la demanda que se reflejan en los cambios que los precios registran constantemente en los mercados libre; esta situación aunada al recorte de la cuota internacional norteamericana y el incremento de la competencia de los edulcorantes artificiales, ha obligado a la búsqueda de nuevas alternativas de empleo para nuestro azúcar de exportación, constituyéndose la elaboración del alcohol como una alternativa viable para robustecer el ingreso de divisas al país (Castillo, 1984).

La producción de alcohol produce un residuo final líquido, comúnmente llamado vinaza, el cual ha constituido desde hace mucho tiempo un grave problema debido a su elevado poder de contaminación, ocasionado principalmente por su gran contenido orgánico. Por ello, todos los enfoques que se han dado al problema de la vinaza buscan eliminar o atenuar los efectos de la polución sobre los ríos, donde tradicionalmente estos derivados han sido descargados. Sin embargo, debido a enfoques distorsionados respecto a este tópico no han permitido reconocer en las vinazas un material cuya riqueza como

fertilizantes es bastante evidente debido a su composición mineral, que ofrece grandes posibilidades para un empleo racional y económico (Castillo, 1984).

2.3.2 Posibles usos de las vinazas

Existen varias posibilidades de aprovechamiento de las vinazas.

- a. Producción de proteína unicelular, a través de fermentación aeróbica.
- b. Producción de gas metano, a través de fermentación anaeróbica
- c. Concentración (alrededor de 60° Brix), con las siguientes posibilidades de uso
 - Componentes de raciones animales
 - Empleo de la levadura como fertilizante
 - Incinerado para producir fertilizante
- d. Utilización agrícola del residuo "in natura", sustituyendo total o parcialmente las fertilizaciones minerales (Filho, 1983).

2.3.3 Efectos de las vinazas en el suelo

Según los resultados obtenidos en varios estudios y considerando por su composición que la adición de vinazas corresponde a una fertilización orgánica, es lógico esperar los efectos que generalmente son atribuidos a la materia orgánica cuando se incorpora a los suelos, como son incremento de pH, aumento en la disponibilidad de nutrientes retención de cationes por el suelo, incremento de la capacidad de retención de humedad y un mejoramiento de la estructura física del suelo, durante los primeros 30 días se ha observado una proliferación intensa de la población y actividad microbiana, la cual posteriormente decrece. Asimismo se ha observado una reducción en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo debido a una fijación pronunciada en función del crecimiento acelerado de microorganismos y una fuerte desvitricación debido a las condiciones anaeróbicas prevalecientes (Castillo, 1984).

2.3.4 Efectos de las vinazas sobre la caña de azúcar

En estudios desarrollados en Brasil comparando la influencia sobre diferentes variedades en suelos irrigados y no irrigados con vinazas diluidas (proporción 1:10), constataron

efectos benéficos con incrementos que varían del 6 al 102% en función de la variedad estudiada; otros resultados indican incrementos del 13% en relación al área no irrigada. Debe sin embargo tenerse mucho cuidado en el uso irracional de este derivado, ya que se han constatado problemas en la calidad de la materia prima, sobre todo un atraso en el ciclo de madurez, reducción en el contenido de sacarosa del jugo y un incremento en la producción de cenizas que ocasiona dificultades en la cristalización del azúcar, todo lo cual disminuye los rendimientos industriales en términos de azúcar ensacado. A pesar de las posibles dificultades, el uso racional de la vinaza incrementa los rendimientos agroindustriales cuando las características físico-químicas de los suelos son favorables para su incorporación, sobre todo la presencia de un buen drenaje superficial e interno y que este sea deficiente o no disponible a las plantas en elementos como potasio, calcio y materia orgánica principalmente (Filho, 1983).

2.3.5 Formas de aplicación

Según Castillo (1984), las formas y sistemas de aplicación pueden agruparse en la siguiente forma:

- Aplicación de la vinaza "in natura"
- Aplicación de la vinaza concentrada

En el primer grupo la distribución puede ser: a) por surcos y canales de irrigación (infiltración) y b) transportada por medio de camiones tanque (aspersión, gravedad) acondicionados con sus respectivas bombas. En el segundo grupo los procesos conocidos son: a) concentración de la vinaza hasta obtener un sirope de aproximadamente 50-60° Brix b) secado de la vinaza hasta obtener el material seco (polvo). De cualquier manera en caña nueva no es conveniente aplicarla en el surco de siembra, lo cual si es posible en los retoños (Castillo, 1984).

En el caso de Costa Rica, considerando que el país ha iniciado la producción de alcohol y con ello de vinazas en grandes volúmenes, las autoridades nacionales de Costa Rica involucradas han trabajado en forma responsable y sería previendo las posibles consecuencias ecológicas negativas que acarrearía el descargar las vinazas en el Río Tempisque.

Tomando en cuenta que hay diversidad de suelos se establece que los vertisoles son suelos arcillosos, agrietables y muy duros en la época seca, mientras que en la época lluviosa son muy pegajosos y plásticos lo que dificulta su manejo; en general son suelos de reacción alcalina a ligeramente ácida en la superficie, presentan moderados contenidos de materia orgánica y son ricos en calcio y magnesio, moderados en potasio y bajos en fósforo; poseen una alta capacidad de almacenamiento de humedad. Por ser suelos problemáticos debido a su manejo y composición química, se ha considerado la posibilidad de promover una eventual mejoría de los mismos mediante la incorporación de las vinazas producidas en la destilación de alcohol, a través de los surcos de riego (Castillo, 1984).

La dosis aplicada en cada riego fue de 1.00 m³/ha incorporando cada vez 20 m³ de vinaza/ha, estimándose una adición al suelo de 40 Kg K₂O/ha, para ello se diluyó la vinaza concentrada en una proporción de 1:50 con el agua de lavado y transportada a través de los canales principales hasta las zonas de riego. Para evitar la contaminación se construyeron varias represas, todo lo cual denota el interés y alto grado de responsabilidad seguido por los funcionarios de CATSA y LAICA en la presente experiencia (Castillo, 1984).

2.4 CATEGORIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO Y RECOMENDACIONES DE NITRÓGENO

Desde el año de 1994 un buen número de ensayos experimentales fueron conducidos en sitios con variadas condiciones edáficas, climáticas y de manejo con la finalidad de determinar la dosis de nitrógeno para la zona cañera de Guatemala. Estos resultados permitieron en el año 2001 establecer la primera aproximación de las recomendaciones de nitrógeno (Pérez, 2001).

En el año 2004 se inició un proyecto de validación de las dosis de nitrógeno con una red de ensayos a escala semi comercial (ensayos de extrapolación), muestreando sitios con diversas condiciones que permitieran validar y definir las dosis de nitrógeno para la región cañera de Guatemala en una segunda aproximación. Los resultados indicaron que las respuestas del cultivo a las aplicaciones de nitrógeno están explicadas en su mayor

parte por los contenidos de materia orgánica M.O. del suelo. La M.O. del suelo es un parámetro que se determina a nivel de laboratorio en los análisis rutinarios y es utilizado en caña de azúcar y en muchos cultivos para estimar la disponibilidad de nitrógeno para las plantas (Pérez, 2001).

2.5 RECOMENDACIONES DE NITRÓGENO PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ZONA CAÑERA DE GUATEMALA

El uso de fertilizantes nitrogenados es generalizado en la producción de caña de azúcar en Guatemala, como en la mayoría de países productores de caña. De tal manera que este nutriente es considerado como el más importante desde el punto de vista económico para la producción del cultivo. En la zafra 2006-2007 en Guatemala se aplicaron alrededor de 20,000 toneladas de nitrógeno en una superficie de 210,000 hectáreas. La respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de nitrógeno está influenciada por factores edáficos, climáticos y de manejo, factores que varían ampliamente en la zona cañera de Guatemala (Pérez, 2001).

2.5.1 Respuesta del cultivo a las aplicaciones de nitrógeno

En cuanto a la fertilidad del suelo se ha encontrado que la materia orgánica es el factor que más explica las respuestas a las aplicaciones de nitrógeno. La materia orgánica del suelo es un parámetro que se determina a nivel de laboratorio en los análisis rutinarios y es utilizado en caña de azúcar para las recomendaciones de nitrógeno. El ajuste de las dosis de nitrógeno de los programas actuales de fertilización significa optimizar de una mejor manera la inversión de los fertilizantes químicos utilizados evitando la sobredosificación en áreas de baja respuesta y adecuando la dosis en áreas con mayores probabilidades de respuesta. Las dosis óptimas económicas de nitrógeno (DOEN) deben de adecuarse a la variación de precios del N y precios del azúcar especialmente en circunstancias como las actuales que los fertilizantes químicos han experimentado aumento de precios sustanciales. La variación de las DOEN con precios dados varía dependiendo de la respuesta del cultivo al N (Pérez, 2001).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El tema de los fertilizantes nitrogenados es cada vez más importante en los costos de producción, debido a que en los últimos años se han tenido incrementos de hasta el 80 por ciento en los precios de estos insumos.

En el Ingenio Pantaleón se están produciendo aproximadamente de 1800 a 2000 m³ diarios de vinaza, ya que son 13 litros de vinaza concentrada (50 grados brix) por cada litro de alcohol, esto es durante seis meses de producción al año en la destilería de bioetanol, por lo que es importante utilizar este subproducto.

Los desechos originados en la industria azucarera y derivados pueden convertirse en subproductos, con cierto valor económico y a la vez, evitar el impacto al medio ambiente que ocasionaría su incorrecta disposición. La vinaza provoca impactos negativos sobre el medio ambiente fundamentalmente en el aire, la población, la calidad del agua, la flora y fauna de los cuerpos receptores; sin embargo produce beneficios sobre el suelo y los rendimientos agrícolas cañeros, por lo que buscar una adecuada utilización de la misma permitiendo disminuir los impactos negativos sobre el medio ambiente.

Los análisis de suelo realizados luego de haber utilizado vinaza demuestran que mejora el pH del suelo, disminuye el aluminio intercambiable e incrementa la concentración de potasio. También se mejoran las relaciones catiónicas, principalmente entre el calcio y el magnesio. Esto nos dice que la vinaza es un excelente producto orgánico mejorador del suelo y que encontrando la dosis óptima permitirá obtener mayores rendimientos del cultivo y enriquecer la condición nutricional de las fincas de la región, además del beneficio que en salud pública genera.

Por lo anterior, los productores deben hacer un uso más oportuno y efectivo de los fertilizantes para asegurar la máxima rentabilidad. Y fue necesario buscar alternativas y estrategias prácticas que desarrollen una sostenibilidad del cultivo y optimización de los recursos.

Diversas investigaciones han demostrado los beneficios del uso de la vinaza como fertilizante, además una opción para reducir la dosis de Nitrógeno en el cultivo de caña de azúcar y que mejor manera que evaluando para obtener la dosis óptima económica de nitrógeno (DOEN) en el cultivo de caña de azúcar, mejorando consecuentemente la rentabilidad de la práctica de fertilización y la sostenibilidad del cultivo.

Debido a estas características fue necesario evaluar la interacción de la vinaza – fertilizante inorgánico (nitrato de amonio) en diferentes niveles de nitrógeno y determinar los efectos positivos en la respuesta del cultivo en comparación con la fertilización granulada o convencional, por lo que se estableció la presente investigación.

IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la aplicación de vinaza así como las necesidades de nitrógeno cuando el mismo es aplicado juntamente con la vinaza (interacción vinaza con fertilizante inorgánico) sobre el rendimiento del cultivo de caña de azúcar en finca San Vicente Baúl, Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el rendimiento en toneladas de caña por hectárea (TCH) y kilogramos de azúcar por tonelada (KAT) de cada uno de los tratamientos.
- Conocer el efecto de la interacción del tipo de fertilización y niveles de dosis de nitrógeno en el crecimiento y población del cultivo.
- Determinar el efecto de la interacción entre el tipo de fertilización y niveles de dosis de nitrógeno en unidades relativas de clorofila (URC).
- Determinar el tratamiento que genere mayor relación beneficio costo.

V. HIPÓTESIS

- Al menos uno de los tratamientos con interacción vinaza y dosis de nitrógeno mostrará mejores resultados en rendimiento en kilogramos de azúcar y toneladas de caña por hectárea.
- Al menos uno de los tratamientos a evaluar constituye una alternativa económicamente atractiva para el productor de caña de azúcar.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO

El ensayo se realizó en el Ingenio Pantaleón, finca San Vicente Baúl, ubicada en el municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa, departamento de Escuintla. Está a 102 km de la ciudad capital de Guatemala. Dicha finca pertenece al estrato alto y tiene las siguientes coordenadas: Latitud Norte 14° 22' 8.92" y Longitud Oeste 91° 0' 45.39". Tiene una precipitación anual promedio de 1760 mm, es un suelo andisol. Se estableció en un lote de caña en plantía con la variedad Mex 82-114.

6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

- **Variedad de caña de azúcar Mex 82-114:** Es una variedad que de acuerdo con los resultados obtenidos en toneladas de azúcar por hectárea, rendimiento y concentración de azúcar, se seleccionó como la variedad para el estrato medio. Es una variedad que ha presentado alta resistencia a enfermedades y características de manejo como una buena emergencia, buen rebrote, cierre natural, poca flor y buen aspecto de planta. Actualmente se está evaluando como una variedad semi-comercial.

- **Nitrato de amonio**

El nitrato de amonio o nitrato amónico es una sal formada por iones de nitrato y de amonio. Su fórmula es NH_4NO_3 . Se trata de un compuesto incoloro e higroscópico, altamente soluble en el agua, con un contenido de 34% N.

Datos físico-químicos

- Fórmula: NH_4NO_3
- Masa molecular: 80.04 g/mol
- Punto de fusión: 169.6 °C

- Punto de ebullición: 210 °C (descomposición)
- Densidad: 1.72 g/ml
- N° CAS: 6484 - 52 -2
- LD₅₀: 2,217 mg/kg (rata)

El nitrato de amonio se obtiene por neutralización de ácido nítrico con amoníaco tras la evaporación del agua:



Aplicaciones

El nitrato de amonio se utiliza sobre todo como fertilizante por su buen contenido en nitrógeno. El nitrato es aprovechado directamente por las plantas mientras que el amonio es oxidado por los microorganismos presentes en el suelo a nitrito o nitrato y sirve de abono de más larga duración (Flores,1976).

- **Vinaza concentrada:** Es un subproducto de la fabricación de alcohol que se produce en una proporción de 13:1, es decir, por cada litro de alcohol se obtienen 13 litros de vinaza, está a 50 grados brix.

6.3 FACTORES ESTUDIADOS

Los factores evaluados son:

- Niveles de nitrógeno (0, 80, 120 y 160) kg N/ha, 34% N
- Dosis de vinaza: 0, 2 m³ y 4 m³, a una concentración de 50 grados brix.

6.4 DESCRIPCION DE LOS TRATAMIENTOS

Se evaluaron dos factores: Vinaza con 3 niveles 0, 2 m³ y 4 m³ por hectárea, con una concentración de 50 grados brix y Nitrógeno con 4 niveles (0, 80, 120 y 160 kg N/ha), utilizando nitrato de amonio al 34% de N. Los tratamientos fueron arreglados en un bifactorial 3 x 4 generando de esta manera los 12 tratamientos que se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Dosis Vinaza (m ³ /ha)	N (kg/ha)
T1	2	0
T2	2	80
T3	2	120
T4	2	160
T5	4	0
T6	4	80
T7	4	120
T8	4	160
T9	0	0
T10	0	80
T11	0	120
T12	0	160

6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental que se utilizó fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

6.6 MODELO ESTADISTICO

$$Y_{ijk} = \mu + \mu_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + Y_k + E_{ijk}$$

Siendo que:

Y_{ijk} = Variable de respuesta observada o medida en la ijk - ésima unidad experimental

μ = Media general α_i = Efecto del i - ésimo nivel del factor "A"

β_j = Efecto del j - ésimo nivel del factor "B"

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i - ésimo nivel del factor "A" y el j - ésimo nivel del factor "B"

γ_k = Efecto del k - ésimo bloque

ϵ_{ijk} = Error experimental asociado a la ijk - ésima unidad experimental

6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental fue de 5 surcos de 10 m de largo con un distanciamiento de 1.50 m entre surcos.

6.8 CROQUIS DE CAMPO

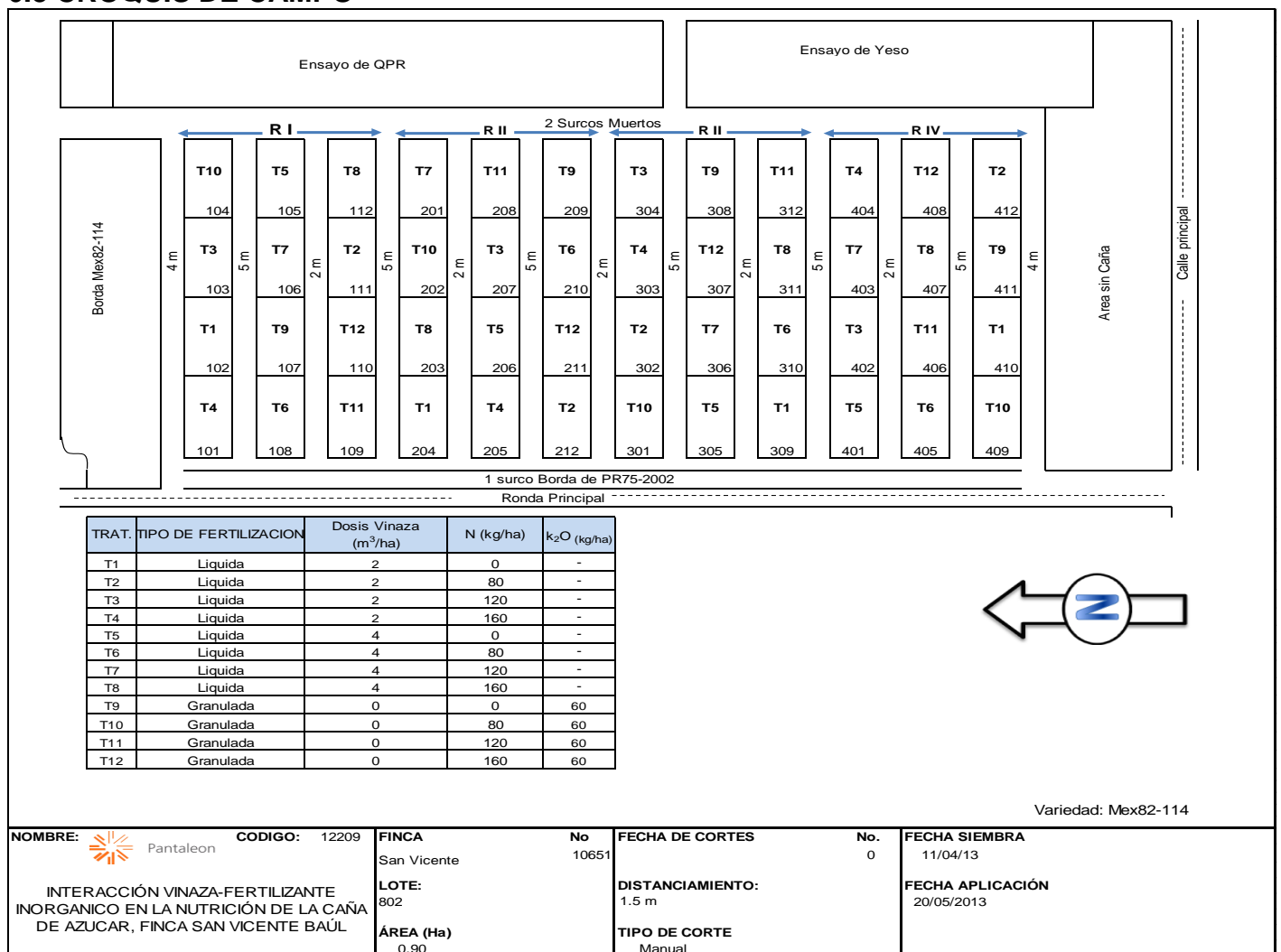


Figura 1. Croquis de ensayo de Interacción de vinaza – fertilizante inorgánico en la nutrición de caña de azúcar, Finca San Vicente Baúl, Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla.

6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO

Se realizó un muestreo de suelos previo a la fertilización. Se analizó la concentración de la vinaza a utilizar en el laboratorio de Bioetanol del Ingenio Pantaleón. Luego se aplicaron los tratamientos a los 30 días después del corte.

En la fertilización granulada el nitrato de amonio al 34% N en los diferentes niveles según los tratamientos se pesó la cantidad requerida por surco para hacerlo con más precisión. Para la fertilización líquida se realizó mezclando la cantidad de nitrato de amonio en el volumen de vinaza requerida. Se realizó una aplicación uniforme de fósforo a razón de 25 kg de P_2O_5 /ha en todas las parcelas de forma incorporado. Las actividades del manejo de la plantación se realizaron de acuerdo a la carta tecnológica del Ingenio Pantaleón.

6.10 VARIABLES DE RESPUESTA

6.10.1 Componentes del rendimiento: A la edad de 7 meses se tomaron datos de población, altura y diámetro de tallos en todas las parcelas. Para la población de tallos se contaron todos los tallos presentes en los 3 surcos centrales de cada unidad experimental y se expresó en miles de tallos/ha. Para la variable altura de tallos se midió la longitud de 15 tallos tomados al azar en los 3 surcos centrales de cada parcela (5 de cada surco). La altura se midió desde el nivel del suelo hasta la última lígula visible de cada tallo. El diámetro se midió con un vernier a un metro de altura de la base.

6.10.2 Rendimiento de caña y kilogramos de azúcar por tonelada: Previo a la cosecha se tomaron al azar 5 tallos molederos de los tres surcos centrales de cada parcela para la determinación del pol, brix y pureza en cada uno de los tratamientos. Estas determinaciones se realizaron en el laboratorio agronómico de CENGICAÑA.

6.10.3 Toneladas de caña: Se cosechó en forma manual la totalidad de tallos de los 5 surcos de cada parcela a los 11 meses de edad del cultivo. El peso de los tallos de cada parcela se obtuvo con una balanza digital de campo y los pesos están expresados en T/ha.

6.10.4 Contenido de clorofila: A los 5 meses de edad del cultivo se tomaron datos de unidades relativas de clorofila con el clorofilómetro SPAD-502, se muestrearon 5 hojas tomadas de los 3 surcos centrales de cada unidad experimental.

6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.11.1 Análisis estadístico

Para el análisis de las variables a estudiar se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), utilizando el paquete estadístico SAS. Así mismo, se realizaron pruebas de medias utilizando la prueba DMS (diferencias mínimas significativas) al 0.05.

6.11.2 Análisis beneficio-costo

Se realizó el análisis beneficio–costo, basándonos en determinar los costos y el ingreso marginal tomando en cuenta el incremento obtenido en toneladas de caña por hectárea, con el fin de seleccionar la mejor opción o la más rentable.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 RENDIMIENTO DE CAÑA Y DE AZÚCAR

En el cuadro 3 se presentan las medias de rendimiento de caña expresados en toneladas métricas de caña por hectárea (TCH) y los rendimientos de azúcar en kilogramos de azúcar por tonelada (KAT) para cada uno de los tratamientos evaluados.

Cuadro 3. Rendimientos de caña para cada uno de los tratamientos.

Vinaza (m ³ /ha)	N(kg/ha)	Rendimiento de caña (Tm/ha)	Kilos de azúcar por ton (KAT)
0	0	130.53	122.22
	80	144.05	124.50
	120	145.82	119.21
	160	144.53	127.86
2	0	132.20	124.14
	80	142.97	123.26
	120	150.77	124.22
	160	146.27	120.89
4	0	140.96	127.00
	80	148.20	128.96
	120	148.70	126.89
	160	151.17	124.57

Se observa en los valores promedio presentados en el cuadro 3 que el rendimiento de caña más bajo se obtuvo con el tratamiento que no recibió aplicación ni de vinaza ni de nitrógeno (130.53 TM/ha) mientras que el más alto rendimiento (151.17 /Tm/ha) se alcanzó con el nivel más elevado tanto de vinaza (4 m³) como de nitrógeno (160 kg). Es también importante observar cómo se incrementó la producción a medida que el nivel de nitrógeno fue mayor independientemente de la aplicación de vinaza.

Por otro lado la variable rendimiento de azúcar varió de 119.21 a 128.96 KAT pero no mostró ninguna tendencia de comportamiento con los tratamientos evaluados.

Cuadro 4. Análisis de varianza de las variables rendimientos de caña toneladas métricas de caña por hectárea (TCH) y de azúcar kilogramos de azúcar por tonelada (KAT).

F.V.	TCH			KAT			
	Gl	SC	p-valor	gl	SC	p-valor	
Repetición	3	5314.6	0.0001	3	171.6	0.6607	
Dosis vinaza m ³ /ha	2	265.4	0.2523	NS	2	113.31	0.5930
N (kg/ha)	3	1447.6	0.0129	*	3	27.48	0.9672
N (kg/ha) (Dosis vinaza m ³ /ha)	6	249.1	0.8946	NS	6	187.83	0.9353
Error	29	3292.5			31	3304.39	
Coeficiente de variación % (p<= 0.05)		7.41				8.29	

El análisis de varianza, cuadro 4, indica que en la variable TCH, en lo que respecta al factor vinaza, no se alcanzaron diferencias estadísticas en tanto que el efecto de nitrógeno fue significativo a un alto nivel (p-valor: 0.0129). Se observa que en la interacción vinaza por nitrógeno no se obtuvieron diferencias estadísticas lo cual indica que no hay efecto de interacción por lo que se analizan los efectos promedio de cada uno de ellos.

En lo que respecta a la variable kilogramos de azúcar por tonelada, se puede observar en el cuadro 4, que tanto las aplicaciones de vinaza, como las dosis de nitrógeno y la interacción de ambos factores tuvieron influencia sobre la variable en referencia lo cual se infiere de la ausencia de significancia estadística (NS) en todos los casos.

En la figura 2 se presentan los rendimientos medios de caña de las dosis de vinaza evaluadas los cuales provienen en cada caso de los cuatro niveles de nitrógeno y sus respectivas cuatro repeticiones.

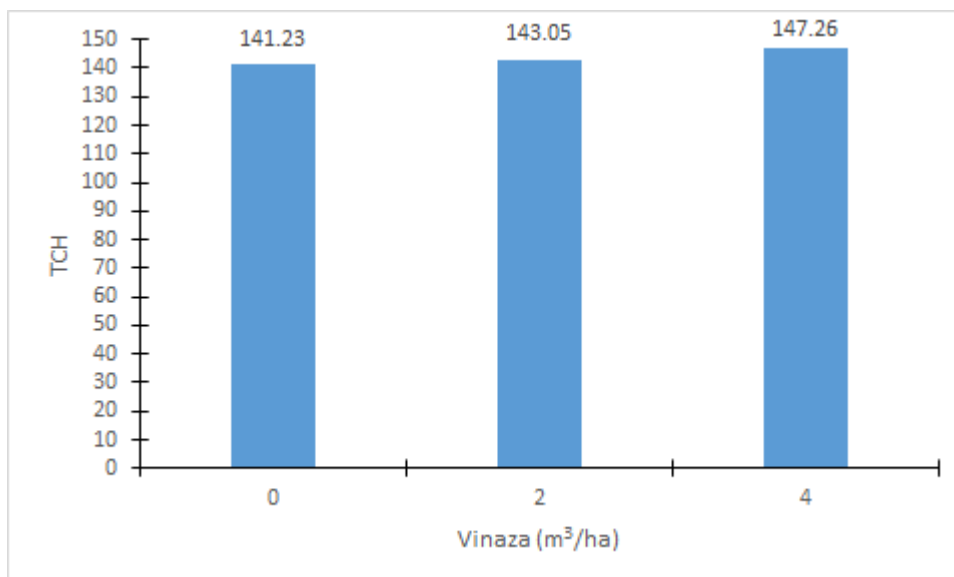


Figura 2. Efecto promedio de las diferentes dosis de vinaza en el rendimiento de caña.

En la figura 2 se observa que a pesar de no haber alcanzado significancia estadística el rendimiento de caña se fue incrementando, aunque leve, conforme se aumentó la dosis de vinaza alcanzando incrementos de 1.82 y 6.03 Tm/ha de caña más con la aplicación de volúmenes de 2 y 4 m³ de vinaza/ha respectivamente respecto al testigo sin vinaza. Esta baja respuesta a las aplicaciones de vinaza en los volúmenes evaluados pudo haber estado influenciada por el contenido medio de potasio en este suelo según se presenta en el análisis químico en el cuadro 15 de anexos, debido a que el potasio es el elemento que más aporta la vinaza. Esta tendencia en el incremento por efecto de aplicaciones de vinaza ha sido observada bajo otras condiciones (Pérez *et al.*, 2006)

En la figura 3 se presentan los rendimientos medios de caña según las dosis de nitrógeno aplicados independientemente de la aplicación de vinaza.

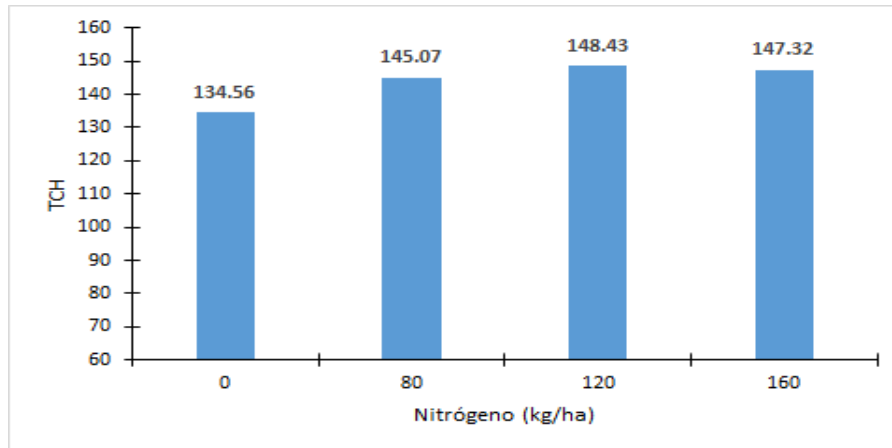


Figura 3. Efecto promedio de los diferentes niveles de nitrógeno en el rendimiento de caña.

En la figura 3 se observa que el rendimiento de caña fue incrementando en la medida que los niveles de nitrógeno se hicieron más altos, lo que es congruente con la diferencia altamente significativa determinada en el análisis de varianza para este factor. La mayor producción se obtuvo con la aplicación de 120 kg de N/ha obteniendo un incremento de 13.87 TCH respecto al testigo sin nitrógeno. Estos resultados positivos con aplicaciones de nitrógeno son coincidentes con resultados que se han obtenido en plantías en ensayos de nitrógeno realizados en la zona cañera de Guatemala (Pérez, 2001).

En la figura 4 se muestran los rendimientos de toneladas métricas de caña por hectárea (TCH) cuando el nitrógeno fue evaluado sin aplicación de vinaza y cuando el mismo fue aplicado bajo los dos niveles de vinaza evaluados en el estudio.

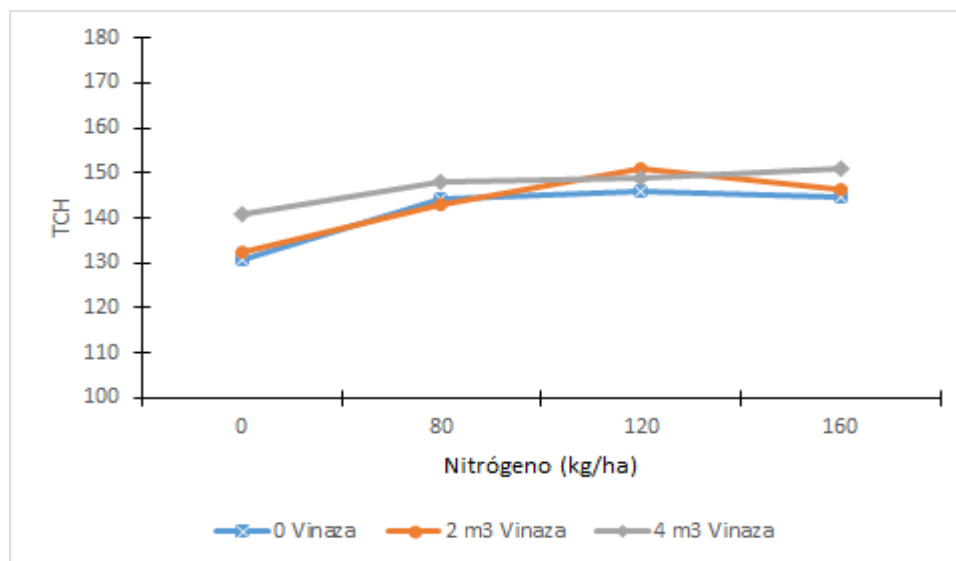


Figura 4. Efecto de la interacción de vinaza y nitrógeno en el rendimiento de caña.

A pesar de que no se obtuvieron diferencias estadísticas del efecto de la interacción entre la vinaza y el nitrógeno, se puede observar en la figura 4 que el rendimiento con aplicación de 4 m³ de vinaza pero sin nitrógeno, fue similar al rendimiento promedio obtenido con los diferentes niveles de nitrógeno sin vinaza, lo cual estaría indicando que la vinaza a este volumen está compensando en parte, el nitrógeno requerido por el cultivo.

7.2 ALTURA DE PLANTAS

En el cuadro 5 se muestra el resumen del análisis de varianza para la variable de altura de plantas.

Cuadro 5. Análisis de varianza de la variable altura.

F.V.	g l	SC	p-valor
Repetición	3	0.3740	0.0023
Dosis vinaza m ³ /ha	2	0.5664	0.0001 *
N (kg/ha)	3	0.1997	0.0361 *
N (kg/ha) (Dosis vinaza m ³ /ha)	6	0.1315	0.4092 NS
Error	32	0.6646	
Coeficiente de variación % 5.35			
(p<= 0.05)			

Los resultados de análisis de varianza del cuadro 5 indican que existe una diferencia significativa en el factor dosis de vinaza y en la aplicación de dosis de nitrógeno de acuerdo a lo establecido de un 0.05 % de significancia.

La significancia estadística determinada por efecto de las dosis de vinaza se aprecia en la figura 5 en donde es evidente que en general las mayores alturas de plantas se obtuvieron con la aplicación de 2 y 4 m³ de vinaza. De igual manera se observa que tanto con aplicación de vinaza como sin aplicación, las alturas de plantas fueron cada vez mayores conforme los niveles de nitrógeno se fueron incrementando hasta los 120 kg de N/ha, luego de lo cual la tendencia es a la baja, principalmente con las aplicaciones de vinaza. Este resultado obedece al consumo de lujo por el aporte de nutrimentos por parte de este producto. Es importante señalar que esta mayor altura según las dosis de nitrógeno correspondió con las mayores producciones en TCH.

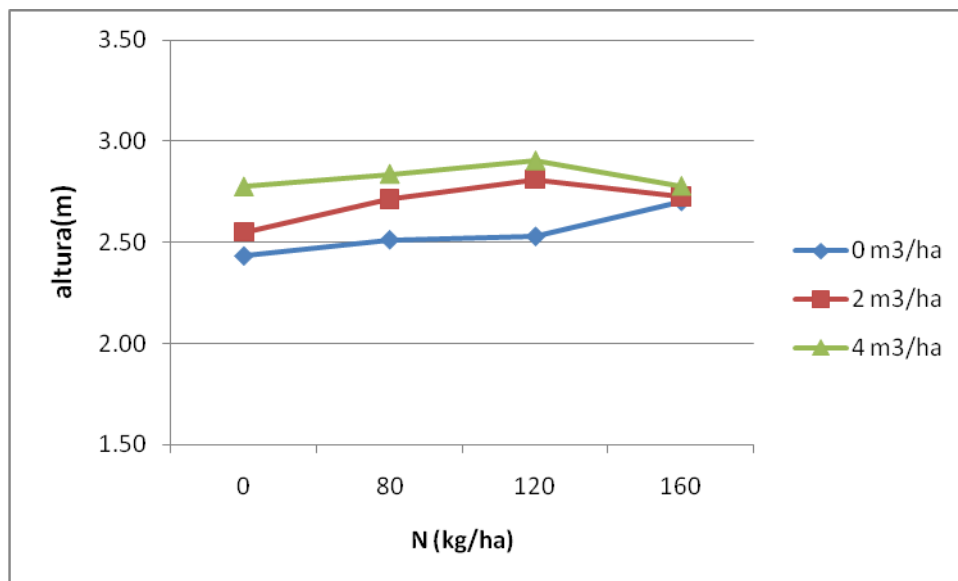


Figura 5. Efecto de la interacción vinaza y nitrógeno en la altura de plantas

7.3 POBLACIÓN DE TALLOS

En el cuadro 6 se presenta el análisis de varianza para la variable población expresada en tallos por metro lineal (TML).

Cuadro 6. Análisis de varianza de la variable Población.

F.V.	g l	SC	p-valor	
Repetición	3	7.9054	0.0352	
Dosis vinaza m ³ /ha	2	6.2701	0.0319	*
N (kg/ha)	3	2.5765	0.3827	NS
N (kg/ha) (Dosis vinaza m ³ /ha)	6	0.8375	0.9827	NS
Error	32	26.1012		
Coeficiente de variación % 6.86 (p<= 0.05)				

Según se observa en el cuadro 6 la variable población tallos por metro lineal (TML) existe diferencia significativa con las aplicaciones de vinaza (2 y 4 m³/ha), sin embargo, no se presentan diferencias en las dosis de nitrógeno (kg/ha).

En el cuadro 7 se observa el efecto promedio de la aplicación de vinaza, según se aprecia con la aplicación de las dosis de vinaza evaluadas 2 y 4 m³, incrementándose la cantidad de tallos por metro lineal lo que de alguna manera también influyó en la tendencia en incremento en toneladas métricas de caña por hectárea (TCH) por las aplicaciones de vinaza.

Cuadro 7. Tallos por metro lineal según la dosis de vinaza aplicada

Dosis vinaza	Tallos por metro lineal
0 m ³ /ha	12.8
2 m ³ /ha	13.1
4 m ³ /ha	13.7

7.4 CONTENIDO DE CLOROFILA

En el cuadro 8 se muestra el análisis de varianza para la variable clorofila (unidades relativas de clorofila URC).

Cuadro 8. Análisis de varianza de unidades relativas de clorofila

F.V.	gl	SC	p-valor	
Repetición	3	7.06	0.2951	
Dosis vinaza m ³ /ha	2	0.02	0.9927	NS
N (kg/ha)	3	1.93	0.7877	NS
N (kg/ha) (Dosis vinaza m ³ /ha)	6	4.53	0.8651	NS
Error	32	60.37		
Coeficiente de variación % 3.43				
(p<= 0.05)				

Se aprecia en el cuadro 8 que ninguno de los factores evaluados muestra diferencias significativas en su interacción, sobre la variable unidades relativas de clorofila (URC).

7.5 POL, BRIX Y PUREZA

En el cuadro 9 se presentan la medias de grados brix, pol y pureza observados en los doce tratamientos evaluados.

Cuadro 9. Interacción de dosis de vinaza y dosis de nitrógeno en las variables de grados brix, pol y pureza.

Vinaza(m³/ha)	N(kg/ha)	Grados Brix	Pol (%)	Pureza (%)
0	0	18.18	16.35	89.86
	80	17.75	15.95	89.76
	120	18.65	17.11	91.66
	160	18.45	16.66	90.23
2	0	18.17	16.61	91.41
	80	18.55	16.62	89.51
	120	17.94	16.17	89.85
	160	18.17	16.49	90.72
4	0	18.61	16.99	91.28
	80	18.93	16.98	89.63
	120	18.06	16.67	92.29
	160	18.79	17.26	91.78

En el cuadro 9 se observa que ninguna de las variables del rendimiento de azúcar: brix, pol y pureza mostraron una tendencia de comportamiento respecto los tratamientos evaluados, lo cual es coherente con la no significancia estadística de las mismas en ninguno de los factores evaluados y su interacción, según los análisis de varianza realizados y que se presentan en los cuadros No. 9, 10 y 11 de anexos.

7.6 ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO

En el cuadro 10 se presenta un resumen de la determinación del análisis beneficio-costos de cada uno de los tratamientos.

Cuadro 10. Análisis beneficio- costo de los tratamientos

Vinaza (m ³ /ha)	N(kg/ha)	costo total (Q)	Incremento TCH	Ingreso marginal (Q)	Beneficio-costos (Q)
	0	0	0	0	0
0	80	614.40	13.52	2,595.84	1,981.44
	120	921.60	15.29	2,935.68	2,014.08
	160	1,228.80	14.00	2,688.00	1,459.20
2	0	844.80	1.67	320.64	-524.16
	80	1,459.20	12.44	2,388.48	929.28
	120	1,766.40	20.24	3,886.08	2,119.68
	160	2,073.60	15.74	3,022.08	948.48
4	0	1,689.60	10.43	2,002.56	312.96
	80	2,304.00	17.67	3,392.64	1,088.64
	120	2,611.20	18.17	3,488.64	877.44
	160	2,918.40	20.64	3,962.88	1,044.48

Costo m³ de vinaza aplicado: Q.422.40

Costo kg N: Q7.68

Costo ton caña: Q192.00

En el cuadro 10 se observa que el máximo beneficio se obtuvo al aplicar 2 m³ vinaza adicionando a estos 120 kilogramos de nitrógeno obteniendo un diferencial beneficio-costos total de aplicación de Q2,119.68 seguido por el tratamiento con aplicación de 120 kilogramos de nitrógeno sin vinaza con el cual el diferencial entre el beneficio y el costo total fue de Q2,014.08. Se sugiere realizar este mismo análisis beneficio-costos para la primera (segundo ciclo de cultivo) y segunda soca (tercer ciclo de cultivo) considerando

que este ensayo se realizó en caña plantía (primer ciclo de cultivo) al cual corresponden los datos presentados en el presente trabajo y observar de esta manera si se mantienen o incrementan los beneficios en estos ciclos sucesivos.

VIII. CONCLUSIONES

- No se obtuvo ninguna interacción positiva entre la aplicación de vinaza y los niveles de nitrógeno evaluados, en ninguna de las variables evaluadas.
- Las aplicaciones de vinaza no lograron los incrementos esperados en el rendimiento de caña; no obstante, se obtuvieron 6.03 toneladas de caña más con la aplicación de cuatro metros cúbicos de vinaza por hectárea comparado sin la aplicación de la misma.
- La aplicación de dosis crecientes de nitrógeno permitió elevar el rendimiento de caña hasta en 13.87 toneladas, incremento obtenido con la aplicación de 120 kilogramos de nitrógeno por hectárea.
- Las aplicaciones de vinaza presentaron efectos positivos en la altura de plantas y población de tallos; sin embargo, estos no se reflejaron en un mayor rendimiento de caña esperado como ya se indicó.
- Las dosis crecientes de nitrógeno permitieron elevar la altura de plantas cuyo valor promedio máximo fue alcanzado con la aplicación de 120 kilogramos de nitrógeno por hectárea congruente con el máximo incremento en producción de caña alcanzado por este mismo nivel.
- Ninguno de los factores evaluados ni su interacción mostró efectos relevantes en las unidades relativas de clorofila.
- Se determinó que el máximo beneficio (2,119.68) se obtuvo al aplicar dos metros cúbicos de vinaza por hectárea adicionando a estos 120 kilogramos de nitrógeno por hectárea.

IX. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar esta evaluación en otros suelos en donde, previo análisis químico se determine su baja fertilidad para que se puedan expresar de mejor manera los beneficios de las aplicaciones de vinaza y su interacción con el nitrógeno.
- Darle continuidad a la presente investigación y efectuar el análisis Beneficio-costo al menos en los siguientes dos ciclos para determinar si se mantiene o incrementa la tendencia positiva obtenida en este primer ciclo de evaluación.

X. BIBLIOGRAFÍA

- ASAZGUA. (1996). Registros de producción en Guatemala en 15 ingenios, ubicados en cinco departamentos de la costa del Pacífico, zafra 2004-2005 Guatemala: ASAZGUA, p 16.
- ASAZGUA. (2006). Registros de exportaciones en Guatemala en 15 ingenios, ubicados en cinco departamentos de la costa del Pacífico, zafra 2004-2005, Guatemala: ASAZGUA, p 22.
- Buenaventura, C. (1986). El cultivo de la caña de azúcar, editorial xyz cali, TECNICAÑA, Colombia: TECNICAÑA, p 146.
- Castillo Valle, H. (1984). Propuesta para poner en funcionamiento la planta de tratamiento de la fábrica nacional de licores, ministerio de industria, energía y minas. San José, Costa Rica, p. 25.
- CENGICAÑA. (1996). Estudio semi-detallado de suelos de la zona cañera de Guatemala, segunda edición. Guatemala: CENGICAÑA, p 215.
- CENGICAÑA. (2007). Informe anual 2005-2006 Guatemala, p 102.
- CENGICAÑA. (2007). Evolución de la Producción y Productividad de la agroindustria azucarera y mapas generales de la zona cañera de la costa sur de la República de Guatemala, Guatemala: CENGICAÑA, p 20.
- CENGICAÑA. (2007). Informe de resultados zafra 2007, memoria zafra 2006-2007 Centro Guatemalteco para la Investigación y Capacitación de la caña de azúcar. CENGICAÑA, p 232.
- CENGICAÑA. (2012). Estudio de variedades en la novena prueba regional de CENGICAÑA en plantía, primera y segunda soca, Guatemala: Orozco, p 37- 46.
- Chen, J. (1991). Manual del azúcar de caña (1^a. ed.) edit. Limusa, México: Chen, p 23.
- Contreras, A. y Col, M. (1999). Contaminación ambiental de la industria azucarera en Villa Clara, revista Centro Azúcar, Guatemala: Centro Azúcar, No. 1, p 1-3.
- Cuellar, J., Martinez, M., Gutiérrez, J., López, E., Ferreira, S. y Montenegro, O. (2003). Industrias azucareras, la vinaza constituyente principal del residuo líquido de la fermentación para la fabricación de alcohol, Impreso Imperial, Guatemala: Imperial, p 35.

- Ferreira, S. y Montenegro, O., (1987). Efectos aplicados a vinaza y propiedades químicas, físicas e biológicas, boletín técnico COPERSUCAR Brasil, p 1-7.
- Filho, J. (1983). Utilización agrícola de los residuos agroindustriales, Brasil PLANALSUCAR, Piracaba, Brasil: PLANALSUCAR, p 229-264.
- Flores, S. (1976). Manual de caña de azúcar, Instituto Técnico de Capacitación y Productividad. INTECAP, Guatemala: INTECAP, p 172.
- Gloria, N. y Filho, J. (1983). Aplicación de vinaza como fertilizante, boletín técnico, PLANALSUCAR, Piracaba, Brasil: PLANALSUCAR, p 1-38.
- Gómez, J. (2008). Nutrición líquida de la caña de azúcar con vinurea, Colombia: Gomez, p 14.
- Gómez, J. y Santisteban, M. (2000). Uso de la caña de azúcar como alternativa energética viable en un concepto de gestión medio ambiental e integradora, documento técnico, Guatemala: Gomez y Santisteban, p 28.
- Orozco, H., Soto, M., Pérez, O., Ventura, J. y Recinos, R. (1995). Estratificación preliminar de la zona de producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Guatemala, CENGICAÑA, documento técnico No. 6 issn 1023 5779, Guatemala: Orozco, Soto, Pérez, Ventura y Recinos, p 24.
- Pantaleón S.A. (2008). Composición química de la vinaza producida en Ingenio Pantaleón, manual técnico, Guatemala: López, p 18.
- Pérez, O. (2001). Fertilización nitrogenada en caña de azúcar, síntesis de resultados de investigación en la zona cañera de Guatemala, en memoria del x Congreso Nacional de ATAGUA, Guatemala: ATAGUA, p 98-104.

XI. ANEXOS

Cuadro 11. Análisis de varianza de variable de Brix

F.V.		SC	p-valor
Repetición	3	2.3957	0.5897
Dosis vinaza m ³ /ha	2	1.2519	0.6063 NS
N (kg/ha)	3	0.3736	0.9587 NS
N (kg/ha) (Dosis vinaza m ³ /ha)	6	3.4479	0.8274 NS
Error	31	38.1562	

Coeficiente de variación % 6.04
(p<= 0.05)

Cuadro 12. Análisis de varianza de variable de porcentaje de Pol

F.V.		SC	p-valor
Repetición	3	3.07	0.6608
Dosis vinaza m ³ /ha	2	2.02	0.5929 NS
N (kg/ha)	3	0.49	0.9673 NS
N (kg/ha) (Dosis vinaza m ³ /ha)	6	3.36	0.9354 NS
Error	31	59.18	

Coeficiente de variación % 8.29
(p<= 0.05)

Cuadro 13. Análisis de varianza de variable de Pureza

F.V.		SC	p-valor
Repetición	3	8.22	0.7842
Dosis vinaza m ³ /ha	2	6.22	0.6703 NS
N (kg/ha)	3	16.40	0.5520 NS
N (kg/ha) (Dosis vinaza m ³ /ha)	6	14.89	0.9196 NS
Error	31	237.90	

Coeficiente de variación % 3.06
(p<= 0.05)

Cuadro 14. Análisis de varianza de variable de diámetro

F.V.		SC	p-valor
Repetición	3	0.11	0.0479
Dosis vinaza m ³ /ha	2	0.02	0.4972 NS
N (kg/ha)	3	0.01	0.8908 NS
N (kg/ha) (Dosis vinaza m ³ /ha)	6	0.03	0.9182 NS
Error	32	0.439	

Coefficiente de variación % 4.62
(p<= 0.05)

Cuadro 15. Unidades relativas de clorofila obtenida para cada uno de los tratamientos.

Vinaza (m ³ /ha)	N(kg/ha)	Clorofila (URC)
0	0	39.4
	80	39.2
	120	38.8
	160	40.3
2	0	39.2
	80	39.6
	120	39.8
	160	39.4
4	0	39.5
	80	39.7
	120	39.1
	160	39.7

Cuadro 16. Resultados de análisis químico del suelo en finca San Vicente Baúl, Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla.

Análisis	Parámetro Analizado	Unidad medida	Estrato 0-20 (cm)
QUIMICO	CE	(dS m ⁻¹)	0.05
	pH	H ₂ O	5.97
	M.O	%	4.56
	Ca	meq/100 g	3.33
	Mg		0.76
	Na		0.04
	CIC		28.77
	K	ppm	121
	PD		2.26
	Cu		0.67
	Zn		4.26
	Fe		7.19
	Mn		15.85

Métodos de análisis: Conductividad Eléctrica (CE): en agua relación 1:4, pH en agua relación 1:2:5, Materia orgánica: Walkey-Black; Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables: extracción de acetato de amonio 1 normal; Micronutrientes y Fósforo: Extracción con solución de Carolina del Norte (Mehlich 1) lectura por absorción atómica y espectrofotometría visible respectivamente.

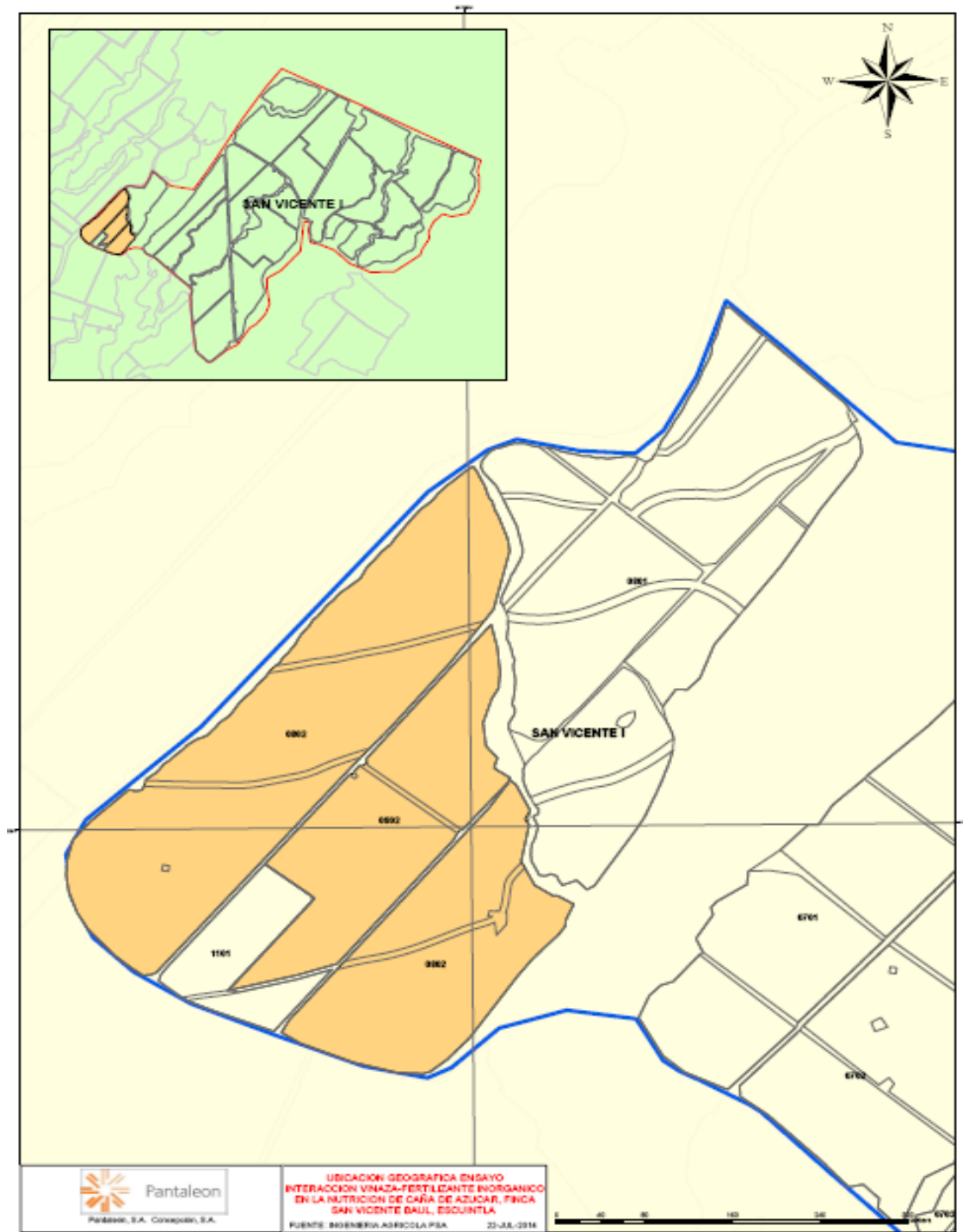


Figura 6. Ubicación geográfica del ensayo Interacción vinaza – fertilizante inorgánico en la nutrición de la caña de azúcar, Finca San Vicente Baúl, Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla.