

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



TRABAJO DE GRADUACIÓN

Evaluación del efecto de cuatro láminas de vinaza sobre la saturación de Potasio en el suelo y su relación con la productividad de *Saccharum officinarum* L. *poaceae* “caña de azúcar” en finca Santa Julia del Ingenio Tzulá.

Por:

Juán José López Yac

Carné: 201643982

Cui: 2144026061004

yacjuanjo7@gmail.com

Mazatenango, Suchitepéquez. Agosto 2025

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



TRABAJO DE GRADUACIÓN

Evaluación del efecto de cuatro láminas de vinaza sobre la saturación de Potasio en el suelo y su relación con la productividad de *Saccharum officinarum* L. *poaceae* “caña de azúcar” en finca Santa Julia del Ingenio Tzulá.

Por:

Juán José López Yac

Carné: 201643982

Asesor:

Ing. Francisco Javier Espinoza Marroquín

Mazatenango, Suchitepéquez. Agosto 2025

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

M.Sc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

Director en Funciones

REPRESENTANTE DE PROFESORES

MSc. Edgar Roberto del Cid Chacón

Vocal

M.A. Luis Carlos Muñoz López

Vocal

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Lic. Vílser Josvin Ramírez Robles

Vocal

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM y TAE. Rony Roderico Alonzo Solís

Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

Dr. Luis Gregorio San Juan Estrada
Coordinador Académico

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

M.A. Rita Elena Rodríguez Rodríguez
Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Dr. Nery Edgar Saquimux Canastuj
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo
Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

MSc. Martín Salvador Sánchez Cruz
Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

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

MSc. Tania María Cabrera Ovalle
Coordinador Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales
Abogacía y Notariado

Lic. José Felipe Martínez Domínguez
Coordinador de Área Social Humanista

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA

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

Lic. Heinrich Herman León
Coordinador Carrera Periodista Profesional y
Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

ACTO QUE DEDICO

A JESUCRISTO:

Por darme el privilegio de la vida, por las oportunidades que me ha brindado, por darme fortaleza, salud, sabiduría y permitirme alcanzar mis metas propuestas.

A MIS PADRES:

Raúl López Chávez y Paula Yac Procopio, por el apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, sus correctas enseñanzas y valores inculcados para ser una persona de bien.

A MI ESPOSA:

María Fernanda de López, por estar en el proceso de lucha continua, comprensión y apoyo incondicional para alcanzar nuevas metas personales y profesionales.

A MIS HIJOS:

Fernanda Elizabeth López y Fernando José López, por ser el pilar importante en mi vida, lo que me motiva cada día a esforzarme en cumplir mis metas propuestas.

A MIS HERMANOS:

Henry, Raúl, Marcelo, Emanuel y Gloria, por su apoyo incondicional en los momentos difíciles y sus buenos consejos.

AGRADECIMIENTOS

A MI ASESOR:

Ing. Agr. Francisco Javier Espinoza Marroquín

Por el apoyo y el conocimiento brindado como asesor y supervisor de mi proceso del Ejercicio Profesional Supervisado de la carrera de Agronomía Tropical de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

CLAUSTRO DE LA CARRERA DE AGRONOMIA TROPICAL DEL CUNSUROC:

Por impartir su conocimiento especializado para mi formación a lo largo de mi proceso como estudiante.

AL INGENIO TULULÁ S.A.:

Por la oportunidad de realizar el Ejercicio Profesional Supervisado y por el apoyo en el proceso de la realización de la investigación inferencial.

Los Ingenieros:

Ing. Agr. Oscar Anleu

Ing. Agr. Juan Luis Ajanel

Ing. Agr. Luis Miguel Flores

Ing. Agr. José María García

INDICE GENERAL

Contenido	página
RESUMEN	xi
SUMMARY.....	xiii
I. INTRODUCCION	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Marco conceptual.....	3
2.1.1 Vinaza.....	3
2.1.2 Materia prima.....	3
2.1.3 Composición y propiedades de la vinaza.....	3
2.1.4 Características principales de la vinaza.....	4
2.1.5 Usos de la vinaza	4
2.1.6 Producción de biogás y biosólidos.....	6
2.1.6.1 Composición y características del biogás	6
2.1.6.2 Principios de la fermentación anaeróbica	6
2.1.6.3 Fases que intervienen en la biodigestión anaeróbica.....	6
2.1.7 Propiedades químicas del suelo	7
2.1.7.1 pH del suelo.....	7
2.1.7.2 Efecto del pH sobre la estructura del suelo.....	9
2.1.7.3 Conductividad eléctrica	9
2.1.8 Bases del suelo	10
2.1.8.1 Saturación de bases.....	10
2.1.8.2 Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C).....	11
2.1.9 Cultivo de <i>S. officinarum</i>	11
2.1.9.1 Clasificación botánica <i>S. officinarum</i>	12
2.1.9.2 Sistema radicular de la caña de azúcar.....	12
2.1.9.3 Requerimiento de nutrientes de la caña de azúcar	12
2.1.9.4 Nitrógeno.....	13
2.1.9.5 Recomendaciones de dosis de (N).....	13

2.1.9.6 Fósforo (P)	13
2.1.9.7 Recomendaciones de dosis (P)	13
2.1.9.8 Potasio (K).....	14
2.1.9.9 Potasio en la solución del suelo.....	14
2.1.9.10 El potasio intercambiable	15
2.1.9.11 La velocidad de reposición del potasio.....	15
2.1.9.12 Potasio en la translocación de azúcares.....	16
2.1.9.13 Recomendaciones de dosis de Potasio (K ⁺).....	16
2.1.9.14 Calcio (Ca).....	17
2.1.9.15 Calcio en el suelo.....	17
2.1.9.16 Magnesio.....	18
2.1.9.17 Magnesio en el suelo.....	18
2.1.10 Riego por aspersión.....	18
2.1.10.1 Distribución del agua sobre el suelo	20
2.1.10.2 Clasificaciones de los sistemas de aspersión	20
2.2 Marco referencial	22
2.2.1 Lugar de captación de la vinaza del Ingenio Tululá.....	22
2.2.2 Riego comercial de vinaza	23
2.2.3 Tipo de aspersor utilizado en campo	23
2.2.4 Sistema de distribución de la vinaza (vinazoducto)	23
2.2.5 Fertilización química posterior a la aplicación de vinaza en el cultivo de <i>S. officinarum</i>	24
2.2.6 Localización y ubicación del área experimental.....	24
2.2.7 Ubicación geográfica	25
2.2.8 Clima.....	25
2.2.9 Suelos.....	25
2.2.10 Uso actual de finca Santa Julia sección tres.....	27
2.2.11 Mapa de ubicación de finca Santa Julia.....	27
III.OBJETIVOS	28
3.1 Objetivo general.....	28
3.2 Objetivos específicos	28
3.2.1 Determinar el efecto de las láminas de vinaza sobre las propiedades fisicoquímicas en el suelo.	28

3.2.2	Determinar el efecto de la lámina de vinaza sobre el rendimiento de <i>S. officinarum</i> en toneladas por hectárea, toneladas de azúcar por hectárea y la producción de azúcar por tonelada de caña.	28
3.2.3	Evaluar el efecto de la lámina de vinaza sobre la calidad de jugo de caña <i>S. officinarum</i>	28
3.2.4	Realizar análisis de costo de aplicación por hectárea de cada lámina de vinaza.	28
IV.	HIPÓTESIS	29
V.	MATERIALES Y METODOS.....	30
5.1	Materiales	30
5.1.1	Recursos físicos	30
5.1.2	Recursos humanos.....	30
5.1.3	Recursos financieros	30
5.2	Métodos	31
5.2.1	Determinación del efecto de las láminas de vinaza sobre las propiedades fisicoquímicas en el suelo	31
5.2.1.1	Diseño experimental.....	31
5.2.1.2	Modelo estadístico	31
5.2.1.3	Análisis estadístico	32
5.2.1.4	Tratamientos evaluados	32
5.2.1.5	Cálculo de las dosis de potasio aplicados de cada tratamiento	33
5.2.1.6	Numero de repeticiones	34
5.2.1.7	Unidad experimental	34
5.2.1.8	Croquis del diseño experimental.....	35
5.2.1.9	Establecimiento y manejo de la investigación	37
5.2.1.10	Variable de respuesta.....	40
5.2.1.11	Modo de análisis	40
5.2.1.12	Procedimiento efectuado en campo para determinar la cantidad de vinaza aplicados en (mm) por medio de pluviómetros	41
5.2.1.13	Procedimiento para las mediciones de pH y CE.....	43
5.2.1.14	Procedimiento para la toma de muestras de suelo en la unidad experimental para la determinación de potasio previo a la aplicación de los tratamientos.	44

5.2.1.15 Muestreo de suelo con fines de fertilidad posterior a la aplicación de los tratamientos.....	45
5.2.2 Determinación del efecto de la lámina de vinaza sobre el rendimiento de <i>S. officinarum</i> en toneladas por hectárea, toneladas de azúcar por hectárea y producción de azúcar por tonelada de caña.....	46
5.2.2.1 Variable respuesta.....	46
5.2.2.2 Modo de análisis.....	46
5.2.2.3 Descripción de metodología de toneladas de caña por hectárea (TCH) ..	46
5.2.2.4 Descripción de metodología de toneladas de azúcar por hectárea (TAH) ..	47
5.2.2.5 Descripción de metodología de la producción de azúcar por tonelada de caña (Kg Az/TC) ..	48
5.2.3 Evaluación el efecto de la lámina de vinaza sobre la calidad de jugo de caña <i>S. officinarum</i> ..	48
5.2.3.1 Variable respuesta.....	48
5.2.3.2 Modo de análisis.....	48
5.2.3.3 Descripción de metodología.....	48
5.2.4 Realización del análisis de costo de aplicación por hectárea de cada lámina de vinaza.....	49
VI. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS ..	50
6.1 Determinación del efecto de las láminas de vinaza sobre las propiedades fisicoquímicas en el suelo.	50
6.1.1 Resultados de los milímetros aplicados de vinaza ..	50
6.1.2 Propiedades fisicoquímicas del suelo.	51
6.1.3 Saturación de potasio en el suelo ..	54
6.2 Determinación del efecto de la lámina de vinaza sobre el rendimiento de <i>S. officinarum</i> en toneladas por hectárea, toneladas de azúcar por hectárea y la producción de azúcar por tonelada de caña.....	66
6.2.1 Toneladas de caña por hectárea (TCH).....	66
6.2.2 Toneladas de azúcar por hectárea (TAH).....	68
6.2.3 Producción de azúcar por tonelada de caña Kg Az/TC ..	70
6.3 Evaluación del efecto de la lámina de vinaza sobre la calidad de jugo de caña <i>S. officinarum</i> ..	72
6.3.1 Evaluación de la pureza del jugo de caña de azúcar ..	72
6.3.2 Evaluación de los grados Brix del jugo de caña de azúcar ..	74

6.3.3 Evaluación del Pol caña del jugo de caña de azúcar	75
6.4 Realización del análisis de costos de aplicación de vinaza por hectárea de cada tratamiento evaluado.....	79
VII. CONCLUSIONES	81
VIII. RECOMENDACIONES.....	83
IX. REFERENCIAS	84
X. ANEXOS	87

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Resultado de análisis de vinaza de melaza de los tratamientos aplicados en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.....	5
2. Denominación de la acidez del suelo de acuerdo a los valores de pH.	8
3. Reacción del suelo (pH) y su relación con los nutrientes esenciales para la planta....	8
4. Clasificación de la salinidad de los suelos.....	9
5. Niveles críticos de las bases intercambiables en el suelo.....	10
6. Clasificación botánica sistemática <i>S. officinarum</i> L. <i>poaceae</i> “caña de azúcar”.....	12
7. Recomendaciones de dosis de potasio en la zona cañera de Guatemala	17
8. Fincas donde se aplica el riego comercial de vinaza	24
9. Características físicas del suelo de los lotes 0050303, 0050305 de finca Santa Julia sección 3.....	25
10. Resultados de análisis de los elementos químicos disponibles e intercambiables presentes en el suelo de finca Santa Julia Sección tres del año 2021.	26
11. Descripción de los tratamientos de lámina de vinaza aplicados en el ensayo.....	32
12. Resultado del coeficiente de uniformidad por el método de pluviómetro.	50
13. Kilogramos de potasio aplicados con respecto a los milímetros captados.	50
14. Variación del pH y la conductividad eléctrica del suelo a los 30, 60, 90 y 365 días después de la siembra de caña de azúcar en el área de aplicación de las láminas de vinaza.	51
16. Análisis de fertilidad del suelo previo y posterior a la aplicación de los tratamientos de las láminas de vinaza.....	55
17. Análisis químico de saturación de bases del suelo previo y posterior a la aplicación de los tratamientos de lámina de vinaza.	61
18. Resultados de los análisis de suelo previo a la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia Sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.....	63
19. Media del porcentaje de saturación de potasio en el suelo de cada tratamiento de lámina de vinaza.	64
20. Análisis de varianza para la saturación de potasio en el suelo con la aplicación de láminas de vinaza.	64
21. Resultado de prueba de medias Tukey al 5% de saturación de potasio en el suelo.....	65
22. Media de cada tratamiento de vinaza de la variable rendimiento en toneladas de caña por hectárea (TCH) en plantía.	66

23. Análisis de varianza de la variable rendimiento de toneladas de caña por hectárea (TCH) en plantía.	67
24. Resultado de prueba de medias Tukey al 5% de la variable rendimiento de toneladas de caña por hectárea en plantía.	67
25. Medias de cada tratamiento de vinaza de la variable rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea (TAH) en plantía.	68
26. Análisis de varianza de la variable rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea (TAH) en plantía.....	69
27. Resultado de prueba de medias Tukey al 5% de la variable rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea en plantía.	69
28. Medias de cada tratamiento de vinaza de la variable producción de azúcar por tonelada de caña (Kg Az/TC) en plantía.....	70
29. Análisis de varianza de la variable producción de azúcar por tonelada de caña (Kg Az/ha).	71
30. Medias de cada tratamiento evaluado de la variable calidad del azúcar (pureza del jugo de caña de azúcar).	72
31. Análisis de varianza de la pureza del jugo de caña de azúcar.....	73
32. Medias de cada tratamiento evaluado de la variable calidad del azúcar (grados Brix).....	74
33. Análisis de varianza de los grados Brix del jugo de caña de azúcar.	74
34. Promedio del resultado de la variable calidad de azúcar expresado el Pol de caña.	75
35. Análisis de varianza de Pol caña del jugo de caña de azúcar.	76
36. Medias de rendimiento de caña (TCH), producción de azúcar (kg Az/TC), pureza de jugo de caña, grados Brix y Pol caña y prueba de medias Tukey en caña plantía.	77
37. Costo de aplicación por hectárea de cada lámina de vinaza de la evaluación realizada.....	79
38. Puntos de ubicación georreferenciados en coordenadas GTM de cada tratamiento evaluado.	87
39. Costo de aplicación de lámina de vinaza 3.3 mm de 10.80 hectárea en 12 horas de trabajo.	88
40. Costos de aplicación de lámina de vinaza 5.4 mm de 8.0 hectárea en 12 horas de trabajo.	89
41. Costos de aplicación de lámina de vinaza 8.10 mm de 5.5 hectáreas en 12 horas de trabajo.	90

42. Costos de aplicación de lámina de vinaza 10.80 mm de 4 hectáreas en 12 horas de trabajo.	91
43. Costos de mano de obra y de insumos de la investigación en finca Santa Julia sección tres.	92
44. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento uno de lado A.	93
45. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento uno de lado B.	94
46. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento dos de lado A.	95
47. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento dos de lado B.	96
48. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento tres de lado A.	97
49. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento tres de lado B.	98
50. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento cuatro de lado A.	99
51. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento cuatro de lado B.	100
52. Resultado del análisis de suelo antes de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.....	101
53. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.....	102
54. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.....	103
55. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.....	104
56. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.....	105

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ciclo del potasio en el suelo.....	15
2. Sistema de riego de aspersión estacionarios y desplazamiento continuo.....	21
3. Lugar de captación de la vinaza (pileta) y esquema del sistema de distribución	22
4. Mapa de ubicación de finca Santa Julia.....	27
5. Croquis de la unidad experimental	35
6. Croquis del diseño experimental del riego de vinaza (sistema de riego semifijo) un aspersor de impacto por parcela.....	36
7. Dimensiones del área bruta y neta del aspersor.....	36
8. Instalación de las válvulas de paso de 2 pulgadas para cada aspersor con su respectivo nylon de identificación.....	38
9. Presión de salida del aspersor utilizando un manómetro de glicerina con tubo pitot...39	39
10. Colocación de los pluviómetros en el área de mojado del aspersor.....	40
11. Distribución espacial de los pluviómetros en campo.....	41
12. Potenciómetro y conductivímetro marca Hanna, modelo HI991405 utilizado para las mediciones de pH y CE.....	43
13. Soluciones agua suelo preparadas para la determinación del pH y conductividad eléctrica.....	44
14. Muestras compuestas de suelo enviadas al laboratorio de Analab para determinar la saturación de potasio de cada bloque antes de las aplicaciones de los tratamientos de lámina de vinaza.....	45
15. Método para la extracción de las muestras de suelo en el área neta de la Parcela.....	45
16. Pesaje de los tallos para determinar el rendimiento de cada tratamiento.....	47
17. Comportamiento del pH del suelo en el transcurso del ensayo con las láminas de vinaza.....	52
18. Comportamiento de la conductividad eléctrica del suelo en el transcurso del ensayo con las láminas de vinaza.....	53
19. Comportamiento de los macronutrientes en el suelo con las aplicaciones de la Lámina de vinaza; a) Potasio, b) Calcio, c) Magnesio, d) Azufre.....	56

20. Comportamiento de los macronutrientes en el suelo con las aplicaciones de la vinaza; a) Boro, b) Cobre, c) Manganeso, d) Hierro, e) Zinc.....	58
21. Comportamiento de la materia orgánica en el suelo con la aplicación creciente de vinaza al suelo.....	60
22. Comportamiento de la saturación de potasio en el suelo con las láminas de vinaza previo y posterior.....	62
23. Rendimiento de toneladas de caña por hectárea de los tratamientos de vinaza aplicados al suelo.....	68
24. Rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea de los tratamientos de láminas de vinaza aplicados al suelo.....	70
25. Rendimiento de azúcar por tonelada de caña de los tratamientos de láminas de vinaza aplicados al suelo.....	71
26. Pureza del jugo de cada azúcar de cada tratamiento de lámina de vinaza.....	73
27. Grados Brix del jugo de cada azúcar de cada tratamiento de lámina de vinaza.....	75
28. Porcentaje de Pol caña del jugo de cada azúcar obtenido de cada tratamiento de lámina de vinaza.....	76
29. Mapa de distribución de los tratamientos de láminas de vinaza en finca Santa Julia sección tres del Ingenio Tululá S.A.....	106
30. Resultado del análisis de suelo previo a la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.....	107
31. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.....	108
32. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.....	109
33. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.....	110
34. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.....	111
35. Resultado del análisis de textura de suelo de los lotes 00500303 y 0050305 de la sección tres de finca Santa Julia.....	112

RESUMEN

En el proceso de destilación de alcohol del Ingenio Tululá, se producen alrededor de 1800 m³ de vinaza al día, parte de este recurso se destina para la producción de biogás y el producto de los biodigestores se mezcla con el resto de la vinaza y se utiliza como fertilizante, esto debido a que contiene elementos que son nutritivos para las plantas (Ajanel, 2023). El uso de la vinaza como fertilizante ha incrementado la saturación de potasio en el suelo, situación que ha afectado al proceso industrial de producción de azúcar.

El objetivo principal de la evaluación de las láminas de vinaza en el cultivo *S. officinarum* es determinar la lámina óptima para continuar con las aplicaciones sin saturar el suelo de potasio y consecuentemente obtener resultados positivos en el proceso industrial de producción de azúcar, las aplicaciones de vinaza se han realizado sin un estudio previo a ello se deriva la causa de la saturación de potasio en suelo.

Para determinar el efecto de la vinaza en el suelo y determinar cuánto y cómo afecta a la productividad de caña de azúcar y la producción de azúcar, se realizó la investigación que evaluó cuatro láminas de vinaza. Esta investigación se realizó en finca Santa Julia sección tres lotes 0050303 y 0050305. Las láminas de vinaza fueron; 3.3 mm que contiene 145.2 (kg K⁺/ha), 5.4 mm que contiene 237.6 (kg K⁺/ha), 8.1 mm que contiene 356.4 (kg K⁺/ha), 10.8 mm que contiene 475.2 (kg K⁺/ha) utilizando el método de aplicación por aspersión bajo un arreglo de bloques completamente al azar con cinco repeticiones.

Las variables respuesta fueron; a) propiedades fisicoquímicas del suelo, b), el rendimiento de *S. officinarum* expresado en toneladas de caña por hectárea (TCH), el rendimiento de azúcar, expresado en toneladas de azúcar por hectárea (TAH) y el rendimiento de azúcar por tonelada de caña, expresado en kg (Az/TC), c) la calidad de del jugo de *S. officinarum*, y finalmente, e) el costo de aplicación de cada tratamiento por hectárea.

Los resultados mostraron que al incrementar la lámina de vinaza se incrementa el pH del suelo, modificándose el pH de 6.76 antes de las aplicaciones a 6.95, 6.96, 6.96 y 7.10

después de las aplicaciones de vinaza con las láminas de 3.3 mm, 5.4 mm, 8.10 mm, 10.80 mm. En cuanto a la conductividad eléctrica, ninguno de los tratamientos supero 1 dS/m de inicio a final de cosecha.

En cuanto al rendimiento de caña de *S. officinarum* CP72-2086, el mejor tratamiento fue la lámina 10.80 mm de vinaza, con un rendimiento de 118.57 ton. /ha y en producción de azúcar por tonelada caña, la lámina 8.10 mm produjo 151.3 kg. Az/TC, siendo ésta la mejor. El efecto de las láminas de vinaza y la saturación de potasio sobre los indicadores de la calidad del azúcar: pureza de jugo, grados Brix y Pol caña, no mostró diferencia significativa, sin embargo, la lámina de vinaza de 10.80 mm redujo la producción de azúcar por tonelada de caña.

Luego de la aplicación de láminas de vinaza de 5.4 mm, la saturación de potasio se incrementó a razón de 6.39 por ciento y el rendimiento obtenido fue de 80.51 toneladas de caña por hectárea, produciendo 148.9 kg de azúcar por tonelada de caña, siendo esta lámina la adecuada para evitar problemas de cristalización del azúcar en fábrica, el costo de aplicación por hectárea fue de Q 237.57. La lámina de vinaza 5.4 mm al no saturar el suelo de potasio mayor al siete por ciento indica que es la lámina adecuada para continuar con las aplicaciones en todas las fincas en producción, por lo cual contribuye a la mejora de estrategias a seguir para el Ingenio Tuluá S.A.

SUMMARY

In the alcohol distillation process of the Tululá Sugar Mill, around 1800 m³ of vinasse are produced per day, part of this resource is used for the production of biogas and the product from the biodigesters is mixed with the rest of the vinasse and used as fertilizer, this is because it contains elements that are nutritious for plants (Ajanel, 2023). The use of vinasse as fertilizer has increased the saturation of potassium in the soil, a situation that has affected the industrial process of sugar production.

The main objective of the evaluation of the vinasse sheets in the *S. officinarum* crop is to determine the optimal sheet to continue with the applications without saturating the soil with potassium and consequently obtain positive results in the industrial process of sugar production, vinasse applications. have been carried out without a prior study, the cause of potassium saturation in the soil is derived.

To characterize the effect of vinasse on the soil and determine how much and how it affects sugar cane productivity and sugar production, research was carried out that evaluated four sheets of vinasse. This research was carried out on the Santa Julia farm, section three lots 0050303 and 0050305. The vinasse sheets were; 3.3 mm containing 145.2 (kg K+/ha), 5.4 mm containing 237.6 (kg K+/ha), 8.1 mm containing 356.4 (kg K+/ha), 10.8 mm containing 475.2 (kg K+/ha) using the spray application method under a completely randomized block arrangement with five repetitions.

The response variables were; a) physicochemical properties of the soil, b), the yield of *S. officinarum* expressed in tons of cane per hectare (TCH), the sugar yield, expressed in tons of sugar per hectare (TAH) and the sugar yield per ton of cane, expressed in kg (Az/TC), c) the quality of *S. officinarum* juice, and finally, e) the cost of applying each treatment per hectare.

The results showed that increasing the vinasse sheet increases the pH of the soil, modifying the pH from 6.76 before the applications to 6.95, 6.96, 6.96 and 7.10 after the vinasse applications with the sheets of 3.3 mm, 5.4 mm, 8.10 mm, 10.80 mm. Regarding electrical conductivity, none of the treatments exceeded 1 dS/m from the beginning to the end of harvest.

Regarding the cane yield of *S. officinarum* CP72-2086, the best treatment was the 10.80 mm of vinasse sheet, with a yield of 118.57 tons. /ha and in sugar production per ton of cane, the 8.10 mm sheet produced 151.3 kg. Az/TC, this being the best. The effect of the vinasse sheets and potassium saturation on the sugar quality indicators: juice purity, Brix degrees and Pol cane, did not show a significant difference, however, the 10.80 mm vinasse sheet affects the the reduction of sugar per ton of cane.

After the application of 5.4 mm vinasse sheets, potassium saturation increased at a rate of 6.39 percent and the yield obtained was 80.51 tons of cane per hectare, producing 148.9 kg of sugar per ton of cane, this sheet being the appropriate one to avoid sugar crystallization problems in the factory, the application cost per hectare was Q 237.57. The 5.4 mm vinasse sheet does not saturate the soil with potassium greater than seven percent, indicating that it is the appropriate sheet to continue with the applications on all farms in production, which is why it contributes to the improvement of strategies to be followed by the Ingenio Tululá S.A.

I. INTRODUCCION

El Ingenio Tulumá S.A. es una empresa agroindustrial que a partir del año 2007-2008 se dedica a la producción de mieles vírgenes para la destilación del alcohol Industrial que utiliza como materia prima *S. officinarum* "Caña de azúcar, como subproducto de la destilación de las mieles vírgenes se obtiene la vinaza pura sin dilución. En el proceso de fermentación del jugo de caña de azúcar y destilación de alcohol se produce entre 10 y 15 litros de vinaza por litro de etanol producido, luego, parte de esta vinaza pasa a otro proceso para producir biogás; los residuos de la producción de biogás, junto con el resto de vinaza se mezclan y se aplican en campo como un riego único en las fincas comerciales.

En el año 2018 se aplicaron láminas de vinaza de 15 mm en las áreas de producción, con esto se saturó el suelo de potasio hasta un ocho por ciento de la CIC, al incrementar el contenido de potasio en el suelo se altera el contenido de cenizas en el jugo manifestándose problemas en fábrica en el proceso de cristalización del azúcar por la formación de núcleos falsos, por tanto, no aplicaron vinaza durante cuatro años, solamente en áreas de recuperación.

Debido a que la producción de vinaza es constante y las aplicaciones como abono orgánico una alternativa para aprovechar este recurso, se tornó necesario la determinación de la lámina de vinaza adecuada que no produzca saturación de potasio en el suelo y que permita continuar con las aplicaciones sin afectar las características del suelo, la producción de caña y el proceso de industria del azúcar, atendiendo las normativas de las certificaciones (ISO 9001) para una producción sustentable y la certificación (ISO 14001) en reducir el impacto ambiental en los procesos productivos.

La investigación se llevó a cabo en finca Santa Julia sección tres, localizada entre las coordenadas 14°26'26" latitud Norte, 91°37'27.44" longitud Oeste, está comprendida en el estrato medio de la zona cañera de Guatemala.

Partiendo de la problemática de la saturación de potasio en los suelos del Ingenio Tulumá y en función de determinar la lámina de vinaza que no afecte negativamente las características químicas del suelo, esta evaluación de cuatro láminas de vinaza realizada

en finca Santa Julia sección tres en un suelo Vertisol, pretende determinar la lámina de vinaza que no afecte las características químicas del suelo relacionadas a la saturación de potasio, que lámina de vinaza permite incrementar el rendimiento de caña por hectárea y que lámina de vinaza no interfiere con el proceso industrial de producción de azúcar. Con lo que el departamento de agronomía del Ingenio Tululá podrá emplear las láminas que permitan el máximo consumo de vinaza que permitan el máximo rendimiento de caña por hectárea y de azúcar por tonelada de caña y que no afecte negativamente las propiedades químicas del suelo.

Por lo tanto, se planteó la pregunta de investigación:

¿Cuál será el efecto de la lámina de vinaza sobre la saturación de potasio en el suelo y sobre las variables de rendimiento de caña por hectárea y kilogramos de azúcar por tonelada de caña?

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Vinaza

En el proceso de obtención industrial de alcohol etílico por fermentación, que usa la miel final de caña de azúcar como fuente de carbono, se obtiene un residual que se conoce con el nombre de vinaza o mosto de destilería (León, 2018).

Puesto que su origen es la planta de caña, la vinaza está compuesta por materiales orgánicos y nutrientes minerales que hacen parte de compuestos y constituyentes vegetales como aminoácidos, proteínas, lípidos, ácidos diversos, enzimas, bases, ácidos nucleicos, clorofila, lignina, quinonas, ceras, azúcares y hormonas (León, 2018).

2.1.2 Materia prima

La molienda de la caña produce jugo con 13 por ciento de azúcares, que se filtra y se concentra por evaporación para obtener “meladura”, con un contenido de 65 por ciento de azúcares (sacarosa, fructosa, glucosa y otras). La meladura se somete a un proceso de evaporación/cristalización de la sacarosa (azúcar de mesa) que se separa por centrifugación consecutiva de las mieles A y B. La miel final o miel C, más conocida como melaza, tiene un contenido promedio de 50 por ciento de azúcares fermentables (típicamente 33 por ciento de sacarosa, 9 por ciento de glucosa y 8 por ciento de fructosa). La producción de melaza es de 0.03 t/ t de caña molida, es decir, 0.24 t de melaza/t de azúcar producida (CENGICAÑA, 2014).

La melaza constituye actualmente la materia prima para la producción de alcohol etílico o etanol, sin embargo, éste podría producirse usando como materia prima cualquier fracción del proceso de fabricación de azúcar: jugo, jugo concentrado, miel A o miel B (CENGICAÑA, 2014).

2.1.3 Composición y propiedades de la vinaza

La composición de la vinaza depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol, en este caso melaza, del sustrato empleado en la

fermentación, del tipo y eficiencia de la fermentación y destilación y de las variedades y maduración de la caña. La vinaza, resultante de la destilación de melaza fermentada, tiene una composición elemental interesante y contiene todos los componentes del vino que han sido arrastrados por el vapor de agua, así como cantidades de azúcar residual y componentes volátiles (García & Rojas, 2006).

La composición química de las vinazas es variable y depende de: el método de conducir la fermentación alcohólica, las especies de levaduras utilizadas, la relación fondaje-vinaza y de la materia prima utilizada en la destilación; la cual, puede proceder de 3 fuentes: melaza (concentrada), directamente del jugo de los molinos, y mixta (mezcla de jugo y melaza) (CONADESUCA, 2016).

2.1.4 Características principales de la vinaza

La vinaza puede ser definida como una “suspensión marrón, de naturaleza ácida, subproducto de la fermentación del alcohol o del aguardiente, generada a temperatura aproximada de 107°C y de olor desagradable. También conocida como restilo o grapa, una tonelada de caña produce aproximadamente, 800 litros de vinaza (Montenegro, 2008).

La vinaza cuando es colectada en los alambiques de descarga, presenta un color pardo claro y en la medida que está expuesta al aire se oxida, oscureciéndose. Presenta pH bajo (3,5-4,5) y la presencia de ácido sulfúrico libre (utilizado para la fermentación) da propiedades corrosivas al subproducto (Montenegro, 2008).

2.1.5 Usos de la vinaza

a. Fertilización

Es el uso más ampliamente conocido, ya que aporta materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sulfatos.

Tabla 1. Resultado de análisis de vinaza de melaza de los tratamientos aplicados en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

Análisis	Resultado	Dimensionales
Temperatura	22.5	°C
pH	7.33	Unidades de pH
Densidad	1.0527	gr/ml
DQO	45600.0	mg O ₂ /l
DBO	-	O ₂ /l
Nitrógeno	1380.0	mg N/L
Fósforo	680.0	mg P/L
Sulfatos	3480.0	mg SO ₄ /L
Sulfitos	1600.0	mg SO ₃ /L
Cloruros	4000.0	mg Cl/L
Oxígeno disuelto	0.09	mg O ₂ /L
Solidos totales	50100.00	mg
Solidos suspendidos	19700.00	mg
Solidos sedimentables	160.0	ml/L/Hr
Potasio	4400.0	mg K/L
Calcio	720.0	mg Ca/L
Magnesio	1060.0	mg Mg/L
Nitrato	220.0	mg NO ₃ /L
Nitrito	150.0	mg NO ₂ /L

Fuente: Laboratorio de ambiente, Destiladora de Alcoholes y Ronés S.A. (2023).

Referencias: DQO= Demanda química de oxígeno, DBO= Demanda bioquímica de oxígeno

Se observa que un litro de la vinaza de melaza utilizada contiene 4400 mg de potasio. La vinaza utilizada fue una mezcla de vinaza cruda con la procesada de los biodigestores.

Vinaza cruda: Es la proveniente del proceso de destilación del alcohol de la melaza fermentada y se almacena en pileta.

Vinaza procesada: Parte de la vinaza cruda es enviada a los tanques de enfriamiento y sedimentación, luego pasa a los biodigestores, en tanques herméticos, donde se

produce el biogás por descomposición anaeróbica de la vinaza. La vinaza resultante es la procesada y se almacena en pileta. En pileta se mezcla la vinaza cruda con la procesada para el riego comercial, en la figura tres, página 22, se puede apreciar el esquema del sistema de almacenamiento y distribución de la vinaza.

2.1.6 Producción de biogás y biosólidos

León (2018), dice que, al descomponerse la materia orgánica en un reactor anaerobio, se genera biogás con contenidos utilizables de metano, gas carbónico y ácido sulfhídrico. También se producen biosólidos ricos en carbono, nitrógeno y azufre asimilable por las plantas.

2.1.6.1 Composición y características del biogás

Se llama biogás a la mezcla constituida por metano CH_4 en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno, y sulfuro de hidrógeno (Molina, 2012).

2.1.6.2 Principios de la fermentación anaeróbica

Las bacterias metanogénicas en efecto constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo (Molina, 2012).

2.1.6.3 Fases que intervienen en la biodigestión anaeróbica

Las diferentes etapas intervinientes y sus principales características:

Fase de Hidrólisis: Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono. Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos por distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos (Molina, 2012).

Fase de acidificación: Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético ($\text{CH}_3\text{-COOH}$) y liberando como productos hidrógeno y dióxido de carbono (Molina, 2012).

Fase metanogénicas: Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cual se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre (Molina, 2012).

2.1.7 Propiedades químicas del suelo

2.1.7.1 pH del suelo

El pH (potencial de hidrógeno) determina el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino (FAO, 2024).

El potencial de hidrógeno del suelo expresa el grado de acidez del suelo, es decir la concentración (en forma logarítmica) de hidrogeniones H^+ que existen en el suelo. En la escala de pH el valor máximo es de 14, siendo el valor de $\text{pH}=7$ el correspondiente a un suelo neutro. Son ácidos todos aquellos que tienen valores inferiores a 7, y básicos todos los superiores a éste (Soriano, 2018).

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 (Duarte & González, 2019).

Las plantas cultivadas presentan en general mejor desarrollo a valores cercanos a la neutralidad, ya que en estas condiciones los elementos nutritivos están más fácilmente disponibles y en un equilibrio más adecuado. Si el suelo es demasiado ácido, en el complejo de cambio abundan los hidrogeniones y el aluminio, impidiendo que otros elementos necesarios tales como calcio, magnesio, sodio y potasio permanezcan en él, pues éstos son eliminados por el agua de lluvia o de riego (Soriano, 2018).

Tabla 2. Denominación de la acidez del suelo de acuerdo a los valores de pH.

Reacción del suelo	pH
Muy alcalino	Mayor de 8.0
Alcalino	7.4 a 8.0
Neutro o casi neutro	6.6 a 7.3
Ligeramente ácido	6.0 a 6.5
Moderadamente ácido	5.5 a 5.9
Fuertemente ácido	5.0 a 5.4
Muy fuertemente ácido	4.3 a 4.9
Extremadamente ácido	Menor de 4.3

Fuente: Blanco, (1994).

Tabla 3. Reacción del suelo (pH) y su relación con los nutrientes esenciales para la planta.

pH	Reacción del suelo	Efecto
Menos de 5.0	Extremadamente ácido	Toxicidad del aluminio y magnesio, deficiencias de P, Ca, Mg y Mo. Es necesario encalar.
5.0 a 5.5	Fuertemente ácido	Posible toxicidad del aluminio posibles deficiencias de P, Ca y Mg. La mayoría de los cultivos requieren aplicaciones de cal.
5.5 a 5.9	Moderadamente ácido	Baja solubilidad del P y regular disponibilidad del Ca y Mg. Algunos cultivos como las leguminosas requieren encalamiento.
6.0 a 6.5	Ligeramente ácido	Rango óptimo para el crecimiento y producción de la mayoría de los cultivos.
6.6 a 7.3	Neutro o casi neutro	Buena disponibilidad de Ca y Mg, moderada solubilidad del P, baja disponibilidad de micronutrientes excepto el Mo.
7.4 y 8.0	Alcalino	Posible exceso carbonatos. Baja solubilidad del P y micronutrientes con la excepción del Mo. Se inhibe el crecimiento de algunos cultivos. Es necesario tratar el suelo con enmiendas.
Mayor de 8.0	Muy alcalino	Posible exceso de Na intercambiable. Muy baja disponibilidad de P y posible deficiencia de micronutrientes, excepto del Mo. Se inhibe el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Es necesario aplicar enmiendas al suelo.

Fuente: Blanco, (1994).

2.1.7.2 Efecto del pH sobre la estructura del suelo

Soriano (2018), dice que, el pH influye sobre la estructura del suelo de forma que los suelos excesivamente ácidos presentan una estructura deficiente, caracterizada por la baja porosidad y sus consecuencias: mala aireación, dificultad a ser trabajados, escaso desarrollo radicular, baja permeabilidad, fenómenos de erosión.

Indica también que, el incremento de pH se debe a la falta de cationes básicos como el calcio, mala calidad de materia orgánica y débil actividad microbiana.

2.1.7.3 Conductividad eléctrica

Su medida se basa en que la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina es proporcional a la concentración de sales en solución. En un principio se propuso definir como suelo salino aquel que presentase más de un 0,1% de sales solubles. Esta afirmación no acaba de ser del todo correcta ya que no considera la textura del suelo (Soriano, 2018).

Una solución conduce la electricidad en mayor grado cuanto mayor sea su concentración de sales (CE). Así cuanto mayor es la CE de una solución salina, mayor concentración de sales (Soriano, 2018).

Tabla 4. Clasificación de la salinidad de los suelos

CE 1:5 dSm⁻¹	CE_{Ps}dSm⁻¹	Calificativo
< 0.35	< 2	No salino
0.35 – 0.65	2 – 4	Ligeramente salino
0.65 – 1.15	4 – 8	Salino
>1.15	> 8	Muy salino

Fuente: Soriano, (2018).

Referencias: **dSm⁻¹** = decisiemens por metro. **CE 1:5 dSm⁻¹** =La conductividad eléctrica medida en un extracto 1: 5 relación suelo / agua. **CE_{Ps}dSm⁻¹** = conductividad eléctrica medida en decisiemens por metro.

2.1.8 Bases del suelo

Las bases de cambio o cationes de cambio son el Ca^{2+} , el Mg^{2+} , el K^+ y el Na^+ . El complejo de cambio también retiene otros cationes como el NH_4^+ y los oligoelementos, pero en tan poca cantidad que es muy difícil determinarlos por medios analíticos y por tanto no se consideran (Soriano, 2018).

2.1.8.1 Saturación de Bases

La saturación de bases se define como el porcentaje total de la C.I.C. que es ocupada los cationes básicos; el Ca^{++} , M^{++} , K^+ y Na^+ (Blanco, 1994).

Blanco (1994), afirma que, la saturación de bases de un suelo está estrechamente relacionada con el pH y el nivel de fertilidad del suelo, el pH y la fertilidad aumentan como el grado de saturación de bases se incrementa.

Tabla 5. Niveles críticos de las bases intercambiables en el suelo

Elementos	Dimensional	Interpretación		
		Bajo	Medio	Alto
Calcio	Meq/100 gr suelo	Menos de 3	3-6	Más de 6
	% saturación	Menos de 30	30-50	Más de 50
Magnesio	Meq/100 gr suelo	Menos de 1.5	1.5-2.5	Más de 2.5
	% saturación	Menos de 15	15-25	Más de 25
Potasio	Meq/100 gr suelo	Menos de 0.20	0.20-0.40	Más de 0.40
	% saturación	Menos de 2	2-3	Más de 3
Sodio	Meq/100 gr suelo	Menos de 1		
	% saturación	15	-	-

Relación normal Ca:Mg:K, 3: 1: 0.25

Fuente: Blanco, (1994).

El porcentaje de saturación de una base o catión metálico en el suelo se determina con relación a la C.I.C. total mediante la ecuación siguiente

Porcentaje de saturación de bases= $\frac{\text{Contenido de la base en el suelo (meq/100gr)} \times 100}{\text{C.I.C.}}$

2.1.8.2 Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH₄ etc.) (FAO, 2024).

Blanco (1994), indica que, la C.I.C está directamente asociada con la textura, tipo de arcilla y contenido de materia orgánica del suelo.

Blanco (1994), indica que, la C.I.C de un suelo sea alta asociada con alta saturación de bases ya que esta situación indica una gran capacidad potencial para suministrar Ca, Mg y K a las plantas.” En términos generales, un estimativo conceptual de la C.I.C. en los suelos es la siguiente: menor de 10 meq/100 gr de suelo, CIC baja; Entre 10 y 20 meq/100 gr de suelo, CIC media, y mayor de 20 meq/100 gr de suelo, CIC alta.

2.1.9 Cultivo de *S. officinarum* “Caña de azúcar”

Morfológicamente se caracteriza por presentar macollos, que son brotes secundarios que se forman a partir de las yemas axilares, ubicadas en los nudos del eje principal. Se propaga en forma asexual por medio de trozos o esquejes que contienen las yemas, donde cada una puede desarrollarse en un tallo primario, que a su vez forma tallos secundarios y terciarios (Duarte & González, 2019).

Los tallos son cilíndricos, erectos, fibrosos y compuestos de nudos y entrenudos, la altura varía desde 1,0 hasta 5,0 m, y el diámetro varía de 1,0 cm a 5,0 cm. La hoja de la caña de azúcar, después de desarrollada, consiste en una lámina y vaina que rodea al tallo, distribuyéndose en forma alternada y opuesta (Duarte & González, 2019).

2.1.9.1 Clasificación botánica *S. officinarum* “caña de azúcar”

Tabla 6. Clasificación botánica sistemática *S. officinarum* “caña de azúcar”

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Subclase	<i>Commelinidae</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Subfamilia	<i>Panicoidae</i>
Tribu	<i>Andropogoneae</i>
Genero	<i>Saccharum</i>
Especie	<i>Saccharum officinarum</i> L.

Fuente: Cronquist, (1981).

2.1.9.2 Sistema radicular de la caña de azúcar

El 65% de las raíces se encuentran en los primeros 20 cm de profundidad del suelo y el 80% de ellas se concentran en un radio de 60 cm de la cepa y 60 cm de profundidad (Duarte & González, 2019).

2.1.9.3 Requerimiento de nutrientes 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), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), Molibdeno (Mo) y Cloro (Cl). Adicionalmente debe incluirse el Silicio (Si), aunque no se le considera esencial es importante y es un elemento benéfico en la nutrición del cultivo de caña de azúcar. El C, H y O provienen del agua y del aire, y son los elementos que constituyen la mayor parte del peso de las plantas. Los otros 13 elementos son minerales y provienen del suelo o son adicionados como fertilizantes (CENGICAÑA, 2014).

2.1.9.4 Nitrógeno

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 (NH_4^+) y en forma de ion nitrato (NO_3^-) (CENGICAÑA, 2014).

2.1.9.5 Recomendaciones de dosis de (N)

Las recomendaciones de Nitrógeno para caña plantía varían de 60 a 80 kg de N/ha, de acuerdo con el nivel de MO del suelo, en tanto que para caña soca las recomendaciones están en función de los rendimientos de caña esperados (TCH), utilizando la relación nitrógeno por tonelada de caña (Rel N: TCH) que es variable para cada categoría de MO establecida (CENGICAÑA, 2014).

En suelos con contenidos bajos de MO (< 3.0 %) la dosis de nitrógeno por hectárea se determina multiplicando el rendimiento esperado de caña (TCH) por el factor 1.14. En suelos con contenidos medios (3.0 – 5.0 % de MO) se obtiene multiplicando por el factor 1.0 y para suelos con altos niveles de MO (> 5.0 %) se obtiene multiplicando por el factor 0.9. En suelos arenosos agregar de 10 a 20 Kg de N/ha más a la recomendación (CENGICAÑA, 2014).

2.1.9.6 Fósforo (P)

El fósforo es un nutriente esencial para las plantas y juega un papel vital en la fotosíntesis y en muchos otros procesos bioquímicos. Sus principales funciones son transporte y almacenamiento de energía, y el mantenimiento de la integridad de la membrana celular. El fósforo promueve el macollamiento y desarrollo de la raíz, de tal manera que es indispensable en las primeras fases del crecimiento del cultivo (CENGICAÑA, 2014).

2.1.9.7 Recomendaciones de dosis (P)

En siembras nuevas o renovaciones en Andisoles con fósforo bajo (< 10 ppm), aplicar 80 kg de P_2O_5 /ha y en otros suelos aplicar 60 kg de P_2O_5 /ha. En suelos con nivel medio

de fósforo, reducir la dosis a 60 y 40 kg de P_2O_5 para Andisoles y no Andisoles, respectivamente (CENGICAÑA, 2014).

En suelos con altos niveles de fósforo (>30 ppm) no aplicar. En caña soca se recomienda aplicar Fósforo solo cuando los niveles de fósforo son menores a 10 ppm, debido a la menor respuesta observada en caña soca a las aplicaciones de este elemento. La dosis recomendada en soca para suelos con bajo fósforo es de 40 kg de P_2O_5 /ha para Andisoles y de 25 kg de P_2O_5 / para otros suelos con menos retención de fósforo (CENGICAÑA, 2014).

2.1.9.8 Potasio (K)

Lazcano (1999), explica que, el Potasio (K) es requerido por la caña de azúcar en grandes cantidades. Es más, el potasio es el nutriente más utilizado por la planta de la caña de azúcar. Una cosecha de 100 toneladas remueve (consume) del suelo un promedio de 220 kg de K_2O .

La deficiencia prolongada de potasio puede afectar el desarrollo del meristemo apical lo que distorsiona las hojas apicales y da a la planta una apariencia de abanico. Sin embargo, el exceso de potasio en las plantas incrementa el contenido de ceniza en el jugo de caña lo que causa problemas en la cristalización del azúcar en el proceso de fabricación (CENGICAÑA, 2014).

2.1.9.9 Potasio en la solución del suelo

El potasio de la solución de suelo está inmediatamente disponible y puede ser absorbido por las plantas en forma inmediata, pero las cantidades presentes son muy pequeñas, apenas una mínima porción del potasio total del suelo se encuentra en esta forma (Conti, 2011).

Las plantas en crecimiento rápidamente extraen el potasio de la solución del suelo, pero a medida que el potasio es absorbido y extraído, su concentración es renovada y restituida inmediatamente por la cesión de formas menos fácilmente accesibles ubicadas en las zonas de adsorción de los coloides minerales y orgánicos del suelo (Conti, 2011).

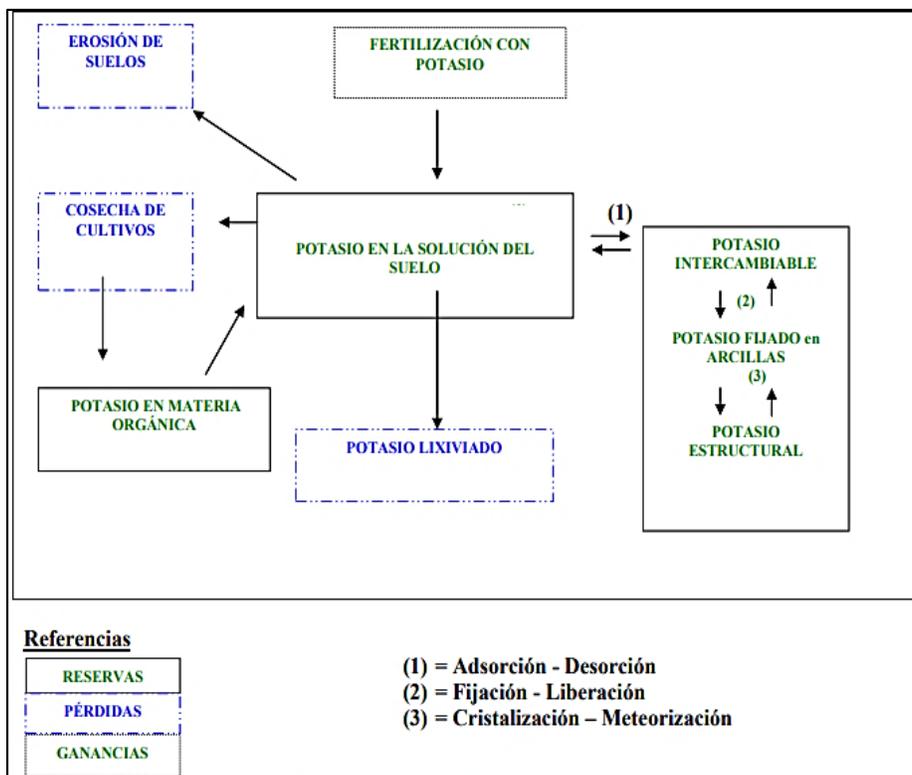


Figura 1. Ciclo del potasio en el suelo.

Fuente: Conti (2011).

2.1.9.10 El Potasio intercambiable

Es la forma iónica del Potasio (K^+) unido electrostáticamente a los materiales que componen la fase sólida coloidal mineral y orgánica. A medida que la concentración del potasio de la solución desciende, el potasio adsorbido es liberado a la solución del suelo. A la inversa, si la concentración de potasio de la solución del suelo aumenta por la aplicación de fertilizantes potásicos, parte de éste dejará la solución y se unirá electrostáticamente al material coloidal de la fase sólida (Conti, 2011).

Conti (2011), explica que, el potasio de la solución más el intercambiable, es comúnmente denominado potasio "disponible" y medido en los análisis convencionales para evaluar la fertilidad del suelo.

2.1.9.11 La velocidad de reposición del potasio

La velocidad a la cual el potasio se vuelve disponible para las raíces es afectada por la cantidad de intercambiable, no intercambiable y por la velocidad de movimiento del

Potasio a través del suelo. A medida que la raíz absorbe potasio, el intercambiable próximo a las raíces disminuirá o se agotará, al disminuir la concentración de potasio intercambiable, este se moverá desde zonas más enriquecidas y distantes de la raíz hasta restablecer nuevamente el equilibrio (Conti, 2011).

2.1.9.12 Potasio en la translocación de azúcares

Lazcano (1999), explica que, la deficiencia de nutrientes limita la translocación (movimiento) de azúcares desde las hojas (punto de fabricación) a los lugares de almacenamiento. El movimiento de los azúcares recién formados en las hojas se realiza a una velocidad aproximada de 2.5 centímetros por minuto en plantas de caña bien fertilizadas.

La deficiencia de fósforo no ha mostrado tener un efecto significativo en la velocidad de translocación de azúcares, la deficiencia de nitrógeno tiene un efecto intermedio, mientras que la falta de potasio puede reducir la eficiencia del transporte de azúcares a menos de la mitad de lo que se logra con adecuada nutrición. Sin una cantidad adecuada de potasio una buena parte del azúcar se queda en las hojas en lugar del tallo de donde es cosechado (Lazcano, 1999).

2.1.9.13 Recomendaciones de dosis de Potasio (K⁺)

Lazcano (1999), indica que, para obtener altos rendimientos y buena calidad de jugos, la planta de la caña de azúcar requiere de igual o mayor cantidad de potasio que de nitrógeno y fósforo. En la mayoría de países productores de caña la relación recomendada de N: P: K es de 2:1:3, 2:1:2 ó 2:1:1.

Se recomienda aplicar 60 kg de K₂O/ha cuando los niveles de K⁺ intercambiable del suelo son menores de 100 ppm y 80 kg de K₂O/ha cuando el contenido de arcilla del suelo es mayor de 35 por ciento (CENGICAÑA, 2014).

Los niveles medios de potasio varían según se trate de suelos con arcillas menores o iguales a 35 por ciento o suelos con arcillas mayores de 35 por ciento. Para ambos casos se recomienda la aplicación de 40 kg de K₂O/ha. No se recomienda aplicar potasio en suelos con contenidos de potasio mayores a 150 ppm en el caso de suelos con menos

de 35 por ciento de arcilla y en suelos mayores de 300 ppm en el caso de suelos con arcilla mayor del 35 por ciento (CENGICAÑA, 2014).

Tabla 7. Recomendaciones de dosis de potasio en la zona cañera de Guatemala

Suelos con arcilla =<35%		Suelo con arcilla>35%	
K del suelo (ppm)	Dosis K (kg).	K del suelo	Dosis K (kg)
<100	60	< 100	80
100-150	40	100-300	40
>150	0	>300	0

Fuente: CENGICAÑA, (2014).

2.1.9.14 Calcio (Ca)

El calcio es un elemento esencial y forma parte de los pectatos de calcio que es importante constituyente de la pared celular. El calcio participa en el equilibrio electrostático de la célula y actúa como un activador de numerosas enzimas como amilasas, fosfolipasas, quinasas y ATP-ases y juega un importante papel en el metabolismo del nitrógeno. El calcio es un nutriente relativamente inmóvil dentro de la planta. La deficiencia de Ca produce tallos delgados y pobre crecimiento radicular (CENGICAÑA, 2014).

2.1.9.15 Calcio en el suelo

Los suelos que tienen niveles de calcio menores de 4.0 meq/100 g se consideran bajos. Sin embargo, hay que tener en cuenta la saturación de calcio en el suelo y la relación entre las bases (CENGICAÑA, 2014).

Las fuentes de calcio más comunes son el yeso (18-22%) y diferentes tipos de cales como la cal dolomítica o carbonato de calcio importante en suelos ácidos. Entre los fertilizantes con calcio están el superfosfato simple (20%) y superfosfato triple (15 – 15.8%) (CENGICAÑA, 2014).

2.1.9.16 Magnesio

El magnesio es un constituyente de la clorofila y, por lo tanto, está involucrado en la asimilación de CO₂ y en la síntesis de proteínas. Es importante en el movimiento de potasio en las plantas y participa en los procesos de respiración. El Mg es absorbido por las raíces de las plantas, en forma de Mg²⁺, y es un nutriente móvil en las plantas (CENGICAÑA, 2014).

2.1.9.17 Magnesio en el suelo

Bajos niveles de Mg en el suelo (< 1.0 meq/100g) se presentan principalmente en el estrato alto (arriba de 300 msnm) de la región, donde la precipitación pluvial es alta con dominancia de suelos arenosos (CENGICAÑA, 2014).

Niveles de Mg en el suelo menores a 1.0 meq/100 g se consideran deficientes en este elemento y se recomienda su aplicación en dosis de 30-40 kg de Mg/ha. En suelos con niveles de Mg mayores a 1.0 meq/100 g debe revisarse la saturación de Mg y la relación de las bases en el suelo (CENGICAÑA, 2014).

2.1.10 Riego por aspersión

Tarjuelo (2005), dice que, el riego por aspersión implica una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae.

Tanto los sistemas de aspersión como los de goteo utilizan dispositivos de emisión o descarga en los que la presión disponible en las tuberías porta emisores (ramales, alas o laterales de riego) induce un caudal de salida. (Tarjuelo, 2005).

Las unidades básicas que componen el sistema son: el grupo de bombeo, las tuberías principales con sus hidrantes, los ramales o laterales de riego y los propios emisores. Estos últimos pueden ser: tuberías perforadas, difusores fijos o toberas y aspersores. De todos ellos, los más utilizados son los aspersores, que pueden llevar una o dos boquillas cuyos chorros forman ángulos de 25° a 28° con la horizontal para tener un buen alcance y que no sean demasiado distorsionados por el viento (Tarjuelo, 2005).

Tarjuelo (2005), dice que, el proceso de aplicación de agua de un aspersor consiste en un chorro de agua a gran velocidad que se difunde en el aire en un conjunto de gotas, distribuyéndose sobre la superficie del terreno, con la pretensión de conseguir un reparto uniforme entre varios aspersores.

Como efectos derivados de esta aplicación están:

- La relación entre la velocidad de aplicación (pluviometría del sistema) y la capacidad de infiltración de agua del suelo, produciéndose escorrentía si la primera supera a la segunda.
- El posible deterioro de la superficie del terreno por el impacto de las gotas si estas son muy grandes, y su repercusión en la infiltración, formación de costra, erosión etc.
- La uniformidad de distribución en superficie y su gran dependencia de la acción del viento, en intensidad y dirección.
- La redistribución dentro del suelo por diferencias de potencial hidráulico a distancias entre 1 y 3 m, que mejora sensiblemente la uniformidad real del agua en el suelo.

Según Tarjuelo (2005) la aplicación uniforme del agua depende principalmente de: el “modelo” de reparto de agua del aspersor, así como de la disposición y espaciamiento de los aspersores en el campo (marco de riego).

A estos factores hay que añadir otro que es el viento, (principal distorsionador de la uniformidad de reparto), que juega un papel fundamental en las “pérdidas por evaporación y arrastre” producidas durante el proceso de aplicación y donde el tamaño de gota y la longitud de su trayectoria de caída son factores fundamentales. Por otra parte, el modelo de reparto de agua del aspersor viene definido por: el propio diseño del aspersor, el tipo y número de boquillas y la presión de trabajo (Tarjuelo, 2005).

A estos factores pueden añadirse otros de menor trascendencia como la altura del aspersor sobre el terreno, la presencia o no de vaina prolongadora de chorro (VP), que mejora la uniformidad de reparto de agua para velocidades de viento mayores de unos

2 m/s, o la duración del riego, cuyo incremento favorece a la Uniformidad de Distribución (UD) por compensarse en parte las distorsiones producidas por el viento ya que este varía normalmente con el tiempo (Tarjuelo, 2005).

En riegos de media o alta frecuencia, la falta de uniformidad en un riego como consecuencia de la acción del viento puede verse compensada en los riegos sucesivos al ir cambiando normalmente las condiciones del viento. Esta mejora de uniformidad acumulada de varios riegos será más aprovechable por el cultivo cuanto mayor sea la frecuencia de riego ya que de este modo serán menores los déficits hídricos transitorios existentes entre riegos (Tarjuelo, 2005).

2.1.10.1 Distribución del agua sobre el suelo

Tarjuelo (2005), indica que, las rociadas emitidas por cada aspersor deben distribuirse de forma que el impacto de las gotas y la intensidad de lluvia no perjudiquen las condiciones físicas del cultivo o del suelo, logrando la máxima uniformidad posible.

El autor indica que, la fricción con el aire de la vena líquida (chorro) constituye la principal causa de que el agua llegue pulverizada al suelo, aunque también influye el choque con el brazo oscilante y la acción del “rompe chorro”, que puede colocarse opcionalmente.

El tipo de chorro emitido depende principalmente del diseño geométrico del aspersor y las boquillas, de su presión de trabajo y de las condiciones de viento. Al aumentar la presión disminuye el tamaño de gota, y un exceso de presión (normalmente por encima de 4 bar ó 4 kg/cm²) produce una excesiva pulverización del chorro y una bajada brusca de uniformidad de riego cuando hay viento (Tarjuelo, 2005).

2.1.10.2 Clasificaciones de los sistemas de aspersión

Tarjuelo (2005), afirma que, resulta conveniente clasificar los sistemas de aspersión en función de la movilidad de los diferentes elementos del sistema ya que facilita la comprensión de su funcionamiento y puede dar idea de los gastos de inversión necesarios.

También menciona que, los sistemas de riego por aspersión pueden agruparse en dos grandes familias: los estacionarios, que permanecen fijos mientras riegan, y los de desplazamiento continuo mientras realizan la aplicación del agua.

Tarjuelo (2005), dentro de la primera familia están los sistemas móviles, donde todos los elementos de la instalación son móviles, incluso puede serlo la bomba.

Los sistemas semifijos suelen tener fija la red de tuberías principales, que normalmente va enterrada, y las tomas o hidrantes, donde se conectan los ramales de riego, que son móviles. Estos ramales de riego pueden llevar directamente acoplados los aspersores o bien ir dotados de mangueras, que desplazan los aspersores sobre “patines” a una determinada distancia del lateral (30 a 45 m) (Tarjuelo 2005).

Los sistemas fijos permanentes mantienen todos sus elementos fijos durante la vida útil, lo que implica que todas las tuberías tengan que estar enterradas, mientras que los sistemas fijos temporales hay que montarlos al principio de la campaña de riego y retirarlos al final de la misma, lo que implica que los ramales y sus tuberías de alimentación tengan que estar en superficie, pudiendo ser de aluminio o de PVC (Tarjuelo 2005).

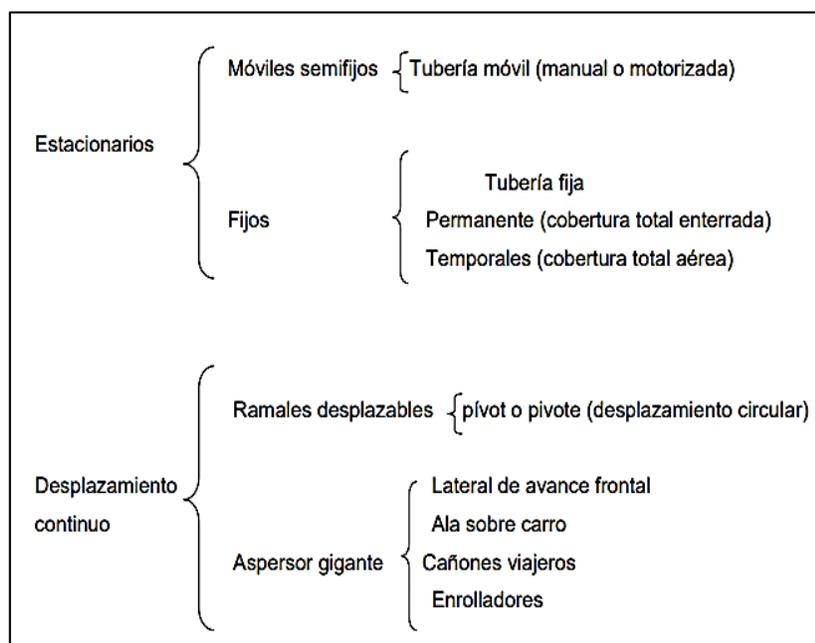


Figura 2. Sistema de riego de aspersión estacionarios y desplazamiento continuo

Fuente: Tarjuelo, (2005).

2.2 Marco referencial

2.2.1 Lugar de captación de la vinaza del Ingenio Tululá

La pileta tiene una capacidad de 7500 m³, tiene una geomembrana en su interior que cubre las paredes, se abastece del flujo de la caída de la tubería de rebalse es vinaza cruda (pura), flujo de caída de aguas residuales y flujo de caída proveniente de los biodigestores como vinaza procesada. En el interior tiene un tubo de 12 pulgadas, el cual sustrae el líquido por gravedad se traslada a la caja de captación y luego a la caja de distribución principal donde se divide en dos líneas 1 y 2, que son para el riego comercial, en la línea 2 se divide en otra línea que sería la 3. La vinaza captada en el almacenamiento no se diluye en agua y se presenta el esquema del sistema:

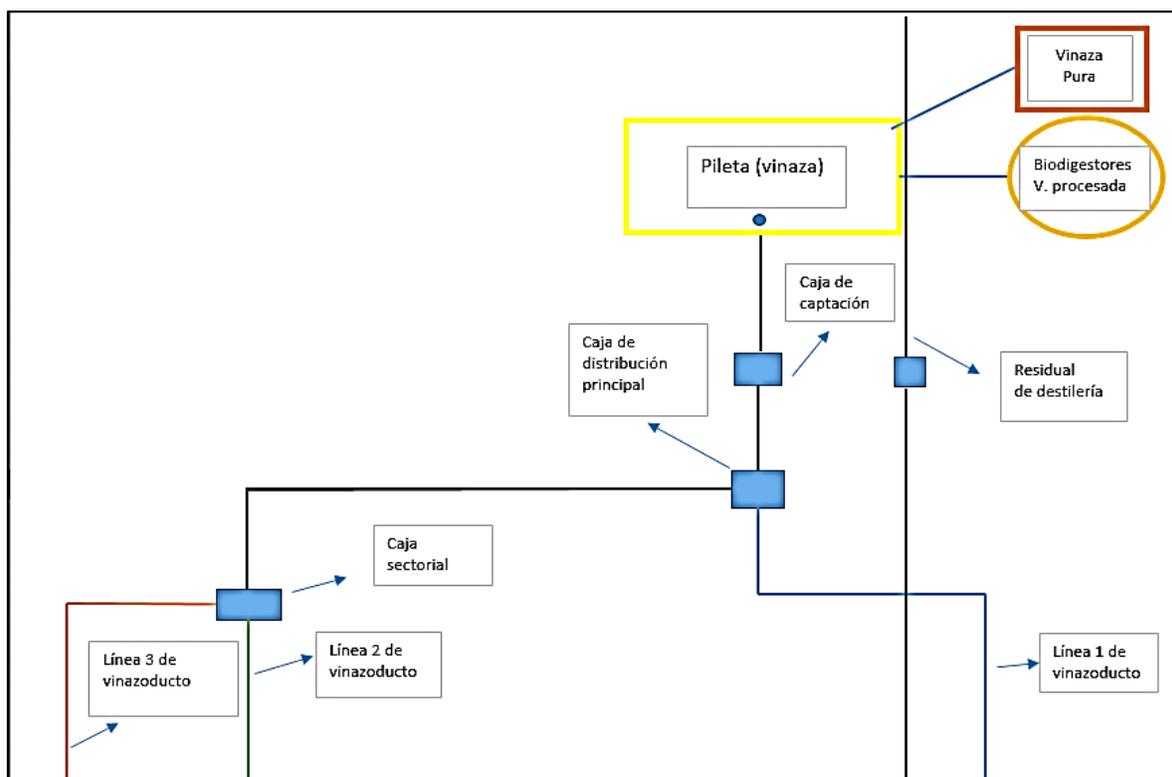


Figura 3. Lugar de captación de la vinaza (pileta) y esquema del sistema de distribución.

Según Cal (2023), producen dos tipos de vinazas en el Ingenio Tululá las cuales son; vinaza pura sin procesar y vinaza procesada. La vinaza pura proviene de la fermentación y destilación de las melazas de rebalses de un color rojizo, la vinaza procesada proviene

del proceso en biodigestores para obtener biogás que modifica el color a café claro y con un olor desagradable. Estos dos tipos de vinaza se mezclan automáticamente al caer en pileta, y por medio del tubo de captación de doce pulgadas que está en el centro de la pileta es enviado a campo a través de la tubería subterránea que atraviesa todas las fincas internas del Ingenio, este sistema de distribución es por gravedad.

2.2.2 Riego comercial de vinaza

En el Ingenio Tululá S.A., se aplica un riego único de vinaza en las fincas que están en producción de caña de azúcar, en el presente año están aplicando una lámina de vinaza de 5.4 mm aproximadamente 54 m³/ha a una presión de 51 PSI, este riego se aplica después de haber obtenido la cosecha de caña de azúcar, seguidamente realizan mecanización sub-solado al suelo para que infiltre la vinaza. Este riego solo se aplica en época seca, no se puede aplicar en época lluviosa porque la vinaza no puede tener contacto con los canales de agua, riachuelos y ríos, por los componentes orgánicos que contiene, contamina la fuente hídrica. La forma de aplicación es por el sistema de aspersión, los aspersores utilizados en campo son de impacto, tipo cañón (Cal, 2023).

2.2.3 Tipo de aspersor utilizado en campo

El tipo de aspersor utilizado es de impacto marca Trigón 105 WW, diámetro de boquilla de 16.5 mm, gama de caudal 54.2 m³, alcance 20 metros de radio.

2.2.4 Sistema de distribución de la vinaza (vinazoducto)

Este sistema tiene una red que va conectada de la pileta a una caja central de captación esta se distribuye a dos tuberías centrales y se puede observar el esquema del sistema en la figura tres, página 22, de la tubería dos se conectan tres líneas llamadas vinazoducto tiene una longitud de aproximadamente 40 kilómetros, que están distribuidas en las fincas internas del ingenio, en cada sección de una finca se encuentra un hidrante, de allí parte la distribución de la vinaza, en tubería principal (ramal principal) y laterales (ramales secundarios) hacia los emisores (aspersores de impacto). Este sistema de riego es semifijo (Cal, 2023).

2.2.5 Fertilización química posterior a la aplicación de vinaza en el cultivo *S. officinarum*.

El Ingenio Tululá realiza una única aplicación mecanizada de nitrógeno al cultivo, de tres a cinco días después de la aplicación de la lámina de vinaza, utilizando una formulación de urea perlada al 46%, de 135 kilogramos por hectárea. Esta formulación se realiza únicamente en las áreas donde se aplica la vinaza.

Tabla 8. Fincas donde se aplica el riego comercial de vinaza

Numeración	Fincas	Área en hectáreas
01	Tululá	1629.26
03	S. Ana	312.84
04	S. Teresa	316.95
05	S. Julia	378.44
06	S. Margarita	432.24
14	Felicidad	168.30
17	Minar	192.55
189	Normandía	185.89
Total		3616.47

Fuente: Maestro de lotes del Ingenio Tululá, (2023).

El riego se aplica por lotes de cada sección de cada finca.

2.2.6 Localización y ubicación del área experimental

La unidad experimental está ubicada en finca Santa Julia sección 3, se encuentra al sur de las instalaciones de la planta procesadora del Ingenio Tululá a una distancia 10 kilómetros, ubicado en el municipio de San Andrés Villa seca, Retalhuleu, en el km 4.5 carretera de Cuyotenango a San José La máquina.

2.2.7 Ubicación geográfica

Para la ubicación geográfica de la unidad experimental se utilizó GPS y se encuentra en las coordenadas 14°26'26" latitud Norte y 91°37'27.44" longitud Oeste con respecto al meridiano de Greenwich, datum WGS 84, a una altitud de 194 metros sobre el nivel del mar, está comprendido en el estrato medio de la zona cañera de Guatemala.

Colinda al norte con finca Tululá, al sur con finca Santa Margarita, al oeste con finca Bv. Capuano, al este con finca Santa Teresa.

2.2.8 Clima

El clima de esta área es cálido con una temperatura media de 27°C, registrándose una mínima promedio de 19°C y una máxima promedio de 35°C.

2.2.9 Suelos

Según CENGICAÑA (2014), las características de los suelos del Ingenio Tululá pertenecen a la clasificación de un suelo vertisol. Moderadamente profundos de textura arcillosa de lenta permeabilidad.

Tabla 9. Características físicas del suelo de los lotes 0050303, 0050305 de finca Santa Julia sección 3.

Lote	Porcentaje (%)			Clase textural
	Arcilla	Limo	Arena	
(0050303)	45.45	17.72	36.83	Arcilloso
(0050305)	47.43	11.61	40.95	Arcilloso

Fuente: Analab (2024).

Según los análisis de laboratorio de los lotes 0050303, 0050305 su clase textural es arcillo, el porcentaje de arena es superior al limo. La densidad aparente corresponde a 1.25 g/cm³.

Tabla 10. Resultados de análisis de los elementos químicos disponibles e intercambiables presentes en el suelo de finca Santa Julia Sección tres del año 2021.

Elementos	Kilogramos por hectárea vinaza	Kilogramos por hectárea según el análisis de suelo (Disponible)	Kilogramos por hectárea según el análisis de suelo (Cambiable)	Total, de elementos Disponible + intercambiable en Kilogramos
N	101.44	4298.21	-	4298.21
P	44.72	37.10	-	37.10
K	229.07	1660.98	1294.43	2955.41
Ca	32.72	3796.67	3498.24	7294.91
Mg	45.81	1096.33	1020.16	2116.49

Fuente: Ingenio Tuluá del departamento de control de calidad (2021)

Saturación de base del elemento Potasio

- Potasio

CIC=21.64

K inter=1.32

Saturación de potasio= $1.32/CIC \times 100 = 6.09$ por ciento

Según los resultados de los análisis de laboratorio en finca Santa Julia sección tres se tiene un 6.09 por ciento de saturación con respecto a la CIC, y en el Ingenio Tuluá para no tener problemas en la cristalización del azúcar no debe sobrepasar el 7 por ciento, por lo cual, la evaluación de las cuatro dosis de vinaza es para determinar si una de ellas no sobrepasa el siete por ciento de saturación de potasio en el suelo.

El rango de saturación de potasio oscila de 4-5 según los requerimientos del cultivo de caña de azúcar, con los resultados de los análisis de suelo del año 2021 se sobrepasa del rango 6.09 por ciento respecto a la CIC. Con base a los resultados del laboratorio parte la evaluación de las cuatro láminas de vinaza; T1 (3.3mm), T2 (5.4mm), T3 (8.1 mm) y T4 (10.80 mm). Cada lámina de vinaza tiene un tiempo de riego y la cantidad de kilogramos de potasio a aplicar y se detallan en la tabla 11 de la página 32.

2.2.10 Uso actual de finca Santa Julia sección tres

En esta finca se cultiva *S. officinarum*, “caña de azúcar”, en esta sección tres se estableció la variedad CP72-2086 ya que se renovaron todos los lotes en abril del año 2023.

2.2.11 Mapa de ubicación de finca Santa Julia

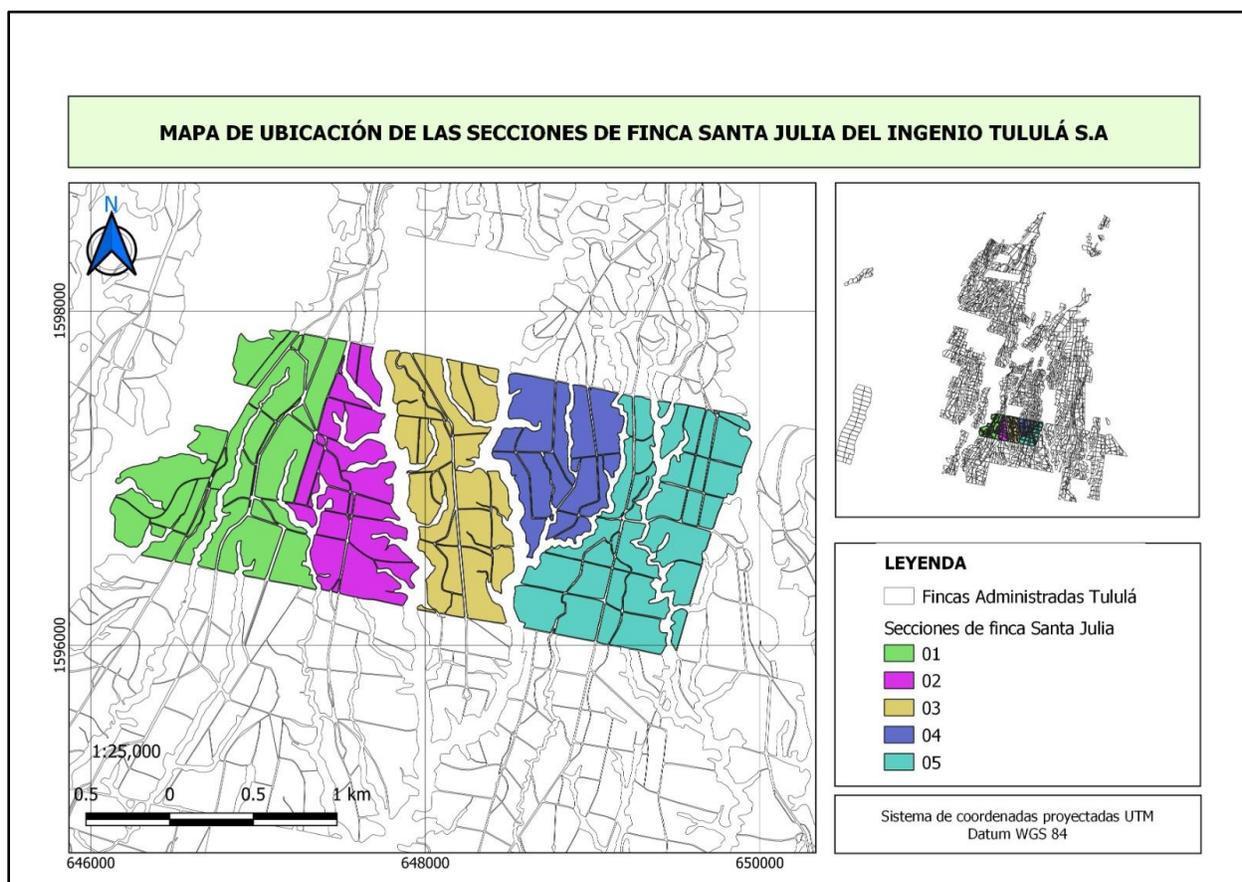


Figura 4. Mapa de ubicación de la unidad experimental en finca Santa Julia Sección tres.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de cuatro láminas de vinaza sobre la saturación de potasio en el suelo y su relación con la productividad de *S. officinarum*.

3.2 Objetivos específicos

- 3.2.1 Determinar el efecto de las láminas de vinaza sobre las propiedades fisicoquímicas en el suelo.
- 3.2.2 Determinar el efecto de la lámina de vinaza sobre el rendimiento de *S. officinarum* en toneladas por hectárea, toneladas de azúcar por hectárea y la producción de azúcar por tonelada de caña.
- 3.2.3 Evaluar el efecto de la lámina de vinaza sobre la calidad de jugo de caña *S. officinarum*.
- 3.2.4 Realizar análisis de costo de aplicación por hectárea de cada lámina de vinaza.

IV. HIPÓTESIS

Ho.: Todas las láminas de vinaza tendrán el mismo efecto sobre la saturación de potasio en el suelo.

Ho.: Todas las láminas de vinaza tendrán el mismo efecto en el cultivo de *S. officinarum* “Caña de Azúcar” sobre las variables: rendimiento de toneladas de caña de azúcar, rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea, producción de azúcar por tonelada de caña, y calidad del azúcar.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Materiales

5.1.1 Recursos físicos

- 10 aspersores (TRIGON 105 WW)
- 5 válvulas de 5 pulgadas
- 20 válvulas de 2 pulgadas
- 200 tubos de 5 pulgadas de nueve metros de largo.
- 5 válvulas de aire 5 pulgadas
- 5 tapones macho de 5 pulgadas
- 5 tapones hembra de 5 pulgadas
- 1 tractor con carretón
- 1 GPS marca Garmin, modelo MAP 72CSx
- 1 Depósito de agua de 500 litros de capacidad.
- 2 manómetro Pitot
- 1 barreno (extracción de muestras de suelo)

5.1.2 Recursos humanos

- Estudiante del Ejercicio profesional Supervisado –EPS-
- 10 Trabajadores operativos
- 1 Caporal
- Supervisor

5.1.3 Recursos financieros

- Los gastos fueron cargados al presupuesto del departamento de Ingeniería agrícola.

5.2 Métodos

5.2.1 Determinación del efecto de las láminas de vinaza sobre las propiedades fisicoquímicas en el suelo

Se procedió de la siguiente forma:

5.2.1.1 Diseño experimental

Esta evaluación se realizó a campo abierto, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA).

5.2.1.2 Modelo estadístico

El modelo estadístico del diseño en bloques completamente al azar es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \Sigma_{ij} \quad \{i=1,2,3 \dots, t \quad j = 1,2,3 \dots, r$$

Siendo:

Y_{ij} = variable de respuesta observada o medida en el i-ésimo tratamiento y el j-ésimo bloque

μ : media general de la variable respuesta

τ_i : efecto del i-ésimo tratamiento lámina de vinaza.

β_j : efecto del j-ésimo bloque

Σ_{ij} : error asociada a la ij-ésima unidad experimental

Supuestos

$\Sigma_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

No existe interacción entre bloque y tratamiento, lo que significa que un tratamiento no debe modificar su acción (o efecto) por estar en uno u otro bloque.

5.2.1.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa INFOSTAT, se realizó los andevas del efecto de los tratamientos sobre las variables respuesta, con ello se determinó la existencia de diferencias significativas entre tratamientos, para las comparaciones de medias se utilizó la prueba de múltiple de medias Tukey con una significancia del 5 por ciento.

5.2.1.4 Tratamientos evaluados

Para la evaluación se trabajaron cuatro tratamientos (láminas de vinaza), cada uno corresponde a mm de vinaza aplicados en un tiempo de riego estipulado, uno de los tratamientos corresponde como testigo relativo que sería el tratamiento 2 (5.4 mm).

Tabla 11. Descripción de los tratamientos de lámina de vinaza aplicados en el ensayo

Tratamiento	Lámina de vinaza mm	Volumen aplicado por hectárea	Tiempo de riego
(T1) Lámina	3.3 mm	(33 m ³)	20 minutos
(T2) Lámina Testigo relativo	5.4 mm	(54 m ³)	30 minutos
(T3) Lámina	8.10 mm	(81 m ³)	45 minutos
(T4) Lámina	10.80 mm	(108 m ³)	60 minutos

Los kilogramos de potasio aplicado de cada tratamiento se estimaron con base a los resultados al análisis de laboratorio de la vinaza que se utilizó para la evaluación, el resultado del análisis de laboratorio se presenta en la tabla 1, página 5. La muestra del líquido de vinaza se tomó al momento de empezar con la aplicación de los tratamientos y se envió a los laboratorios de ambiente, Destiladora de Alcoholes y Rones S.A.

La vinaza utilizada para cada uno de los tratamientos fue vinaza pura (virgen) mezclada con la procesada que es la proveniente de los biodigestores los cuales son

captados en la pileta de almacenamiento, al caer estos dos tipos de vinaza en la pileta automáticamente se mezclan homogéneamente sin dilución en agua.

Cada tratamiento se planteó respecto al tiempo de riego que se puede manejar en campo de los cambios de ramales (tuberías a trasladar) y con base al requerimiento nutricional, se le puede suministrar al suelo hasta 200 kilogramos de potasio por hectárea por lo cual el tratamiento uno y dos suplirían las necesidades nutricionales de *S. officinarum*, el tratamiento tres y cuatro son para determinar si se pueden trabajar en campo comparando los resultados de laboratorios respecto a la saturación de potasio, en la cual no se puede sobrepasar al siete por ciento de la CIC en el suelo, por los problemas en la calidad del azúcar.

5.2.1.5 Cálculo de las dosis de potasio aplicados de cada tratamiento

De los resultados de laboratorio de la vinaza utilizada para la evaluación de la tabla 1, página 5, se tiene de potasio 4,400 mg por litro de vinaza.

$$4,400 \text{ mg/litro} * (1 \text{ gramo}/1000\text{mg}) = 4.4 \text{ g K}^+/\text{L}$$

$$T1 = 33 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$33 \text{ m}^3/\text{Ha} * 1000\text{L}/\text{m}^3 = 33000 \text{ litros de vinaza}/\text{ha}$$

$$4.4 \text{ g K}^+/\text{L vinaza} * 33,000\text{L}/\text{ha} * 1\text{kg K}^+/1000\text{g K}^+ = 145.2 \text{ kg K}^+/\text{ha}$$

$$145.2 \text{ Kg K}^+ * 1.2 = 174.24 \text{ Kg K}_2\text{O}$$

$$T2 = 54 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$54 \text{ m}^3/\text{Ha} * 1000\text{L}/\text{m}^3 = 54,000 \text{ litros de vinaza}/\text{ha}$$

$$4.4 \text{ g K}^+/\text{L vinaza} * 54,000\text{L}/\text{ha} * 1 \text{ Kg K}^+/1000\text{g K}^+ = 237.6 \text{ kg K}^+/\text{ha}$$

$$237.6 \text{ kg K}^+ * 1.2 = 285.12 \text{ Kg K}_2\text{O}$$

$$T3= 81 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$81\text{m}^3/\text{Ha} * 1000\text{L}/\text{m}^3 = 81,000 \text{ litros de vinaza/ha}$$

$$4.4 \text{ g K}^+/\text{L vinaza} * 81,000\text{L}/\text{ha} * 1 \text{ kg K}^+/1000\text{g K}^+ = 356.4 \text{ kg K}^+/\text{ha}$$

$$356.4 \text{ kg K}^+ * 1.2= 427.68 \text{ Kg K}_2\text{O}$$

$$T4= 108 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$108\text{m}^3/\text{L} * 1000\text{L} /\text{m}^3 = 108,000 \text{ litros de vinaza/ha}$$

$$4.4 \text{ g K}^+/\text{L vinaza} * 108,000\text{L}/\text{ha} * 1 \text{ kg K}^+/1000\text{g K}^+ = 475.2 \text{ kg K}^+/\text{ha}$$

$$475.2 \text{ kg K}^+/\text{ha} * 1.2= 608.25 \text{ Kg K}_2\text{O}$$

5.2.1.6 Numero de repeticiones

Se determinó con los grados de libertad, estadísticamente como mínimo deben ser mayor o igual a 12. En este diseño experimental de bloques completamente al azar se evaluaron cuatro tratamientos con cinco repeticiones dando un total de 20 unidades experimentales.

Grados de libertad

$$GLc= (a-1) (r-1)$$

$$GLc= (4-1) (5-1)$$

$$GLc=12$$

5.2.1.7 Unidad experimental

El área del ensayo total fue de 4.99 ha, cada parcela de la unidad experimental fue de un área de 0.1256 ha (corresponde al área de mojado del aspersor), la separación de calle 12.5 metros y la separación de un bloque a otro es de 12.5 metros. En cada parcela se instaló un aspersor con las dimensiones presentadas (ver figura seis) página 36. El área donde se tomaron las muestras de suelo es en el área neta de 0.10 ha.

5.2.1.8 Croquis del diseño experimental

Esta evaluación se realizó a campo abierto, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental está ubicada en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

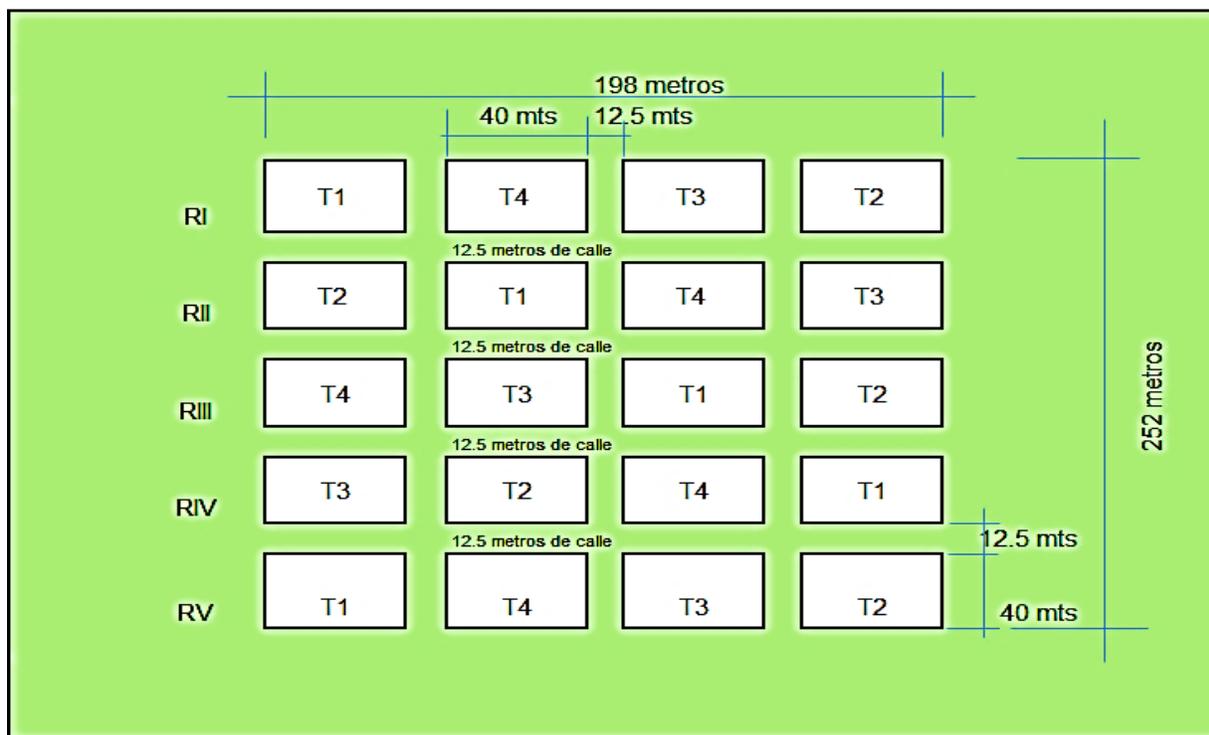


Figura 5. Croquis de distribución de los tratamientos de láminas de vinaza.

Cada parcela de la unidad experimental fue georreferenciada en el centro y se presenta en anexos en la tabla 38.

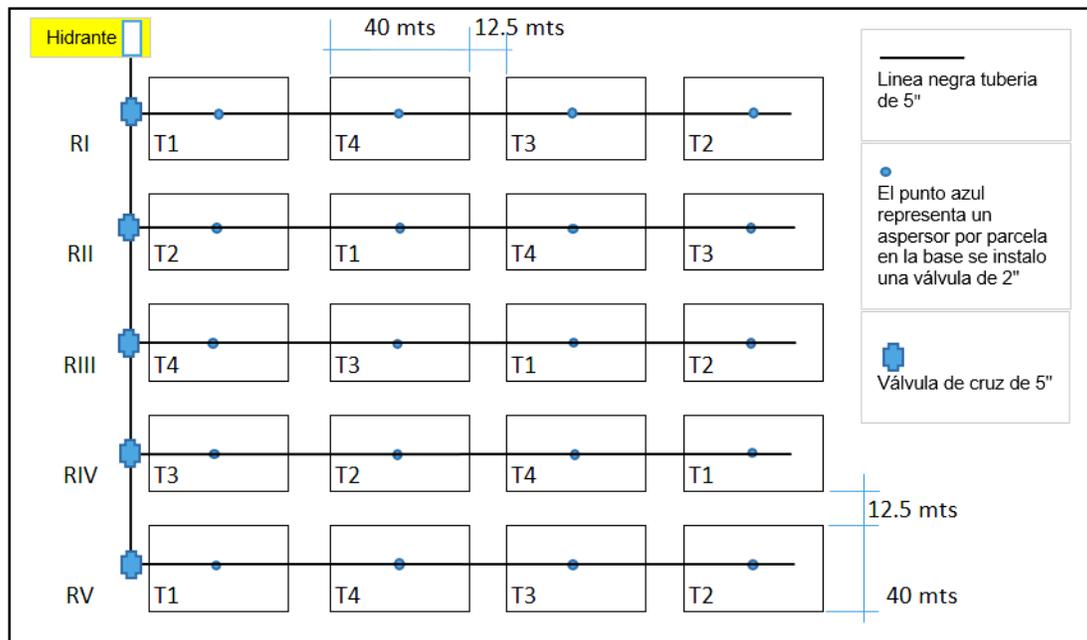


Figura 6. Croquis del diseño experimental del riego de vinaza de un aspersor de impacto por parcela.

Según el croquis, se instaló un ramal principal proveniente del hidrante, del ramal principal parten cinco ramales secundarios (laterales) cada una de ellos pasa en el centro de cada parcela, donde se instaló una válvula de paso de 2 pulgadas.

5.2.1.8.1 Parcela bruta y parcela neta de cada aspersor

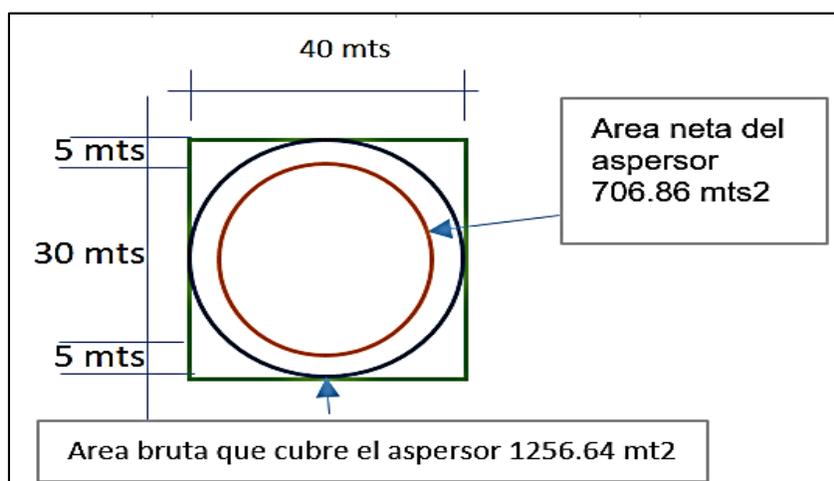


Figura 7. Dimensiones del área bruta y neta del aspersor.

En la figura se observa que la parcela se conformó por un aspersor que tiene un área bruta de 1,256.63 m², la parcela neta fue de 706.86 m² y es donde se tomaron las muestras de suelo.

5.2.1.9 Establecimiento y manejo de la investigación

5.2.1.9.1 Trazo e instalación del sistema de riego del diseño experimental

El trazo y estaquillado se realizó en un área de renovación de la sección tres de finca Santa Julia trabajando en los lotes 0050303 y 0050305, el diseño experimental ocupó un área de 4.99 ha., cada parcela tiene un área bruta de 1,256.63 m². En la sección tres de finca Santa Julia se renovaron todos sus lotes.

1. Para la instalación de la unidad experimental se midió y trazó con una cinta métrica, en los vértices de cada parcela se colocaron estacas. Previo a la aplicación de las láminas de vinaza se realizó el arado al suelo para que la vinaza infiltrara homogéneamente. Luego de las aplicaciones se realizó; subsuelo, volteo, pulido y surqueo.
2. Al tener las estacas de referencias se procedió a la instalación del ramal principal utilizando tubos de nueve metros de largo con un diámetro de 5 pulgadas y al momento de su instalación se procedió a colocar cinco válvulas cruz de 5 pulgadas para la instalación de cada ramal secundario (lateral), cada ramal secundario corresponde a un bloque y pasa en el centro de cada parcela.
3. Para la instalación de cada ramal secundario se procedió a colocar en cada parcela una válvula de 2 pulgadas en ella se acopla la base del aspersor y para la identificación de cada parcela se colocó un nylon de color para cada uno de los tratamientos como se observa en la figura ocho.

Para el tratamiento uno se utilizó el nylon de color rojo, para el segundo el color verde, para el tercero el color azul, para el cuarto el color rosa. La identificación de cada color de parcela se utilizó para que el momento de la aplicación de vinaza se abrieran únicamente las válvulas de 2 pulgadas de cada tratamiento a trabajar.



Figura 8. Instalación de las válvulas de paso de 2 pulgadas para cada aspersor con su respectivo nylon de identificación.

4. Para la colocación de cada aspersor en la parcela se posicionaron sus trípodes al suelo con su respectivo aspersor marca Trigón 105 WW, diámetro de boquilla de 16 mm, alcance 20 metros de radio, área de mojado 0.125 hectárea. Para la ubicación de cada punto de aspersor se utilizó un GPS. En el área trabajada se tomó como prioridad no contaminar las fuentes hídricas con la vinaza al momento de su aplicación al suelo. Toda la instalación del sistema de riego se revisó minuciosamente para no tener problemas de fuga al momento de la aplicación de vinaza de cada uno de los tratamientos.

5.2.1.9.2 Procedimiento para la aplicación de los tratamientos de vinaza

La instalación del sistema de riego y la aplicación de cada tratamiento se realizó en la fecha 23 de abril del 2023.

1. Después de la instalación se revisó el flujo de paso (hidrante), que la válvula de paso estuviera en buenas condiciones, para abrir y cerrar al momento de enviar el líquido hacia los emisores (aspersores), para la aplicación de vinaza de cada tratamiento había un operador en el hidrante al que se le dio un radio para indicarle el momento de abrir y cerrar la válvula manteniendo a una presión de 51 PSI el

flujo de vinaza en el tiempo estipulado de cada tratamiento. La distribución del personal la realizó el caporal de campo, se necesitaron ocho personas y su labor fue abrir y cerrar las válvulas y el traslado de cada aspersor hacia cada una de las parcelas identificadas.

2. Al tener el sistema de riego instalado y con la respectiva identificación de cada parcela se procedió a la ejecución de la misma detallándole al personal el procedimiento a efectuar. Para el primer tratamiento se abrieron únicamente los cinco aspersores en un tiempo de aplicación de 20 minutos, para el segundo se abrieron únicamente los cinco aspersores en un tiempo de aplicación de 30 minutos, para el tercero se abrieron únicamente los cinco aspersores en un tiempo de aplicación de 45 minutos, para el cuarto se abrieron únicamente los cinco aspersores en un tiempo de aplicación de 60 minutos.
3. Se utilizó un anemómetro de mano, para determinar la velocidad del viento en km/hora a cada 15 minutos desde el inicio de la aplicación de cada tratamiento.
4. Para determinar la presión de salida del aspersor fue necesario utilizar un manómetro de glicerina con tubo pitot colocándolo en la boquilla del aspersor como se presenta:



Figura 9. Presión de salida del aspersor utilizando un manómetro de glicerina con tubo Pitot.

5. Antes de iniciar con la aplicación de cada tratamiento fue necesario colocar pluviómetros para determinar los mm aplicados de cada uno de ellos, cada pluviómetro con área de 165.129 cm².



Figura 10. Colocación de los pluviómetros en el área de mojado del aspersor.

5.2.1.10 Variable de respuesta

- Milímetros captados por medio del pluviómetro
- Potencial de Hidrógeno (pH).
- Conductividad eléctrica (CE).
- Saturación de Potasio en el suelo (K).

5.2.1.11 Modo de análisis

- Análisis cuantitativo
- Análisis de varianza en software de infoStat.
- Prueba de medias según Tukey al 5% de significancia.

5.2.1.12 Procedimiento efectuado en campo para determinar la cantidad de vinaza aplicados en (mm) por medio de pluviómetros

Tarjuelo, (2005) recomienda que, para medir la lámina de agua, se utilicen pluviómetros tronco-cónicos o casi cilíndricos, al menos en el tercio superior de su altura, de forma y tamaño uniforme, y con el borde superior afilado, de modo que el agua recogida no pueda salpicar.

1. Teniendo delimitado la ubicación del aspersor se colocaron los pluviómetros en forma de cuadrícula, la distancia del primer pluviómetro a partir del aspersor es de 2.0 m por 2.0 m, del primer pluviómetro al siguiente están distanciados a 4.0 m por 4.0 m.

Se utilizaron 25 pluviómetros para el lado A y 25 para el lado B, fueron posicionados dentro del perímetro de mojado del aspersor como se presenta:

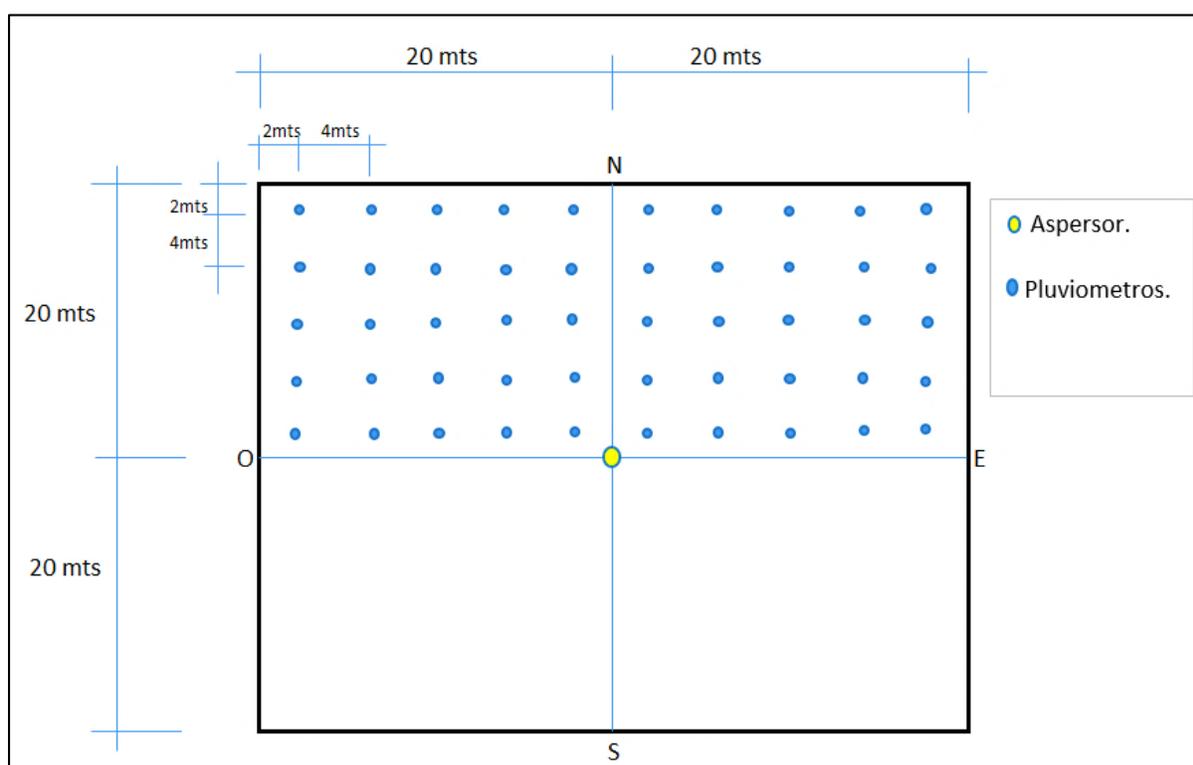


Figura 11. Distribución espacial de los pluviómetros en campo.

2. Los pluviómetros fueron colocados verticalmente y se enterraron ligeramente al suelo para que no se volcaran al momento de encender el aspersor. Los pluviómetros utilizados tienen un radio de 14.5 cm y su área es de 165.13 cm².
3. Teniendo posicionados todos los pluviómetros en cuadrícula, se inició con el riego de vinaza, anotando la hora de inicio y finalización de cada tratamiento con el tiempo de riego estipulado.
4. Se realizó la medición de presión de cada uno de los aspersores, utilizando un manómetro con tubo pitot acoplado, colocándolo en la boquilla del aspersor para su respectiva medición en libras por pulgada cuadrada (PSI). En el hidrante también se incorporó para determinar la presión de salida del flujo hacia los aspersores.
5. Se utilizó un anemómetro en la cual se tomaron lecturas de la velocidad del viento a cada 15 minutos y se anotarán en boletas (Tabla 44 a la 51 en anexos).
6. Al finalizar la prueba, se midieron los volúmenes recogidos o captados en cada uno de los pluviómetros de las cuadrículas utilizando para ello una probeta de 500 ml de capacidad y se anotaron en boletas (Tabla 44 a la 51 en anexos), los volúmenes obtenidos se transformaron en lámina captada, dividiéndolos entre el área de captación de cada pluviómetro.

5.2.1.12.1 Cálculo de la cantidad de mm captados por medio del pluviómetro

Área de captación del pluviómetro= 165.13 cm²

Media de milímetros captados=total de milímetros captados de los 25 pluviómetros

25

Lámina= Volumen/superficie del pluviómetro

$L=V/S$

5.2.1.13 Procedimiento para las mediciones de pH y CE

Para evaluar el efecto de la lámina de vinaza sobre las propiedades fisicoquímicas en el suelo se realizaron mediciones del potencial de Hidrógeno pH y conductividad eléctrica CE, en relación suelo agua 1:2.5. El instrumento para las mediciones HI991405:



Figura 12. Potenciómetro y conductímetro marca Hanna, modelo HI991405 utilizado para las mediciones de pH y CE.

Para los análisis se tomaron muestras de suelo previo a la aplicación de vinaza y después de la aplicación se tomaron a cada 30 días hasta finales de agosto del año 2023. Para la primera toma de muestra de suelo se sustrajo una por cada bloque con la ayuda de un barreno helicoidal. Para obtener una sola muestra compuesta fue necesario sustraer dieciséis submuestras.

Para los muestreos a cada 30 días después de la aplicación de cada tratamiento de lámina de vinaza, se sustrajo una muestra compuesta por parcela en total fueron 20 del diseño experimental. Cada muestra compuesta se analizó en el laboratorio del CUNSUROC.



Figura 13. Soluciones agua suelo preparadas para la determinación del pH y conductividad eléctrica.

5.2.1.14 Procedimiento para la toma de muestras de suelo en la unidad experimental para la determinación de potasio previo a la aplicación de los tratamientos.

Las muestras de suelo se tomaron tres días antes de la aplicación el 20 de abril del 2023 en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305, las muestras se tomaron para determinar las propiedades químicas del suelo, específicamente la cantidad de potasio presente en el suelo, para la toma de la muestra se realizó de forma sistemática en una cuadrícula dentro de cada parcela neta, para extraer la muestra de suelo fue utilizado el barreno tipo helicoidal y se introdujo a una profundidad de 0.20 metros.

Se delimitó el área del diseño experimental que fueron 4.99 Ha, se tomaron dieciséis sub-muestras por bloque para obtener una muestra compuesta de dos kilogramos, como se tenían cinco bloques, se obtuvieron cinco muestras compuestas de suelo. El procedimiento para extraer cada submuestra fue limpiar la superficie del suelo evitando la contaminación con materiales que no sea suelo, las dieciséis submuestras se iban depositando en una cubeta para luego mezclar uniformemente y obtener la muestra compuesta se depositó en una bolsa de nylon con su respectiva identificación.



Figura 14. Muestras compuestas de suelo enviadas al laboratorio de Analab para determinar la saturación de potasio de cada bloque antes de las aplicaciones de los tratamientos de lámina de vinaza.

5.2.1.15 Muestreo de suelo con fines de fertilidad posterior a la aplicación de los tratamientos

Después de la aplicación de los tratamientos en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305, se realizó nuevamente un muestreo de suelo en la fecha 22 de abril del 2024 al concluir con el ciclo de la caña de azúcar (cosecha). Se realizó la toma de muestra de suelo a cada parcela del diseño experimental.

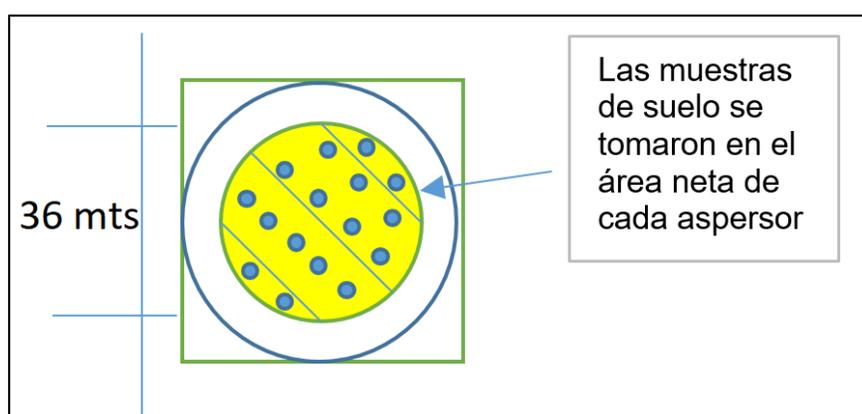


Figura 15. Método para la extracción de las muestras de suelo en el área neta de la parcela

Se tomaron dieciséis sub-muestras en el área del aspersor como se presenta en la figura quince, y se mezcló homogéneamente para obtener la muestra compuesta de un kilogramo, las veinte muestras compuestas se enviaron al laboratorio de Analab para determinar la cantidad de potasio presente en el suelo.

Las muestras se tomaron únicamente del área de mojado lo que cubre el aspersor, para evitar errores experimentales al no mojar en su totalidad el cuadro.

5.2.2 Determinar el efecto de la lámina de vinaza sobre el rendimiento de *S. officinarum* en toneladas por hectárea, toneladas de azúcar por hectárea y producción de azúcar por tonelada de caña.

5.2.2.1 Variable respuesta

- Toneladas de caña por hectárea (TCH)
- Toneladas de azúcar por hectárea (TAH)
- Producción de azúcar por tonelada de caña (Kg Az/TC).

5.2.2.2 Modo de análisis

- Análisis de varianza en software de InfoStat
- Prueba de medias según Tukey al 5% de significancia

5.2.2.3 Descripción de metodología de toneladas de caña por hectárea (TCH)

El muestreo para determinar el rendimiento en toneladas de caña por hectárea se realizó en la fecha 3 y 4 de abril del 2024.

- 1. Numero de tallos:** se eligió al azar un surco de la parcela que fuera representativo de la cual se marcó una distancia de cinco metros lineales, se eliminaron las hojas secas para poder contabilizar los tallos en su totalidad molederos, secos y mamones.
- 2. Peso de los tallos:** de los cinco metros lineales se tomó un metro lineal de la cual se contabilizó los tallos para luego ser cortados al ras del suelo, se cortaron en trozos para atarlos con un lazo y se procedía al pesaje:



Figura 16. Pesaje de los tallos para determinar el rendimiento de cada tratamiento de lámina de vinaza.

- 3. Rendimiento:** la estimación del rendimiento de caña por hectárea se obtuvo de los metros lineales de surco por una hectárea, la cantidad de tallos por metro lineal.

$$TCH = (\text{peso total de los tallos de un metro lineal} * 5714.28 \text{ metros lineales/ha}) / (2000)$$

5.2.2.4 Descripción de metodología de toneladas de azúcar por hectárea (TAH)

Se realizó un muestreo de precosecha en la unidad experimental en la fecha 4 de abril del 2024.

En cada parcela se tomó cinco tallos representativos de la variedad CP72-2086 se cortaron en trozos para luego ser atados con una pita con su respectiva identificación de la unidad experimental, en total se enviaron veinte paquetes al laboratorio de agronomía del Ingenio Tululá para ser analizados.

Rendimiento: al obtener los resultados se realizó el siguiente cálculo:

$$TAH = (\text{Pol caña}/100) * (TCH).$$

5.2.2.5 Descripción de metodología de la producción de azúcar por tonelada de caña (Kg Az/TC)

Se realizó un muestreo de precosecha en la unidad experimental en la fecha 4 de abril del 2024.

En cada parcela se tomó cinco tallos representativos de la variedad CP72-2086 se cortan en trozos para luego ser atados con una pita con su respectiva identificación, los veinte paquetes se trasladaron al laboratorio de agronomía del Ingenio Tululá para ser analizados.

Rendimiento: al obtener los resultados se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Kg Az/Tc} = (\text{TAH} * 1000 \text{Kg}) / (\text{TCH})$$

5.2.3 Evaluar el efecto de la lámina de vinaza sobre la calidad de jugo de caña *S. officinarum*

5.2.3.1 Variable respuesta

- Pureza
- Pol caña
- Grados Brix.

5.2.3.2 Modo de análisis

- Análisis de varianza en software de InfoStat
- Prueba de medias según Tukey al 5% de significancia

5.2.3.3 Descripción de metodología

El muestreo de precosecha se realizó en la fecha 4 de abril del 2024.

En cada parcela se tomó cinco tallos representativos de la variedad CP72-2086 se cortaron en trozos para luego ser atados con una pita con su respectiva identificación, en total se enviaron veinte paquetes al laboratorio de agronomía para ser analizados.

5.2.4 Realizar análisis de costo de aplicación por hectárea de cada lámina de vinaza

Para el análisis de costos de cada tratamiento de lámina de vinaza se tomaron los gastos de mano de obra y de insumos. En mano de obra se sumaron los costos de instalación del sistema de riego por hectárea y en insumos el costo del combustible del tractor por hectárea y se presenta en la tabla 37, página 79.

Para el análisis de costos de la investigación se tomaron los gastos de mano de obra y de insumos. En mano de obra se sumaron los costos de trazado de la unidad experimental, instalación del sistema de riego, muestreo de suelo para los análisis de pH, CE y análisis de fertilidad del suelo, muestreo de rendimiento de toneladas de caña por hectárea, y muestreo de precosecha. En insumos se sumaron los costos de los análisis de fertilidad del suelo previo y posteriores a las aplicaciones de cada tratamiento de lámina de vinaza. Para la obtención de los costos totales se sumaron los totales de mano de obra y de insumos y se presenta en anexos en la tabla 43.

VI. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

6.1 Determinación del efecto de las láminas de vinaza sobre las propiedades fisicoquímicas en el suelo.

6.1.1 Resultados de los milímetros aplicados de vinaza

En la tabla se tiene los resultados de las láminas captadas al momento de la aplicación de cada tratamiento en finca Santa Julia sección tres lotes 0050303 y 0050305, en el marco de riego de lado A al igual que el lado B del área de mojado del aspersor se colocaron veinticinco pluviómetros.

Tabla 12. Resultado del coeficiente de uniformidad por el método de pluviómetro.

Tratamiento	Lámina lado A (Oeste-Norte) (mm)	Lámina lado B (Norte-Este) (mm)	Lámina aplicada promedio (mm)	Lámina propuesta (mm)	Diferencia (mm)
T1 (3.30 mm)	3.28	3.46	3.37	3.30	0.07
T2 (5.40 mm)	5.36	5.56	5.46	5.40	0.06
T3 (8.10 mm)	8.08	8.30	8.19	8.10	0.09
T4 (10.80 mm)	10.70	11.10	10.90	10.80	0.09

La lámina captada de cada tratamiento representa la cantidad en kilogramos de potasio aplicados al cultivo por hectárea y se presenta a continuación:

Tabla 13. Kilogramos de potasio aplicados con respecto a los milímetros captados.

Lámina captada en mm	Dosis de potasio (kg K ⁺ /ha)	Dosis de potasio Propuesto (kg K ⁺ /ha)	Diferencia de lámina captada con la propuesta (kg K ⁺ /ha)
3.37	148.28	145.20	3.08
5.46	240.24	237.6	2.64
8.19	360.36	356.4	3.96
10.90	479.60	475.20	4.40

Según los resultados la diferencia de lámina captada con la propuesta no superó los cinco kilogramos de potasio por hectárea.

6.1.2 Propiedades fisicoquímicas del suelo.

Tabla 14. Variación del pH y la conductividad eléctrica del suelo a los 30, 60, 90 y 365 días después de la siembra de caña de azúcar en el área de aplicación de las láminas de vinaza.

Trat.	Descripción	pH					Conductividad eléctrica dS m ⁻¹				
		Inicio	1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	4 ^a .	Inicio	1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	4 ^a .
			30	60	90	365		30	60	90	365
			días	días	días	días		días	días	días	Días
T1	3.3 mm	6.76	6.86	6.89	6.96	6.95	0.43	0.53	0.54	0.53	0.51
T2	5.4 mm	6.76	6.90	6.89	6.99	6.96	0.43	0.58	0.61	0.60	0.58
T3	8.1 mm	6.76	6.92	6.93	6.98	6.96	0.43	0.71	0.72	0.74	0.70
T4	10.8 mm	6.76	7.04	7.07	7.08	7.10	0.43	0.78	0.77	0.79	0.78

Se presenta la media de cada tratamiento de los análisis de pH y conductividad eléctrica. Según los análisis del suelo de inicio se tiene un pH de 6.76 y según Blanco (1994), indica que, el pH de 6.6 a 7.3 en la reacción del suelo es neutro o casi neutro. El tratamiento 1,2,3 y 4 en la toma de muestra a los 30 días hasta la última de los 365 días el potencial de Hidrógeno no sobrepasa el 7.3 de pH por lo tanto se considera neutro y hay buena disponibilidad de Ca, y Mg, moderada solubilidad del fósforo.

Soriano (2018), explica que, si el suelo es demasiado ácido, en el complejo de cambio abundan los hidrogeniones y el aluminio, impidiendo que otros elementos necesarios tales como calcio, magnesio, sodio y potasio permanezcan en él, pues éstos son eliminados por el agua de lluvia o de riego". El potencial de Hidrógeno al no sobrepasar el 7.3 de pH los hidrogeniones y el aluminio no impiden el intercambio catiónico de los

elementos esenciales para que estén disponibles para la planta. Por tanto, según los resultados de los elementos ya mencionados si están disponibles para la planta.

Duarte & González (2019), indica que, la caña de azúcar tolera valores de pH entre los 5.5 a 8.

En los análisis realizados al inicio y al final de la aplicación de vinaza, el tratamiento de la lámina 3.30 mm incrementó 0.19 de pH, el tratamiento de la lámina 5.40 mm 0.20 de pH, el tratamiento de la lámina 8.10 mm 0.22 de pH y el tratamiento de lámina 10.80 mm 0.34 de pH.

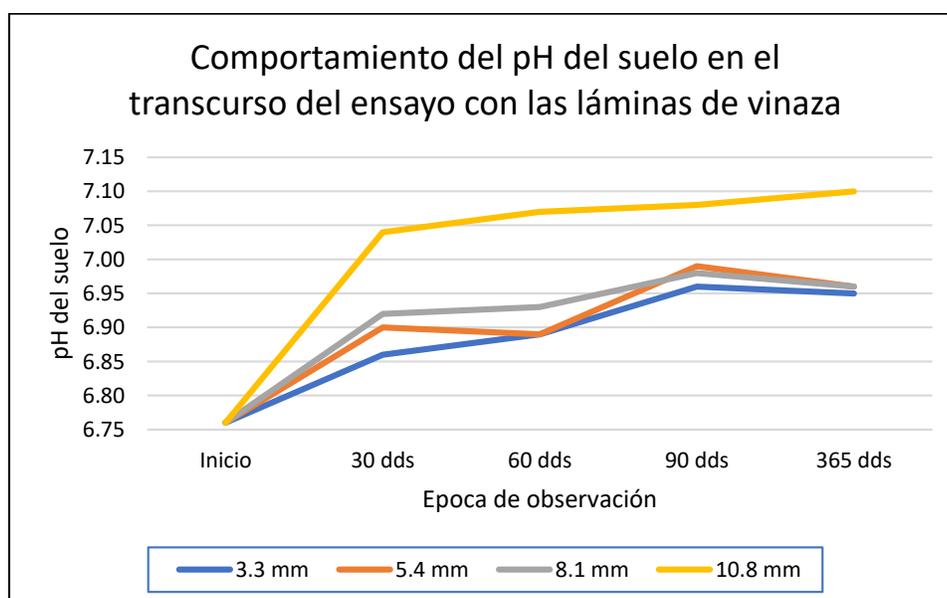


Figura 17. Comportamiento del pH del suelo en el transcurso del ensayo con las láminas de vinaza

En la figura se aprecia que el incremento del potencial de Hidrógeno se da en los cuatro tratamientos de láminas de vinaza, desde los 30 días y se mantiene hasta los 365 días, el tratamiento cuatro supera a los tres tratamientos de inicio a final y según García & Rojas (2006), dice que, el efecto de las vinazas aplicadas al suelo, debido a su acidez elevada es la disolución de las diferentes formas de carbonatos, fosfatos de calcio y otros compuestos precipitados facilitando su lavado vía drenaje, con lo cual se puede lograr una mejor nutrición de las plantas debido a una mayor disponibilidad de nutrientes

acompañada de un mejor balance entre ellos, por tanto, el incremento del potencial de Hidrógeno se debe a la disolución de las diferentes formas ya mencionadas.

El aumento de pH en el suelo puede atribuirse a las reacciones de reducción que consumen iones H^+ presentes en el suelo, las cuales resultan en disminución del potencial redox. (Carneiro et al 2004)

Korndörfer et al (2004), explica que el proceso de reducción inducido por la vinaza consume protones (iones H^+), siendo este el principal responsable del aumento en el pH.

Según los resultados de la tabla 14 página 51, de la conductividad eléctrica de inicio a final de los cuatro tratamientos de vinaza ninguno supera 1 ds/m, por tanto, se clasifica como un suelo libre de sales. Los incrementos porcentuales se basan con el resultado de inicio de 0.43 dS m^{-1} y los cambios graduales se aprecian en la figura dieciocho.

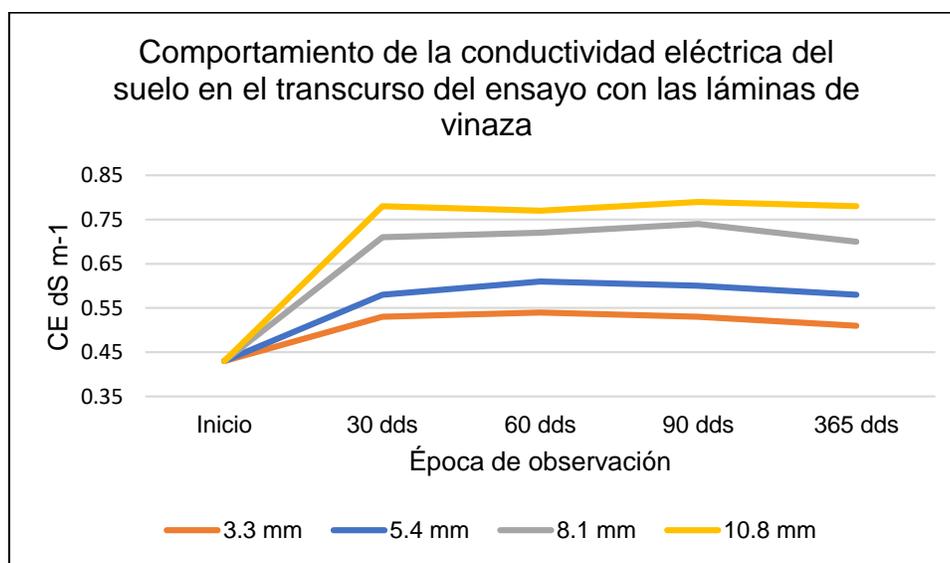


Figura 18. Comportamiento de la conductividad eléctrica del suelo en el transcurso del ensayo con las láminas de vinaza

En la figura se observa el incremento de la CE de los cuatro tratamientos, desde los 30 días y se mantiene hasta los 365 días, cuando se observa un ligero descenso. El tratamiento de lámina vinaza 10.80 mm fue el que más incrementó la CE, manteniéndose sobre los 0.75 dS m^{-1} , por tanto, la vinaza si incrementa la conductividad eléctrica del suelo ya que contiene concentraciones altas de sales solubles, debido a la cantidad de

mineral disuelto fundamentalmente el potasio, pero se mantiene en el rango aceptable de no salino menor a 2 dS m⁻¹ en los cuatro tratamientos de láminas de vinaza aplicados al suelo.

6.1.3 Saturación de potasio en el suelo

Se especifica la cantidad de nutrientes que contiene cada tratamiento de lámina de vinaza, y el aporte del suelo según los análisis de la tabla 16 página 55, y el requerimiento del cultivo de caña de azúcar.

Tabla 15. Cantidad de nutrientes aplicados con los tratamientos de las láminas de vinaza en Kg/ha

Tratamiento	Kg/Ha				
	N	P	K	Ca	Mg
T1 3.3 mm	45.54	22.4	145.2	23.76	34.98
T2 5.4 mm	74.52	36.72	237.6	38.88	57.24
T3 8.1 mm	111.78	55.0	356.4	58.32	85.86
T4 10.8 mm	144.90	73.44	475.2	77.76	114.48
Aporte del suelo	-	19.38	71.94	801.56	249.13
Requerimiento del cultivo	80	60-80	200	500-1000	50-125

Según CENGICAÑA (2014), en siembras nuevas o renovaciones en Andisoles con fósforo bajo (< 10 ppm), aplicar 80 kg de P₂O₅/ha y en otros suelos aplicar 60 kg de P₂O₅/ha. El T1 contiene en fósforo 22.4 Kg/ha, el T2 contiene 36.72 Kg/ha, el T3 contiene 55.0 Kg/ha y el T4 contiene 73.44 Kg/ha.

En nitrógeno, el T1 contiene 45.54 Kg/ha, el T2 contiene 74.52 kg/ha, el T3 contiene 111.78 kg/ha y el T4 contiene 144.90 kg/ha. Según CENGICAÑA, (2014) indica que, para caña plantía varían de 60 a 80 kg de N/ha, de acuerdo con el nivel de MO del suelo. El T2 se mantiene en el rango, el T3 y T4 supera los rangos.

En materia orgánica, según los análisis previos de la tabla 16 estaba en 2.59 por ciento y el mínimo es 3 por ciento y después de las aplicaciones de cada tratamiento de lámina

de vinaza se incrementó a razón de; T1 5.12 por ciento, T2 4.05 por ciento, T3 5.36 por ciento y el T4 4.19 por ciento, por tanto, cada tratamiento evaluado de lámina de vinaza es mejorador en materia orgánica.

Tabla 16. Análisis de fertilidad del suelo previo y posterior a la aplicación de los tratamientos de las láminas de vinaza

Trat.	Cmol(+)/L			mg/L			Cmol(+)/L			mg/L		%
	K	Ca	Mg	B	S	Acidez intercam.	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O	
	0.18- 0.38	5-10	0.82- 2.05	1-5	10-100	0.3-1.5	1-10	40 - 250	10 - 250	2-25	3-6	
Análisis previo a la aplicación de vinaza												
Inicio	0.73	8.00	4.1	1.59	9.97	0.06	5.70	142.0	242.3	2.44	2.59	
Análisis posterior de la aplicación de vinaza												
T1	0.63	7.86	4.63	1.41	10.89	0.07	5.40	116.8	208.5	2.13	5.12	
T2	0.84	7.68	4.24	1.05	11.24	0.07	6.17	128.0	179.1	2.35	4.05	
T3	1.18	7.60	3.84	1.02	12.22	0.066	5.76	113.2	191.1	2.31	5.36	
T4	1.4	8.05	4.42	1.16	10.52	0.066	6.39	128.9	205.0	2.66	4.19	

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas de Anacafé, (2023-2024).

Los datos que están de color negro son los adecuados, los de color rojo están por debajo del rango y los de color azul están arriba de lo adecuado.

En la tabla se tiene los resultados de fertilidad del suelo previo y posterior a la aplicación de los tratamientos de lámina de vinaza, se observa que en potasio y magnesio previo y posterior a los análisis de suelo se mantienen arriba del rango. En los elementos Ca, Mg, B, S, Cu, Fe, Mn, Zn previo y posterior a los análisis se mantiene en los rangos adecuados para el cultivo de caña de azúcar.

A continuación, se presenta el comportamiento de los macronutrientes en el suelo de las aplicaciones de la lámina de vinaza:

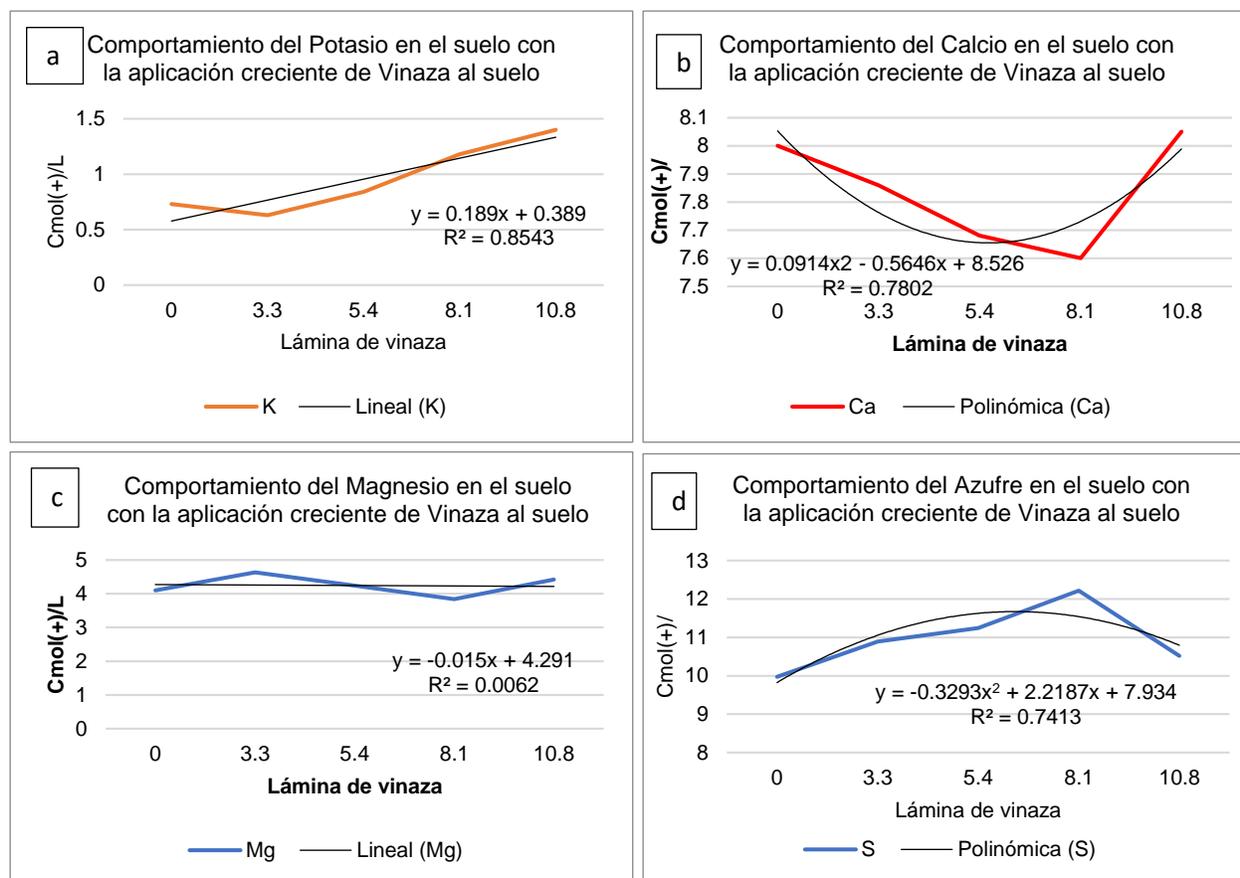


Figura 19. Comportamiento de los macronutrientes en el suelo con las aplicaciones de la lámina de vinaza; a) Potasio, b) Calcio, c) Magnesio, d) Azufre.

El comportamiento del potasio en el suelo de la figura diecinueve “a”, indica que en la línea de tendencia en la lámina de 3.3 mm de vinaza, desciende y luego se incrementa con relación a la lámina 5.4 mm, 8.1 mm y 10.8 mm, por lo tanto, existe correlación lineal entre la lámina de vinaza aplicada y el incremento del potasio en el suelo, teniendo un coeficiente de determinación R^2 de 0.85.

El comportamiento del calcio en el suelo de la figura diecinueve “b”, indica que en la línea polinómica de tendencia a partir de la lámina 3.3 mm decrece y luego incrementa en la lámina 10.8 mm, por tanto, existe correlación polinómica entre el contenido de potasio en el suelo y la lámina de vinaza aplicada, teniendo un coeficiente de determinación R^2 de 0.78.

El comportamiento del magnesio en el suelo de la figura diecinueve c) indica que en la lámina 8.1 mm decrece con relación al análisis químico de inicio, por tanto, existe correlación polinómica entre el contenido de potasio en el suelo y la lámina de vinaza aplicada, teniendo un coeficiente de determinación R^2 de 0.006.

El aumento de la K por la adición de vinaza se debe a la rápida y alta liberación de K^+ como resultado de su alta solubilidad, mientras que las concentraciones de Mg^{2+} y Ca^{2+} son menores y se retardan, lo que puede atribuirse a su mayor carga en comparación con el K^+ , pero también a una menor solubilidad y potencial de precipitación con aniones como los carbonatos (Cole et al 2019).

En calcio y magnesio al incrementar la lámina de vinaza al suelo se incrementa el contenido de cationes bases, se incrementa la CIC y disminuye la Al^{3+} , por consiguiente, el comportamiento de los dos elementos decrece y luego aumenta. El calcio puede ser absorbido por los coloides minerales del suelo, estos, al saturar la capacidad de intercambio catiónico del suelo no pueden ser adsorbidos, por lo tanto, quedan como elementos en solución y manifiestan un comportamiento como se observa en la figura 19 b, el calcio puede reaccionar y enlazarse al azufre del suelo, formando sulfato de calcio, siendo una molécula inerte.

El comportamiento del azufre en el suelo de la figura diecinueve d) indica que en la línea polinómica de tendencia a partir de la lámina 3.3 mm se incrementa y en la lámina 10.8 mm decrece, por tanto, el incremento se debe al incrementar cada lámina de vinaza al suelo, la vinaza utilizada contiene 3.48 g SO_4/L , el decremento del azufre en el suelo en la lámina 10.8 mm pudo deberse al incremento de pH donde el sulfato está presente en solución, al estar móvil en el suelo se pierde por lixiviación.

En la figura veinte se presenta el comportamiento de los micronutrientes en el suelo con la aplicación de la lámina de vinaza.

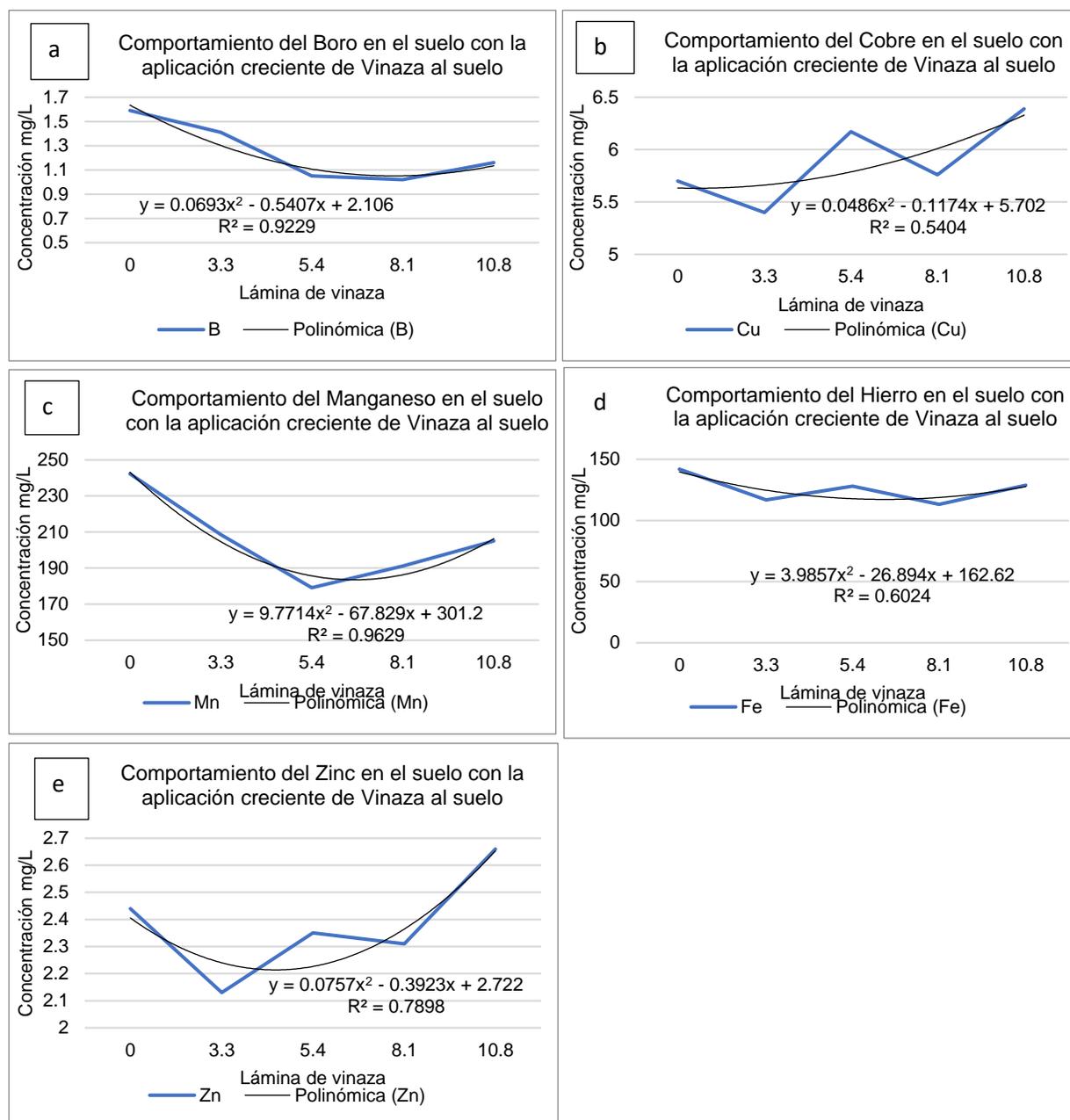


Figura 20. Comportamiento de los micronutrientes en el suelo con las aplicaciones de la lámina de vinaza; a) Boro, b) Cobre, c) Manganeseo, d) Hierro, e) Zinc.

El comportamiento del boro en el suelo de la figura veinte a) con la aplicación creciente de vinaza al suelo, la línea de tendencia indica que a partir de lámina 3.3 mm desciende

gradualmente hasta la lámina 10.8 mm, por consiguiente, el incremento de cada lámina de vinaza al suelo no refleja incremento en boro en el suelo, por tanto, existe correlación polinómica entre el contenido de potasio en el suelo y la lámina de vinaza aplicada, teniendo un coeficiente de determinación R^2 de 0.92.

El comportamiento del cobre en el suelo de la figura veinte b) con la aplicación creciente de vinaza al suelo, la línea de tendencia indica que en la lámina 3.3 mm desciende, luego se incrementa en la lámina 5.4 mm, luego desciende nuevamente en la lámina 8.1 mm y finalmente en la lámina 10.8 mm se incrementa, por lo tanto, existe correlación polinómica entre el contenido de potasio en el suelo y la lámina de vinaza aplicada, teniendo un coeficiente de determinación R^2 de 0.54.

El comportamiento del manganeso en el suelo de la figura veinte c) con la aplicación creciente de vinaza al suelo, la línea de tendencia indica que a partir de lámina 3.3 mm desciende con respecto al análisis químico de inicio, por consiguiente, el incremento de cada lámina de vinaza en el suelo no repercutió en el incremento de manganeso en el suelo, por tanto, existe correlación lineal entre el contenido de potasio en el suelo y la lámina de vinaza aplicada, teniendo un coeficiente de determinación R^2 de 0.96.

El comportamiento del hierro en el suelo de la figura veinte d) con la aplicación creciente de vinaza al suelo, la línea polinómica de tendencia indica que a partir de la lámina 3.3 mm desciende con respecto al análisis químico de inicio, por tanto, existe correlación polinómica entre el contenido de potasio en el suelo y la lámina de vinaza aplicada, teniendo un coeficiente de determinación R^2 de 0.60.

El comportamiento del zinc en el suelo de la figura veinte e) con la aplicación creciente de vinaza al suelo, la línea polinómica de tendencia indica que a partir de la lámina 3.3 mm desciende con respecto al análisis químico de inicio, pero se incrementa en la lámina 10.8 sobrepasando a los demás tratamientos y al de inicio, por tanto, existe correlación lineal entre el contenido de potasio en el suelo y la lámina de vinaza aplicada, teniendo un coeficiente de determinación R^2 de 0.78.

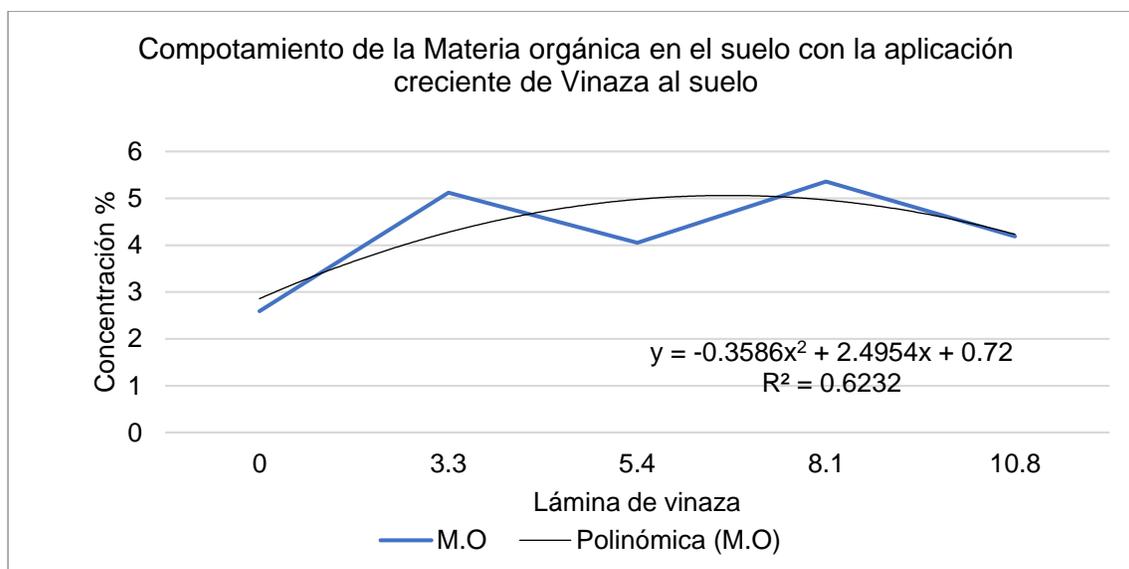


Figura 21. Comportamiento de la Materia orgánica en el suelo con la aplicación creciente de vinaza al suelo.

En la figura se observa el comportamiento de la materia orgánica en suelo con la aplicación creciente de vinaza al suelo, la línea polinómica de tendencia indica que a partir de la lámina 3.3 mm se incrementa con respecto al de inicio, por consiguiente, cada lámina de vinaza incrementa considerablemente la materia orgánica en el suelo, Por tanto, existe correlación polinómica entre el contenido de potasio en el suelo y la lámina de vinaza aplicada, teniendo un coeficiente de determinación R^2 de 0.62.

En el análisis de inicio se encontraba en 2.59 por ciento estando por debajo del mínimo que es 3 por ciento y luego de la aplicación de cada tratamiento de lámina de vinaza se incrementó a razón de 5.12, 4.05, 5.36 y 4.19 por ciento de materia orgánica.

Tabla 17. Análisis químico de saturación de bases del suelo previo y posterior a la aplicación de los tratamientos de lámina de vinaza.

	Porcentaje de saturación en la CICE					Equilibrio de bases				
	Cmol(+)/L CICE	K	Ca	Mg	A.l 0-	Ca/K	Mg/k	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	M.O
	10-15	4-5	34-40	12-15	24.9	5-25	2.5-15	2-5	10-40	3-6
	Análisis previo a la aplicación de vinaza									
	12.90	5.74	62.08	31.74	0.47	11.02	5.69	1.96	16.71	2.59
	Análisis posterior de la aplicación de vinaza									
Trat.										
T1	13.20	4.62	59.74	35.10	0.53	15.12	8.82	1.71	23.93	5.12
T2	12.76	6.39	59.81	33.27	0.53	12.09	6.96	1.82	19.05	4.06
T3	12.70	9.33	59.79	30.36	0.52	6.57	3.31	1.98	9.87	5.37
T4	13.94	10.06	57.80	31.67	0.47	5.79	3.18	1.83	8.96	4.19

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas de Anacafé, (2023-2024).

Los datos que están de color negro son los adecuados, los de color rojo están por debajo del rango y los de color azul están arriba de lo adecuado.

Según los resultados de la tabla del análisis previo del porcentaje de saturación en la CICE de los elementos potasio, calcio y magnesio están arriba de lo recomendable para el cultivo de caña de azúcar, en cuanto al potasio no sobrepasa el siete por ciento de saturación con respecto a la CICE y según CENGICAÑA (2017) dice que, el potasio debe ocupar el siete por ciento de la CICE". Se observa que en equilibrio de bases solamente el Ca/Mg está por debajo de lo recomendado por 0.04, por lo cual hay desequilibrio de bases en el suelo ya que se considera como antagonismo, el cultivo fisiológicamente absorbió más magnesio que calcio, se observa en la tabla 16, página 55, el contenido de magnesio sobrepasa los rangos adecuados.

En la tabla 17, también se tiene el análisis posterior de cada tratamiento, los resultados plasmados son la media de cada tratamiento ya que se realizaron cinco repeticiones por tratamiento. Según los resultados en cuanto al porcentaje de saturación de potasio se da un incremento sobrepasando el siete por ciento en los tratamientos (T3 8.10 mm) y (T4 10.80 mm) por lo cual se observa un desequilibrio de bases en (Ca+Mg) /K, así mismo se observa que a menor concentración de potasio en el suelo el equilibrio de bases mejora. Se aprecia que si en el suelo hay concentraciones altas de calcio o magnesio se da un desequilibrio de bases en (Ca/Mg), ya que en el análisis de saturación previo con

el posterior estos elementos sobrepasan el rango adecuado, siendo el magnesio con una concentración más alta que el calcio considerándose como antagonismo.

CENGICAÑA (2017), indica que, la vinaza aplicada en altas cantidades y sin control puede causar desequilibrio de bases en el suelo por el incremento del potasio y por las cenizas de los jugos de caña, retrasando la maduración y causando problemas en la cristalización del azúcar en la fábrica. Para mantener el equilibrio de bases es necesario realizar los monitoreos previos a su aplicación para que los elementos intercambiables estén disponibles para la planta, por tanto, los tratamientos (T3 y T4) desequilibran la fertilidad del suelo ya que el T3 corresponde a una lámina de vinaza de 8.10 mm con una dosis de 237.6 (Kg K⁺/Ha) y el T4 con una lámina de 10.80 mm con una dosis de 475.20 (Kg K⁺/Ha).

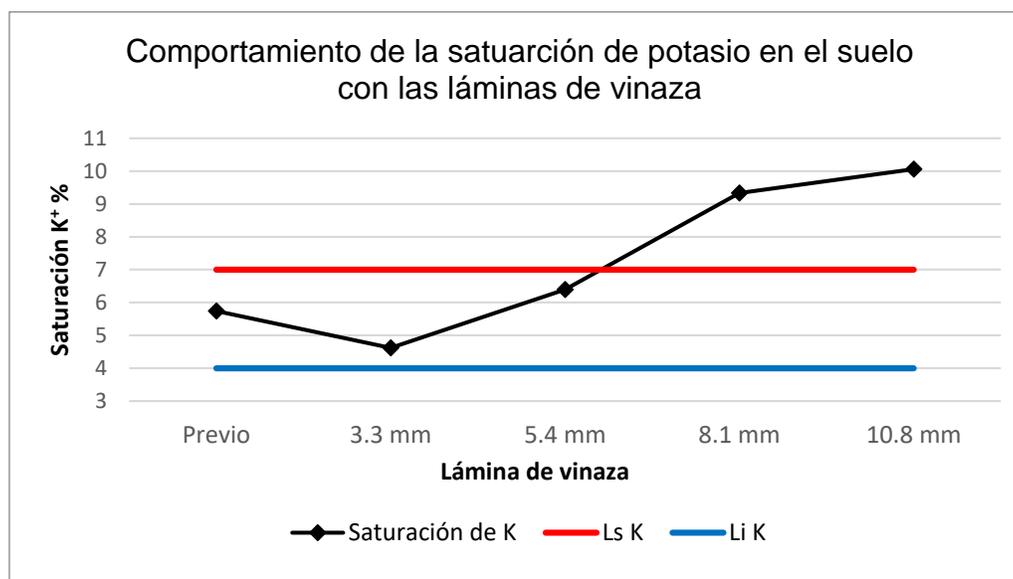


Figura 22. Comportamiento de la saturación de potasio en el suelo con las láminas de vinaza previo y posterior.

Referencias: Ls K= umbral máximo de saturación de potasio en el suelo.

Li K= umbral mínimo de saturación de potasio en el suelo.

K= potasio

En la figura se observa que previo a la aplicación de los tratamientos de las láminas de vinaza la saturación de potasio estaba en 5.74 y luego de las aplicaciones el T1 se redujo a 4.62 por ciento al rango adecuado, el T2 se incrementó a 6.39 por ciento, el T3

a 9.33 por ciento y el T4 a 10.06 por ciento de saturación de potasio. Por tanto, el rango adecuado de saturación de potasio en el suelo es de cuatro a cinco según los análisis de laboratorio, pero según Ajanel (2023), dice que, el límite máximo para no tener problemas en fábrica es del siete por ciento. El T3 y T4 superan el siete por ciento de saturación de potasio en el suelo, por consiguiente, estos tratamientos no son factibles para emplear al suelo.

Los tratamientos que se pueden emplear al suelo son el T1 con una lámina de vinaza de 3.3 mm con una dosis de 145.2 kg K⁺/ha en un tiempo de riego de 20 minutos y el T2 con una lámina de vinaza de 5.4 mm con una dosis de 237.6 kg K⁺/ha en un tiempo de riego de 30 minutos. Según los requerimientos del cultivo de caña de azúcar se puede aplicar hasta 220 kilogramos de K₂O por hectárea.

Tabla 18. Resultados de los análisis de suelo previo a la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia Sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

Bloque	Saturación de potasio 4-5
I	4.49
II	6.30
III	5.90
IV	6.18
V	5.84
Media	5.74

Según los resultados de la tabla la media de los bloques es 5.74 de saturación de potasio con respecto a la CIC manteniéndose por debajo del siete por ciento, se dice que si estuviera arriba del siete por ciento de saturación tendrían problemas en fábrica por la calidad del azúcar. Estos análisis son previos a la aplicación de cada uno de los tratamientos de vinaza y se tomaron en la fecha 20 de abril del año 2023. En la tabla 19 se tiene los resultados posteriores a su aplicación y se tomaron en la fecha 22 de abril del año 2024 después de cosecha.

Tabla 19. Media del porcentaje de saturación de potasio en el suelo de cada tratamiento de lámina de vinaza.

Tratamiento	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Bloque V	Sumatoria	Medias
1	6.06	5.75	2.69	2.68	5.91	23.09	4.618
2	10.54	5.98	4.28	8.62	2.52	31.94	6.388
3	11.56	8.91	7.57	8.74	9.85	46.63	9.326
4	10.85	8.78	10.09	11.07	9.51	50.3	10.06

En la tabla se tiene la media de saturación de potasio de cada uno de los tratamientos de vinaza, para determinar si hay diferencia significativa de un tratamiento con otro se realizó un análisis de varianza y se presenta en la tabla 20.

Tabla 20. Análisis de varianza para la saturación de potasio en el suelo con la aplicación de láminas de vinaza.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	125.88	7	17.98	5.71	0.0044
Tratamiento	96.96	3	32.32	10.25	0.0012**
Repeticiones	28.93	4	7.23	2.29	0.1192
Error	37.82	12	3.15		
Total	163.71	19			

En la tabla se presenta los resultados del ANDEVA, se trabajó con un nivel de confianza del 95 por ciento y un nivel de significancia de $\alpha = 5$ por ciento, según los resultados, hay diferencia significativa entre tratamientos ya que el p-valor es menor al 0.05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Para determinar que tratamiento produce menor saturación de potasio en el suelo fue necesario realizar una prueba de medias Tukey al 5 por ciento y se presenta a continuación:

Tabla 21. Resultado de prueba de medias Tukey al 5% de saturación de potasio en el suelo.

Tratamiento	Medias	n	E.E			
T1 (3.3 mm)	4.62	5	0.79	A		
T2 (5.4 mm)	6.39	5	0.79	A	B	
T3 (8.10 mm)	9.33	5	0.79		B	C
T4 (10.8 mm)	10.06	5	0.79			C

Con los resultados de la prueba de medias Tukey se determina que el tratamiento uno con una media de 4.62 por ciento de saturación de potasio sería el mejor ya que se mantiene en el rango de cuatro a cinco, el segundo tratamiento con una media de 6.39 por ciento se mantiene por debajo del siete por ciento, y en el Ingenio Tululá solo se puede aplicar vinaza al cultivo si no sobrepasa el siete por ciento.

El tratamiento 3 y 4 sobrepasa el siete por ciento de la saturación de bases en el suelo por lo tanto no se puede aplicar al suelo. Según CENGICAÑA (2014) indica que, el exceso de potasio en las plantas incrementa el contenido de ceniza en el jugo de caña lo que causa problemas en la cristalización del azúcar en el proceso de fabricación.

Lazcano (1999), indica que, el Potasio (K) es requerido por la caña de azúcar en grandes cantidades. Es más, el potasio es el nutriente más utilizado por la planta de la caña de azúcar. Una cosecha de 100 toneladas remueve (consume) del suelo un promedio de 220 kg de K_2O . por lo tanto, el tratamiento uno y dos se pueden aplicar al suelo para suplir las necesidades nutricionales del cultivo, con el tratamiento uno se aplica 145.2 kilogramos de potasio por hectárea en un tiempo de riego de 20 minutos, con el segundo tratamiento 237.6 kilogramos de potasio por hectárea en un tiempo de riego de 30 minutos.

En campo no es conveniente trabajar con el tratamiento uno ya que el tiempo de riego es de 20 minutos, los colaboradores para un cambio de ramal se llevan un tiempo de 30 minutos para el traslado de 16 tubos de nueve metros de largo con un diámetro de 5" y cuatro aspersores con su respectivo trípode. Para esta labor se trabaja con siete colaboradores y un operador para el hidrante, se tendría que realizar una prueba en

campo definitivo para determinar la cantidad necesaria de colaboradores si se trabajara con el tratamiento uno, por consiguiente, el tratamiento tres, con 8.1 mm de vinaza es el mejor para rendir caña, azúcar, mantiene la pureza, mayor Brix y Pol. Es el mejor, sin embargo, incrementa la saturación de K⁺ sobre el umbral permitido.

6.2 Determinación del efecto de la lámina de vinaza sobre el rendimiento de *S. officinarum* en toneladas por hectárea, toneladas de azúcar por hectárea y la producción de azúcar por tonelada de caña

6.2.1 Toneladas de caña por hectárea (TCH)

Tabla 22. Media de cada tratamiento de vinaza de la variable rendimiento en toneladas de caña por hectárea (TCH) en plantía.

Tratamiento	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Bloque V	Sumatoria	Medias
1 (3.3 mm)	76.2	51.0	68.0	59.2	83.8	338.31	67.66
2 (5.4 mm)	69.3	88.2	85.0	75.0	85.0	402.57	80.51
3 (8.1 mm)	79.4	106.5	88.8	77.5	130.4	482.58	96.52
4 (10.8 mm)	121.6	113.4	131.0	117.8	109.0	592.83	118.57

En la tabla se tiene los resultados de rendimientos de toneladas de caña por hectárea de la variedad CP72-2086 en plantía, según las medias el rendimiento más bajo es el T1 con 67.66 toneladas de caña por hectárea y el más alto el T4 con 118.57 toneladas de caña por hectárea. Para determinar si hay diferencia significativa de un tratamiento con otro se realizó el análisis de varianza y se presenta a continuación:

Tabla 23. Análisis de varianza de la variable rendimiento de toneladas de caña por hectárea (TCH) en plantía.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8112.92	7	1158.99	6.06	0.0034
Tratamiento	7223.94	3	2407.98	12.59	0.0005**
Repeticiones	888.97	4	222.24	1.16	0.3753
Error	2295.59	12	191.3		
Total	10408.5	19			

En la tabla se tiene los resultados del ANDEVA, se trabajó con un nivel de confianza del 95 por ciento y un nivel de significancia de $\alpha = 5$ por ciento, según los resultados hay diferencia significativa entre tratamientos ya que el p-valor es menor al 0.05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Al haber significancia se realizó una prueba de medias Tukey al 5 por ciento para determinar cuál es el mejor tratamiento y se presenta:

Tabla 24. Resultado de prueba de medias Tukey al 5% de la variable rendimiento de toneladas de caña por hectárea en plantía.

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
T4 (3.3 mm)	118.57	5	6.19	A		
T3 (5.4 mm)	96.52	5	6.19	A	B	
T2 (8.1 mm)	80.51	5	6.19		B	C
T1 (10.80 mm)	67.66	5	6.19			C

Según los resultados, el mejor tratamiento es el T4 con una media de 118.57 ton. caña/ha con una dosis de 475.2 (kg K⁺/ha), seguidamente el T3 con 96.52 ton. caña/ha con una dosis de 356.4 (kg K⁺/ha), y según los resultados de la tabla 21 página 65, de la prueba de medias Tukey de la saturación de potasio el (T3 y T4) no son recomendables ya que superan el siete por ciento con respecto a la CIC y se tendría problemas en la calidad del azúcar, en comparación con el T2 que da un rendimiento de 80.51 ton. caña /ha y una saturación del 6.79 de potasio el cual sería el mejor demostrando que suple las necesidades nutricionales del cultivo y el tiempo de riego es manejable en campo.

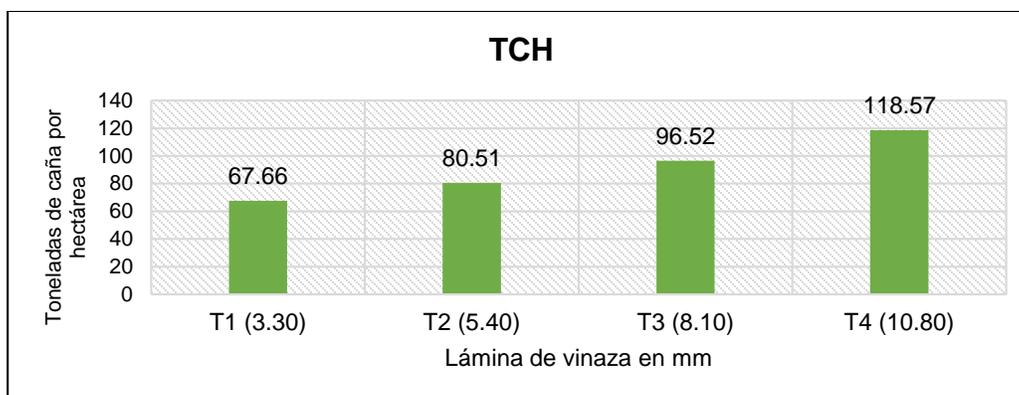


Figura 23. Rendimiento de toneladas de caña por hectárea de los tratamientos de vinaza aplicados al suelo.

Según los resultados, se observa que a mayor concentración en la dosis de vinaza hay un incremento significativo en cuanto a rendimiento comparando el T1 con el T4 se tiene un incremento hasta del 75 por ciento (50.91 ton. Caña/ha), para el T1 se aplicó 145.2 (kg K⁺/ha), y el T4 475.2 (kg K⁺/ha). Del T1 con el T2 se tiene un incremento del 18.99 por ciento (12.85 ton. Caña/ha).

6.2.2 Toneladas de azúcar por hectárea (TAH)

Al realizar los muestreos de los tallos en el área de investigación y seguidamente enviados al laboratorio del Ingenio Tululá se tienen los resultados:

Tabla 25. Medias de cada tratamiento de vinaza de la variable rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea (TAH) en plantía.

Tratamiento	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Bloque V	Sumatoria	Medias
1 (3.3 mm)	10.5	7.9	10.4	9.2	10.4	48.45	9.69
2 (5.4 mm)	10.1	12.3	13.9	10.3	13.4	60.04	12.01
3 (8.10 mm)	12.7	16.0	13.4	10.5	20.7	73.40	14.68
4 (10.80 mm)	17.5	16.6	17.7	18.0	16.8	86.60	17.32

Se tiene los resultados de rendimientos de toneladas de azúcar por hectárea de la variedad CP72-2086 en plantía, según las medias el rendimiento más bajo es el T1 con 9.69 ton. de azúcar/ha y el más alto el T4 con 17.32 toneladas de azúcar por hectárea.

Para determinar si hay diferencia significativa de un tratamiento con otro se realizó el análisis de varianza y se presenta:

Tabla 26. Análisis de varianza de la variable rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea (TAH) en plantía.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	189.57	7	27.08	5.99	0.0036
Tratamiento	163.98	3	54.66	12.08	0.0006**
Repeticiones	25.59	4	6.4	1.41	0.2879
Error	54.28	12	4.52		
Total	243.85	19			

Se trabajó con un nivel de confianza del 95 por ciento y un nivel de significancia de $\alpha = 5$ por ciento, según los resultados hay diferencia significativa entre tratamientos ya que el p-valor es menor al 0.05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Al haber significancia se realizó una prueba de medias Tukey al 5 por ciento para determinar cuál es el mejor tratamiento y se presenta:

Tabla 27. Resultado de prueba de Tukey al 5% de la variable rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea en plantía.

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
T4 (10.80 mm)	17.32	5	0.95	A		
T3 (8.10 mm)	14.66	5	0.95	A	B	
T2 (5.4 mm)	12.01	5	0.95		B	C
T1 (3.3 mm)	9.67	5	0.95			C

El mejor tratamiento es el T4 con una media de 17.32 ton. de azúcar /ha con una dosis de 475.2 kilogramos de potasio por hectárea, seguidamente el T3 con 14.66 ton. de azúcar /ha con una dosis de 356.4 kilogramos de potasio por hectárea, relacionando los resultados de la tabla 24 página 67 de prueba medias Tukey del rendimiento de toneladas de caña por hectárea el (T3 y T4) fueron los mejores. En la figura veinticuatro se presentan los promedios de rendimientos de toneladas de azúcar por hectárea.

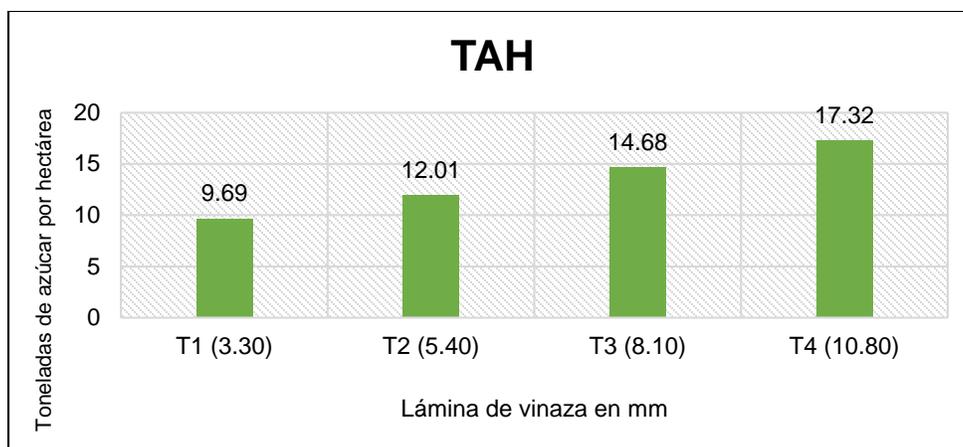


Figura 24. Rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea de los tratamientos de láminas de vinaza aplicados al suelo.

Se observa que a mayor concentración en la dosis de vinaza hay un incremento significativo en cuanto a rendimiento comparando el T1 con el T4 se tiene un incremento hasta del 78.74 por ciento (7.63 ton. azúcar /ha). Del T1 con el T2 se tiene un incremento del 23.94 por ciento (2.32 ton. azúcar/ha).

6.2.3 Producción de azúcar por tonelada de caña Kg Az/TC

Al realizar los muestreos de los tallos en el área de investigación y seguidamente enviados al laboratorio del Ingenio Tululá:

Tabla 28. Medias de cada tratamiento de vinaza de la variable producción de azúcar por tonelada de caña (Kg Az/TC) en plantía.

Trat.	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Bloque V	Sumatoria	Medias
1 (3.3 mm)	137.9	154.1	153.3	124.6	79.7	649.6	129.9
2 (5.4 mm)	145.7	139.2	163.5	137.7	158.0	744.1	148.8
3 (8.10 mm)	159.8	150.6	151.2	135.8	158.9	756.3	151.3
4 (10.80 mm)	144.0	146.7	134.8	152.5	154.4	732.4	146.5

En la tabla se tiene los resultados de producción de azúcar por tonelada de caña de la variedad CP72-2086 en plantía, según las medias el rendimiento más bajo es el T1 con 129.9 kg. Azúcar por tonelada de caña y el más alto el T3 con 151.3 kg. Azúcar por

tonelada de caña. Para determinar si hay diferencia significativa de un tratamiento con otro se realizó el análisis de varianza:

Tabla 29. Análisis de varianza de la variable producción de azúcar por tonelada de caña (Kg Az/ha).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1983.99	7	283.43	0.79	0.6087
Tratamiento	1401.4	3	467.13	1.3	0.3185 n.s
Repeticiones	582.59	4	145.65	0.41	0.8006
Error	4300.78	12	358.4		
Total	6284.77	19			

Se trabajó con un nivel de confianza del 95 por ciento y un nivel de significancia de $\alpha = 5$ por ciento, según los resultados no hay diferencia significativa entre tratamientos ya que el p-valor es mayor al 0.05, por tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

A continuación, se presentan los promedios de producción de azúcar por tonelada de caña.

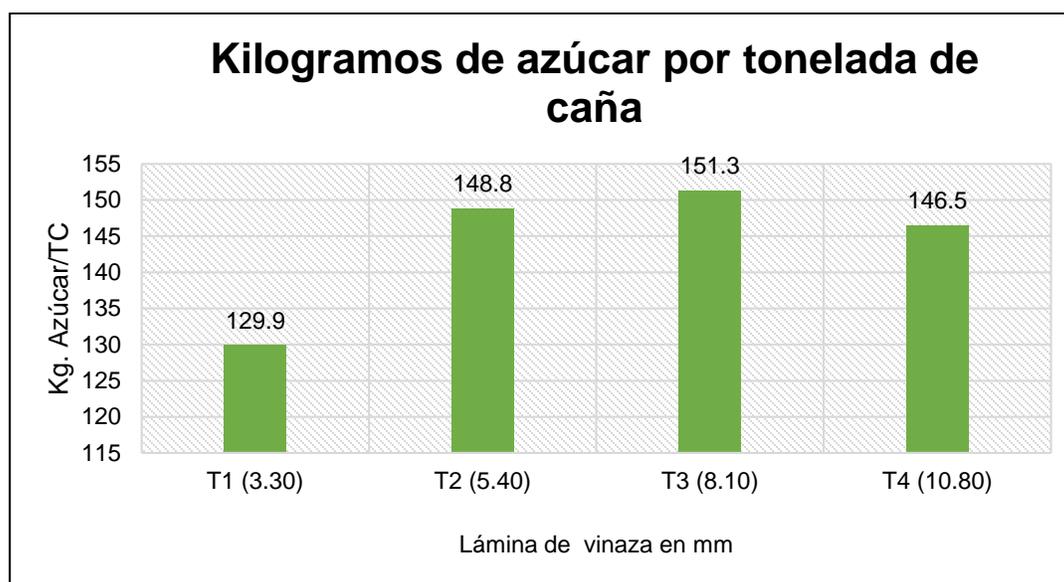


Figura 25. Rendimiento de azúcar por tonelada de caña de los tratamientos de láminas de vinaza aplicados al suelo.

Según los resultados de la figura veinticinco se observa que a mayor concentración de potasio en la dosis de vinaza hay un incremento significativo en cuanto a rendimiento comparando el T1 con el T3 se tiene un incremento de 16.47 por ciento (21.4 kg. Az/TC), del T3 al T4 hubo un decremento de 3.17 por ciento (4.8 kg. Az/TC). Comparando los resultados de rendimiento de toneladas de caña por hectárea el T4 fue el mejor con 118.57 de ton. caña/ha, pero en kilogramos de azúcar por tonelada de caña descendió, por lo cual se interpreta que a una saturación de potasio en el suelo de 10 por ciento se ve afecta en la producción de azúcar por tonelada de caña.

6.3 Evaluación del efecto de la lámina de vinaza sobre la calidad de jugo de caña *S. officinarum*

6.3.1 Evaluación de la pureza del jugo de caña de azúcar

Los resultados de pureza al ser porcentaje se transformaron a continuo utilizando la formula Arco seno \sqrt{x} y se presentan:

Tabla 30. Medias de cada tratamiento evaluado de la variable calidad del azúcar (pureza del jugo de caña de azúcar).

Trat.	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Bloque V	Sumatoria	Medias
1 (3.3 mm)	70.98	71.41	71.37	69.94	68.76	352.47	70.49
2 (5.4 mm)	72.44	71.76	73.55	70.29	70.89	358.93	71.79
3 (8.10 mm)	74.64	69.79	73.50	68.73	72.45	359.10	71.82
4 (10.80 mm)	68.76	69.79	71.06	64.30	72.38	346.29	69.26

Se tiene los resultados de la pureza del jugo de caña de azúcar expresando la media de cada tratamiento, según las medias el tratamiento dos y tres son los más altos en pureza. Para determinar si hay diferencia significativa de un tratamiento con otro se realizó el análisis de varianza y se presenta a continuación:

Tabla 31. Análisis de varianza de la pureza del jugo de caña de azúcar.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	60.68	7	8.67	2.86	0.0531
Tratamiento	22.42	3	7.47	2.46	0.1127 N.s
Repeticiones	38.27	4	9.57	3.15	0.0548
Error	36.42	12	3.03		
Total	97.1	19			

Se trabajó con un nivel de confianza del 95 por ciento y un nivel de significancia de $\alpha = 5$ por ciento, según los resultados no hay diferencia significativa entre tratamientos ya que el p-valor es mayor al 0.05, por tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa. A continuación, se compara la media de cada tratamiento.

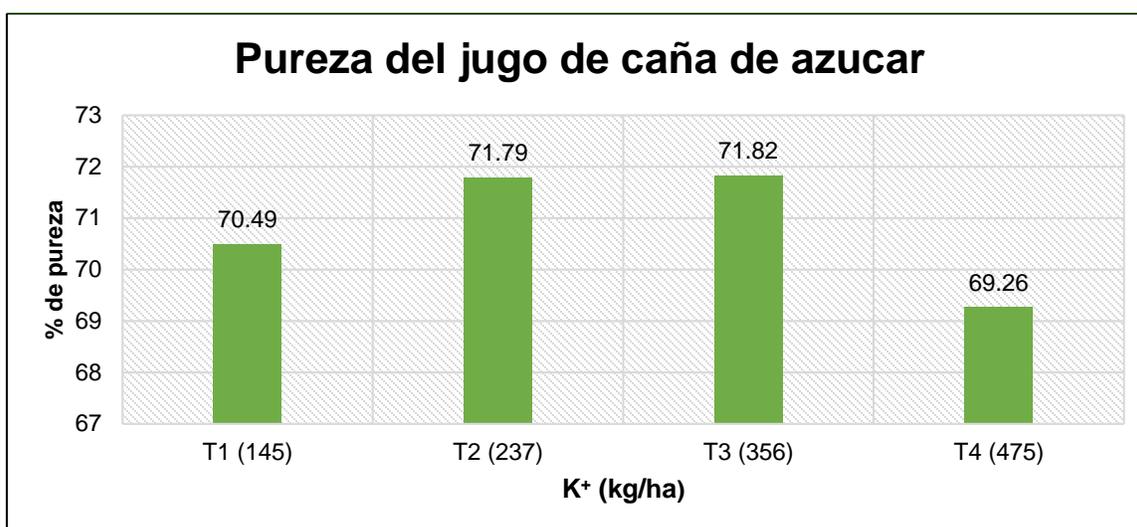


Figura 26. Pureza del jugo de cada azúcar de cada tratamiento de lámina de vinaza.

Se observa que el T2 y T3 son los más altos en pureza del jugo de caña de azúcar, así mismo se aprecia que a mayor concentración de vinaza la calidad del azúcar va en descenso ya que el T4 es el más bajo. El T2 corresponde a una lámina de vinaza de 5.4 mm con una dosis de 237.6 (kg K⁺/ha), el T3 corresponde a una lámina de vinaza de 8.1 mm con una dosis de 356.4 y el T4 corresponde a una lámina de vinaza de 10.8 mm con una dosis de 475.2 (kg K⁺/ha). Consecuentemente la alta concentración de potasio en el

suelo reduce la pureza de jugo de caña de azúcar incrementando impurezas en su calidad y se ve reflejado el T4.

6.3.2 Evaluación de los grados Brix del jugo de caña de azúcar

Los resultados de pureza al ser porcentaje se transformaron a continuo utilizando la formula Arco seno \sqrt{x} y se presentan:

Tabla 32. Medias de cada tratamiento evaluado de la variable calidad del azúcar (grados Brix).

Trat.	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Bloque V	Sumatoria	Medias
1 (3.3 mm)	26.13	28.28	28.21	28.69	26.10	137.42	27.48
2 (5.4 mm)	28.11	26.71	28.62	27.42	28.56	139.41	27.88
3 (8.10 mm)	28.52	28.45	27.24	27.10	28.79	140.11	28.02
4(10.80 mm)	27.80	27.83	26.17	29.50	27.94	139.24	27.85

Se tiene los resultados en grados Brix del jugo de caña de azúcar expresándolo la media de cada tratamiento, según los resultados el tratamiento tres tiene el contenido mal alto de grados Brix. Para determinar si hay diferencia significativa de un tratamiento con otro se realizó el análisis de varianza y se presenta:

Tabla 33. Análisis de varianza de los grados Brix del jugo de caña de azúcar.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.7	7	0.24	0.18	0.9843
Tratamiento	0.79	3	0.26	0.2	0.8967 N.s
Repeticiones	0.91	4	0.23	0.17	0.9498
Error	16.13	12	1.34		
Total	17.84	19			

Se trabajó con un nivel de confianza del 95 por ciento y un nivel de significancia de $\alpha = 5$ por ciento, según los resultados no hay diferencia significativa entre tratamientos ya que el p-valor es mayor al 0.05, por tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa. En la figura veintisiete se compara la media de cada tratamiento.

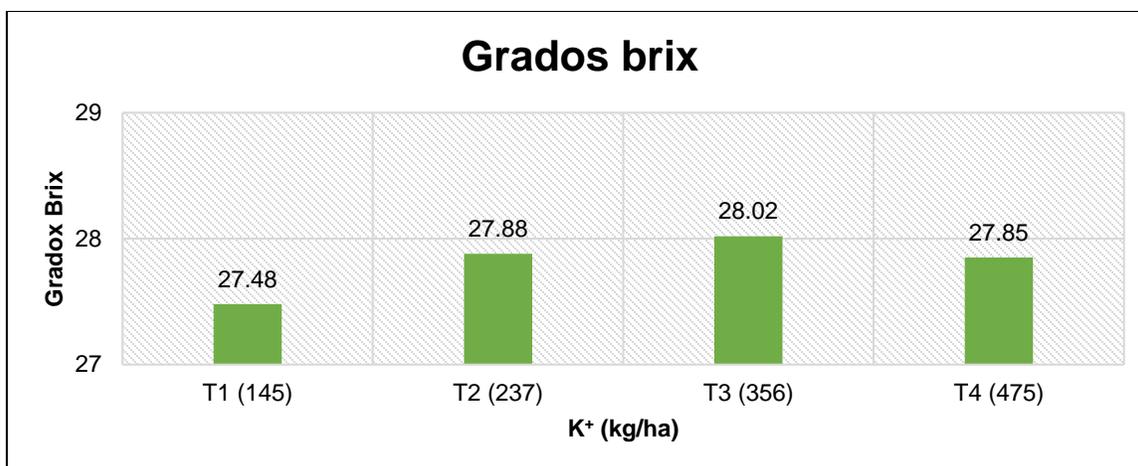


Figura 27. Grados Brix del jugo de cada azúcar de cada tratamiento de lámina de vinaza.

Se observa que el tratamiento tres es el más alto con 22.08 grados Brix mayor cantidad de sólidos totales solubles del resto de los tratamientos, así mismo se aprecia que el tratamiento cuatro con una concentración más alta de vinaza descendió con 27.85 grados Brix menor cantidad de sólidos totales solubles. El tratamiento tres corresponde a una lámina de vinaza de 8.10 mm con una dosis de potasio 356.4 kilogramos/ha. y el tratamiento cuatro con una lámina de 10.80 mm de vinaza dosis de potasio 475.2 kilogramos/ha.

6.3.3 Evaluación del Pol caña del jugo de caña de azúcar

El Pol de jugo de caña es el contenido de sacarosa en el jugo determinada por la medición de la polarización. Los resultados de pureza al ser porcentaje se transformaron a continuo utilizando la formula Arco seno \sqrt{x} y se presentan:

Tabla 34. Promedio del resultado de la variable calidad de azúcar expresado el Pol de caña.

Trat.	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Bloque V	Sumatoria	Medias
1 (3.3 mm)	21.80	23.11	23.05	23.22	20.67	111.85	22.37
2 (5.4 mm)	22.44	21.91	23.85	21.78	23.42	113.40	22.68
3 (8.10 mm)	23.56	22.83	22.88	21.62	23.49	114.40	22.88
4 (10.80 mm)	22.30	22.52	21.54	22.99	23.14	112.49	22.50

Se tiene los resultados de Pol caña del jugo de caña de azúcar expresando la media de cada tratamiento, según los resultados el tratamiento tres es el más alto en Pol caña. Para determinar si hay diferencia significativa de un tratamiento con otro se realizó el análisis de varianza y se presenta:

Tabla 35. Análisis de varianza de Pol caña del jugo de caña de azúcar.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.14	7	0.16	0.16	0.9881
Tratamiento	0.73	3	0.24	0.24	0.864 N.s.
Repeticiones	0.42	4	0.1	0.1	0.9788
Error	11.95	12	1		
Total	13.09	19			

Se trabajó con un nivel de confianza del 95 por ciento y un nivel de significancia de $\alpha = 5$ por ciento, según los resultados no hay diferencia significativa entre tratamientos ya que el p-valor es mayor al 0.05, por tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa. A continuación, compara la media de cada tratamiento.

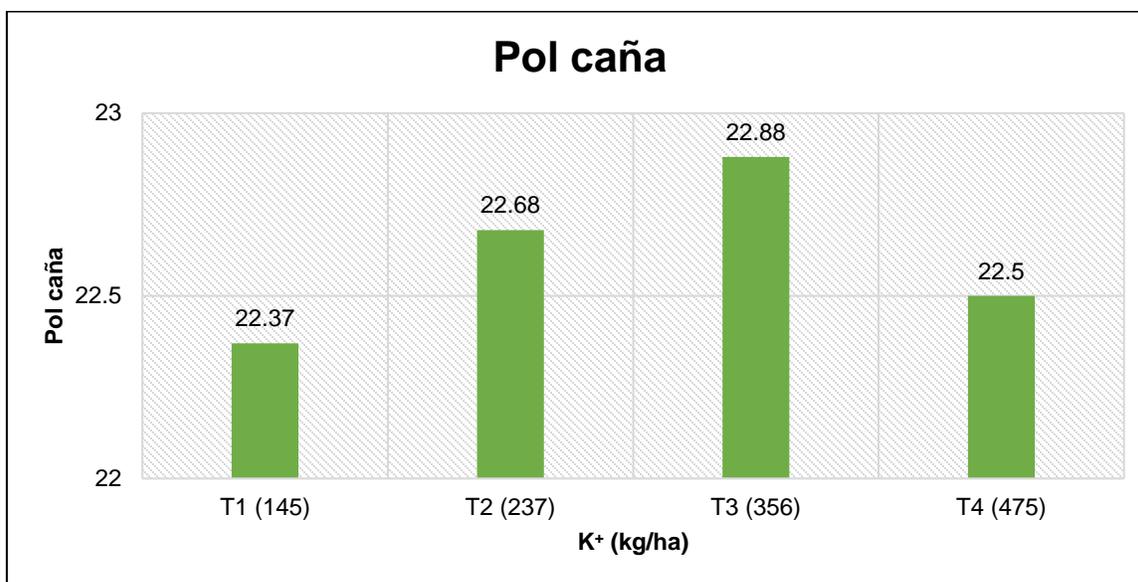


Figura 28. Porcentaje de Pol caña del jugo de cada azúcar obtenido en cada tratamiento de lámina de vinaza.

Se observa que el tratamiento tres es el más alto con 22.88 de Pol caña se refiere a un contenido más alto de sacarosa presente en el jugo de caña de azúcar del resto de los tratamientos, así mismo se aprecia que el tratamiento cuatro con una concentración más alta de potasio descendió con 22.50 de Pol se refiere a una menor cantidad de sacarosa presente en el jugo de caña de azúcar. El tratamiento tres corresponde a una lámina de vinaza de 8.10 mm con una dosis de potasio 356.4 kilogramos/ha. y el tratamiento cuatro con una lámina de 10.80 mm de vinaza dosis de potasio 475.2 kilogramos/ha.

Se presenta un resumen de las variables evaluadas para determinar cuál es el mejor tratamiento para resolver la problemática de saturación de potasio en el suelo.

Tabla 36. Medias de rendimiento de caña (TCH), producción de azúcar (kg Az/TC), pureza de jugo de caña, grados Brix y Pol caña y prueba de medias Tukey en caña plantía.

Trat.	Tiempo de riego en minutos	Saturación K	Rend. TCH	Prod. Azúcar/TC	Pureza	Brix	Pol
3.3 mm	20	4.62 A	67.66 C	129.9 A	70.49 A	27.48 A	22.37 A
5.4 mm	30	6.39 AB	80.51 BC	148.8 A	71.79 A	27.88 A	22.68 A
8.1 mm	45	9.33 BC	96.52 AB	151.3 A	71.82 A	28.02 A	22.88 A
10.8 mm	60	10.06 C	118.57 A	146.5 A	69.26 A	27.85 A	22.50 A

El Ingenio Tululá tiene problemas en fábrica en la cristalización del azúcar si la saturación de potasio en el suelo supera el siete por ciento, por tanto, según la prueba de medias Tukey los dos mejores tratamientos son el T1 y T2, y son los únicos dos tratamientos que no superan el siete por ciento de saturación de potasio en el suelo. El T1 lámina de 3.3 mm de vinaza con una dosis de potasio de 145.2 kg/ha aplicado en un tiempo de riego de 20 minutos y el T2 lámina de 5.4 mm de vinaza con una dosis de potasio de 237.6 kg/ha aplicado en un tiempo de riego de 30 minutos.

En cuanto a reacciones químicas del suelo en pH de inicio con el final de cosecha de la tabla 14, página 51, el T1 incremento 0.19 de pH, el T2 0.20 de pH, el T3 0.22 de pH y el T4 0.34 de pH, por lo tanto, cada lámina de vinaza es mejorador en pH. En conductividad eléctrica de inicio con el final de cosecha de la tabla catorce ninguno de los tratamientos de láminas de vinaza supera 1 dS m^{-1} , por lo tanto, no se da un incremento significativo en sales.

En rendimiento de toneladas de caña por hectárea (TCH) el T4 es el mejor según la prueba de medias Tukey, pero al relacionarlo con la producción de azúcar por tonelada de caña (kg Az/TC) se observa que tuvo un decremento de 3.17 por ciento (4.8 kg de azúcar/TC) estando por debajo del T2 y T3, por consiguiente, a mayor concentración de potasio en el suelo se observa un incremento en TCH, pero un decremento en (kg Az/TC) en la lámina 10.80 mm.

En relación a pureza de jugo de caña de azúcar, grados Brix, Por caña con la saturación de potasio en el suelo se observa que en las tres variables evaluadas no hay diferencia significativa según los análisis de varianza, pero si hay un incremento hasta el T3 y luego desciende. Por lo tanto, el T4 no es recomendable porque su alto contenido de potasio en el suelo reduce la calidad del azúcar (sacarosa).

Al realizar los análisis de la tabla 36 se determina que el mejor tratamiento es el T2, porque la media de saturación de potasio es de 6.39 por ciento, un rendimiento de 80.21 toneladas de caña por hectárea, un rendimiento de 12.01 toneladas de azúcar por hectárea y una producción de 148.8 kilogramos de azúcar por tonelada de caña producida. En el Ingenio Tululá para el cultivo de caña de azúcar en plantía se espera un rendimiento de 80 a 100 toneladas de caña por hectárea y una producción de azúcar de 137 a 160 kg de azúcar por tonelada de caña producida. Por tanto, el T2 corresponde a una lámina de vinaza de 5.4 mm con una dosis de potasio de 237.6 kg/ha en un tiempo de aplicación de 30 minutos con una presión de salida del hidrante de 51 PSI.

6.4 Realización del análisis de costos de aplicación de vinaza por hectárea de cada tratamiento evaluado.

Tabla 37. Costo de aplicación por hectárea de cada lámina de vinaza de la evaluación realizada.

Tratamiento	Tiempo de riego (minutos)	Porcentaje de saturación de Potasio	Costo total por 12 horas de trabajo Q	Avance de aplicación en 12 horas de trabajo por hectárea	Costo/ha Q
T1 (lámina 3.3 mm)	20	4.62	2522.70	10.80	233.58
T2 (lámina 5.4 mm)	30	6.39	1900.57	8.0	237.57
T3 (lámina 8.10 mm)	45	9.33	1589.49	5.5	288.99
T4 (lámina 10.8 mm)	60	10.06	1433.95	4.0	358.49

Se tiene los costos por hectárea de cada lámina de vinaza, siendo el T1 lámina 3.3 mm el costo más bajo de Q 233.58 de los cuatro tratamientos, por consiguiente, se tiene un avance de aplicación de 10.80 hectáreas en 12 horas de trabajo y según los resultados de laboratorio en saturación de potasio se encuentra en 4.62 después de la aplicación de vinaza al suelo y previo a la aplicación se encontraba en 5.74, por tanto, no se tuvo incremento en saturación de potasio pero en rendimiento de tonelada de caña por hectárea se obtuvo 67.66 y en kilogramos de azúcar por tonelada 129.90 y en esa área se esperaba un rendimiento de 80 toneladas de caña por hectárea.

El T2 lámina 5.4 mm su costo por hectárea es de Q 237.57 y se tiene un avance de aplicación de 8.0 hectáreas en 12 horas de trabajo y según los resultados de laboratorio en saturación de potasio se encuentra en 6.39 después de la aplicación de vinaza al suelo y previo a la aplicación se encontraba en 5.74, y en rendimiento de tonelada de caña por hectárea se obtuvo 80.51 y en kilogramos de azúcar por tonelada 148.80, por tanto, es el rendimiento esperado para esa área y la saturación de potasio está por debajo del siete por ciento, por lo cual se evita problemas en fábrica en el proceso de cristalización del azúcar, siendo el tratamiento adecuado por los resultados anteriormente mencionados. Los costos de aplicación de cada lámina de vinaza se presentan en la tabla 39, 40, 41 y 42 en anexos.

VII. CONCLUSIONES

1. El efecto de las láminas de vinaza sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo mostró que, al incrementar la lámina de vinaza, se incrementa el pH del suelo, modificándose el pH de 6.76 antes de las aplicaciones a 6.95, 6.96, 6.96 y 7.10 después de las aplicaciones de vinaza con las láminas de 3.3, 5.4, 8.10 y 10.80 mm/ha. En cuanto a conductividad eléctrica de inicio con el final de los cuatro tratamientos de vinaza ninguno supera 1 ds/m, por tanto, se clasifica como un suelo libre de sales.
2. La lámina de vinaza de 3.3 y 5.4 mm no sobrepasan el límite superior de saturación de potasio del siete por ciento, mientras que con las láminas 8.1 y 10.80 mm su porcentaje de saturación de potasio es de 9.35 y 10.06 por ciento; mientras que con las láminas de vinaza de 8.10 y 10.80 mm se da un desequilibrio en el suelo de las bases calcio y magnesio con relación al potasio.
3. El mayor rendimiento de *S. officinarum* expresado en toneladas de caña por hectárea corresponde a la lámina de vinaza 10.8 mm, con 118.57 Tn caña/Ha, produciendo 17.32 Tn Azúcar/ha; mientras que el mayor rendimiento de azúcar por tonelada de caña corresponde a la lámina 8.10 mm, con 151.3 kg Az/TC.
4. En calidad del azúcar no hubo diferencia significativa en las variables pureza del jugo de caña de azúcar, grados Brix y Pol caña. A mayor concentración de potasio en el suelo disminuye la pureza de jugo de caña de azúcar en sólidos totales solubles y en sacarosa de la lámina 10.8 mm.
5. La lámina de 8.1 mm de vinaza fue la que mejores resultados presentó en cuanto a los rendimientos de caña de azúcar y calidad de jugo, sin embargo, la saturación de potasio en el suelo llega al límite superior permitido en fábrica siendo el adecuado la lámina 5.4 mm.

6. La lámina de 3.3 mm de vinaza tiene el costo más bajo de aplicación de Q 233.58, pero el adecuado es la lámina 5.4 mm de vinaza con un costo de Q 237.57.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Se sugiere utilizar la lámina 5.4 mm de vinaza por los resultados favorables que se obtuvieron en saturación de potasio y rendimiento de toneladas de caña de azúcar y kilogramos de azúcar por tonelada de caña.
2. Realizar evaluación de pH y conductividad eléctrica a las áreas de aplicación de vinaza para no tener problemas en el complejo de cambio y salinidad en el suelo para que los elementos de la vinaza estén disponibles para la planta.
3. Realizar evaluación de análisis del suelo con relación al potasio presente antes de la aplicación de vinaza en las fincas comerciales para no tener problemas de saturación de potasio con respecto al CIC.
4. Realizar evaluaciones periódicamente con respecto a la cantidad de milímetros de vinaza que se aplica al cultivo con la ayuda de pluviómetros o por el método volumétrico.
5. Realizar evaluaciones de análisis de saturación de bases en el suelo donde se realizó la evaluación de cuatro láminas de vinaza hasta por tres años para conocer el comportamiento durante el tiempo de la lámina recomendada de 5.4 mm.
6. Se sugiere realizar una investigación similar en otra finca con condiciones de suelos diferentes a la que se hizo la investigación, para determinar si hay un efecto cambiante en las propiedades fisicoquímicas del suelo, saturación de potasio, rendimiento en toneladas de caña por hectárea, producción de azúcar por tonelada de caña y calidad del jugo de caña.

IX. REFERENCIAS

- Análisis de suelos, plantas y aguas de Anacafé. Analab. (2024). *Resultado de análisis fisicoquímico del suelo en el ingenio Tululá S.A. San Andrés Villa Seca, Retalhuleu.*
- Blanco, J. O. (1994). *Propiedades físicas y químicas del suelo.*
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/31547/59515_51617.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=19
- Carneiro, C.E., Fioretto, R., Fonseca, I.C., Neves, C.S. y Silva, A.J. (2004). *Alteraciones químicas en el suelo inducidas por aplicación superficial de paja de caña de azúcar, caliza y vinaza.*
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2004v25n4p265>
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. CENGICANA. (2014). *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala.*
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=572719>
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. CENGICANA. (2017). *Guía de buenas prácticas agrícolas en caña de azúcar.*
<https://cengicana.org/files/20170425171748989.pdf>
- Conti, M. E. (2011). *Dinámica de la liberación y fijación de Potasio en el suelo.*
[http://lacs.ipni.net/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/\\$FILE/AA%204.pdf](http://lacs.ipni.net/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/$FILE/AA%204.pdf)
- Cole, E.J., Zandvakili, O.R., Xing, B., Hashemi, M., Allen, V. y Herbert S.J., (2019). *Effects of hardwood biochar on soil acidity, nutrient dynamics, and sweet corn productivity. Communications in Soil Science and Plant Analysis.*
<https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1632343>
- Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. CONADESUCA. (2016). *Vinaza alternativa de usos.*
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171932/Nota_Informativa_Septiembre_Vinazas.pdf

- Cronquist, A. (1981). *An integrated system of classification of flowering plants*. Columbia University Press.
- Destiladora de Rones y Alcoholes, S.A. DARSA. (2023). *Resultado de análisis químico de vinaza, en el Ingenio Tuluá S.A.* San Andrés Villa Seca, Retalhuleu.
- Duarte, O. y González, J. (2019). *Guía técnica del cultivo de caña de azúcar*. https://www.jica.go.jp/Resource/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_01.pdf
- García, C. y Rojas, C. (2006). *Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura* file:///C:/Users/elektra/Downloads/posibilidades-de-uso-de-la-vinaza-en-la-agricultura-de-acuerdo-con.pdf
- Korndörfer, G., Nolla, A., Waldo, A. y Lara, C. (2004). *Impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo en: Encuentro sobre vinazas, Potasio y elementos menores para una agricultura sostenible*, 233 p.
- Lazcano, I. (1999). *El Potasio esencial para un buen rendimiento en la caña de azúcar*. [http://www.ipni.net/publication/ialahp.nsf/0/BD77D68F8FFC16AB852579A3007A3346/\\$FILE/EI%20potasio.pdf](http://www.ipni.net/publication/ialahp.nsf/0/BD77D68F8FFC16AB852579A3007A3346/$FILE/EI%20potasio.pdf)
- León, L. (2018). *Caracterización Químico-Física de vinazas de destilerías*. <https://www.redalyc.org/journal/1813/181358410001/html/#:~:text=En%20el%20proceso%20de%20obtenci%C3%B3n%20industrial%20de%20alcohol,mayor%20efecto%20contaminante%20sobre%20la%20flora%20y%20fauna>.
- Molina, C. (2012). *Biodegradación anaeróbica de vinaza generada en la destilería Soderal y aprovechamiento de gases de efecto invernadero*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2029/13/UPS-GT000279.pdf>
- Montenegro, S. P. (2008). *Influencia de la aplicación de vinaza sobre la presencia, actividad y biomasa microbiana del suelo en el cultivo de maíz dulce (Zea mays)*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2475/7005004.2008.pdf?sequence=1>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. (2024). *Propiedades químicas del suelo*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/#:~:text=La%20Capacidad%20de%20Intercambio%20Cati%C3%B3nico,K%2C%20NH4%20etc.>

Soriano, M. D. (2018). *Potencial de Hidrógeno del suelo*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102382/Soriano%20-%20pHdel%20suelo.pdf>

Soriano, M. D. (2018). *Conductividad Eléctrica del suelo*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102382/Soriano%20-%20pHdel%20suelo.pdf>

Soriano, M. D. (2018). *Bases de cambio en el suelo*. <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105101/Soriano%20-%20Bases%20de%20cambio%20en%20el%20suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tarjuelo, J. (2005). *Riego por aspersion*. <https://es.scribd.com/doc/201869111/633281-tarjuelo-pdf-Riego-Par-Aspersion>

Vo.Bo. _____

Lcda. Ana Teresa de González.

Bib. Téc. Ciencias Inf. Doc. CUNSUROC.



X. ANEXOS

Tabla 38. Puntos de ubicación georreferenciados en coordenadas GTM de cada tratamiento evaluado.

id	Lote	Tratamiento	X	Y
1	0050303	T1	0378713	1597195
2	0050305	T2	0378909	1597197
3	0050303	T3	0378828	1597198
4	0050303	T4	0378771	1597200
5	0050303	T1	0378775	1597139
6	0050303	T2	0378719	1597142
7	0050305	T3	0378911	1597137
8	0050303	T4	0378827	1597136
9	0050303	T1	0378831	1597079
10	0050305	T2	0378924	1597080
11	0050303	T3	0378777	1597081
12	0050303	T4	0378719	1597084
13	0050305	T1	0378916	1597025
14	0050303	T2	0378781	1597027
15	0050303	T3	0378724	1597025
16	0050303	T4	0378835	1597027
17	0050303	T1	0378725	1596967
18	0050305	T2	0378920	1596964
19	0050303	T3	0378837	1596966
20	0050303	T4	0378782	1596967

Tabla 39. Costo de aplicación de lámina de vinaza 3.3 mm de 10.80 hectárea en 12 horas de trabajo.

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario Q	Total Q
Operadores de cambio de ramal	Jornal	11	102.44	1,126.84
Liniero	Jornal	1	102.44	102.44
Operador de hidrante	Jornal	1	102.44	102.44
Tractorista	Jornal	1	102.44	102.44
Horas extras	horas	42	17.70	743.40
Total de mano de obra	-	-	-	2,177.56
Insumos	-	-	-	-
Vinaza	346.5 m ³	Sin costo	-	0
Combustible	Galones	12.24	28.20	345.17
Total de insumos	-	-	-	345.17
Costo total	-	-	-	2,522.70

Observación: En la aplicación del riego de vinaza en campo se trabaja 12 horas, y el avance es de 10.8 hectáreas en un tiempo de aplicación por ramal de 20 minutos. Cada ramal está comprendido por cuatro aspersores cubriendo un área de 0.48 hectárea.

$Q 2,522.70 / 10.80 \text{ hectárea día} = Q 233.58 \text{ por hectárea aplicada de vinaza.}$

Tabla 40. Costos de aplicación de lámina de vinaza 5.4 mm de 8.0 hectárea en 12 horas de trabajo.

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario Q	Total Q
Operadores de cambio de ramal	Jornal	7	102.44	717.08
Liniero	Jornal	1	102.44	102.44
Operador de hidrante	Jornal	1	102.44	102.44
Tractorista	Jornal	1	102.44	102.44
Horas extras	horas	30	17.70	531.00
Total de mano de obra	-	-	-	1555.40
Insumos	-	-	-	-
Vinaza	405 m ³	Sin costo	-	0
Combustible	Galones	12.24	28.20	345.17
Total de insumos	-	-	-	345.17
Costo total	-	-	-	1,900.57

Observación: En la aplicación del riego de vinaza en campo se trabaja 12 horas, y el avance es de 8.0 hectáreas en un tiempo de aplicación por ramal de 30 minutos. Cada ramal está comprendido por cuatro aspersores cubriendo un área de 0.48 hectárea.

$Q 1900.57 / 8.0 \text{ hectárea día} = Q 237.57 \text{ por hectárea aplicada de vinaza.}$

Tabla 41. Costos de aplicación de la lámina de vinaza 8.10 mm de 5.5 hectáreas en 12 horas de trabajo.

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario Q	Total Q
Operadores de cambio de ramal	Jornal	5	102.44	512.20
Liniero	Jornal	1	102.44	102.44
Operador de hidrante	Jornal	1	102.44	102.44
Tractorista	Jornal	1	102.44	102.44
Horas extras	horas	24	17.70	424.80
Total de mano de obra	-	-	-	1,244.32
Insumos	-	-	-	-
Vinaza	405 m ³	Sin costo	-	0
Combustible	Galones	12.24	28.20	345.17
Total de insumos	-	-	-	345.17
Costo total	-	-	-	1589.49

Observación: En la aplicación del riego de vinaza en campo se trabaja 12 horas, y el avance es de 5.5 hectáreas en un tiempo de riego de 45 minutos. Cada ramal está comprendido por cuatro aspersores cubriendo un área de 0.48 hectárea.

$Q 1589.49 / 5.5 \text{ hectárea día} = Q 288.99 \text{ por hectárea aplicada de vinaza.}$

Tabla 42. Costos de aplicación de lámina de vinaza 10.80 mm de 4 hectáreas en 12 horas de trabajo.

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario Q	Total Q
Operadores de cambio de ramal	Jornal	4	102.44	409.76
Liniero	Jornal	1	102.44	102.44
Operador de hidrante	Jornal	1	102.44	102.44
Tractorista	Jornal	1	102.44	102.44
Horas extras	horas	21	17.70	371.70
Total de mano de obra	-	-	-	1,088.78
Insumos	-	-	-	-
Vinaza	432 m ³	Sin costo	-	0
Combustible	Galones	12.24	28.20	345.17
Total de insumos	-	-	-	345.17
Costo total	-	-	-	1,433.95

Observación: En la aplicación del riego de vinaza en campo se trabaja 12 horas, y el avance es de 4 hectáreas en un tiempo de riego de 60 minutos. Cada ramal está comprendido por cuatro aspersores cubriendo un área de 0.48 hectárea.

Q 1433.95 / 4 hectárea día= Q 358.49

Tabla 43. Costos de mano de obra y de insumos de la investigación en finca Santa Julia sección tres.

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario Q	Total Q
Mano de obra	-	-	-	-
Trazado	Jornal	4	98.22	392.88
Muestreo de suelo de inicio	Jornal	2	98.22	196.44
Instalación del sistema de riego y aplicación	Jornal	10	98.22	982.2
Muestreo de suelo análisis pH y CE	Jornal	6	98.22	589.32
Muestreo de rendimientos	Jornal	3	102.44	307.32
Muestreo de precosecha	Jornal	2	102.44	204.88
Muestreo de suelo final	Jornal	2	102.44	204.88
Total mano de obra	-	-	-	2,877.92
Insumos	-	-	-	-
Vinaza T1	m ³	20.72	Sin costo	0
Vinaza T2	m ³	33.92	Sin costo	0
Vinaza T3	m ³	50.87	Sin costo	0
Vinaza T4	m ³	67.83	Sin costo	0
Análisis de suelo de inicio	Analab	5	345	1,725.00
Análisis de suelo final	Analab	20	345	6,900.00
Análisis de textura del suelo	Analab	2	180	360.00
Total de insumos	-	-	-	8,985.00
Costo Total	-	-	-	11,862.92

Tabla 44. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento uno de lado A.

Fecha	23/04/2023	Presión Final (PSI)	30 PSI
Finca	S. Julia	Sección	3
Aspersor	Trigón 105WW	Marco de riego	20 mts
Diámetro de boquilla	16 mm	Diámetro del receptor	0.145 mts
Hora de inicio	13:17 PM	Velocidad del viento	6.5 Norte
Hora final	13:37 PM	Lámina requerida	3.3 mm
Tiempo de riego	20 minutos	Lámina captada	3.28 mm
Presión de Inicio (PSI)	51 PSI	Altura del porta aspersor	2.0 mts

No.	Pluviómetro ml	No.	Pluviómetro ml
1	0	16	30
2	15	17	35
3	25	18	80
4	55	19	85
5	70	20	90
6	30	21	35
7	30	22	40
8	50	23	75
9	80	24	75
10	85	25	80
11	35		
12	45		
13	65		
14	70		
15	75		

Datos de la velocidad del viento	Lecturas			
Tiempo	15	30	45	60
Vel. Viento (m/s)	6.5	N.S	N.S	N.S
Dirección del viento	Norte	N.S	N.S	N.S

Tabla 45. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento uno de lado B.

Fecha	23/04/2023	Presión Final (PSI)	30 PSI
Finca	S. Julia	Sección	3
Aspersor	Trigón 105WW	Marco de riego	20 mts
Diámetro de boquilla	16 mm	Diámetro del receptor	0.145 mts
Hora de inicio	13.17 PM	Velocidad del viento	6.5 mph
Hora final	13.37 PM	Lámina requerida	3.30 mm
Tiempo de riego	20 minutos	Lámina captada	3.46 mm
Presión de Inicio (PSI)	51 PSI	Altura del porta aspersor	2.0 mts

No.	Pluviómetro ml	No.	Pluviómetro ml
1	60	16	75
2	55	17	65
3	50	18	55
4	50	19	55
5	55	20	50
6	65	21	70
7	50	22	65
8	45	23	65
9	45	24	65
10	50	25	70
11	65		
12	55		
13	50		
14	45		
15	55		

Datos de la velocidad del viento		Lecturas			
Tiempo	15	30	45	60	
Vel. Viento (m/s)	6.5	N.S	N.S	N.S	
Dirección del viento	Norte	N.S	N.S	N.S	

Tabla 46. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento dos de lado A.

Fecha	23/04/2023	Presión Final (PSI)	30 PSI
Finca	S. Julia	Sección	3
Aspersor	Trigón 105WW	Marco de riego	20 mts
Diámetro de boquilla	16 mm	Diámetro del receptor	0.145 mts
Hora de inicio	14:29	Velocidad del viento	6.9 mph
Hora final	14:59	Lámina requerida	5.40 mm
Tiempo de riego	30 minutos	Lámina captada	5.36 mm
Presión de Inicio (PSI)	51 PSI	Altura del porta aspersor	2.0 mts

No.	Pluviómetro ml	No.	Pluviómetro ml
1	0	16	65
2	40	17	80
3	65	18	110
4	100	19	120
5	105	20	125
6	45	21	65
7	65	22	85
8	90	23	110
9	110	24	125
10	120	25	135
11	40		
12	75		
13	95		
14	115		
15	125		

Datos de la velocidad del viento		Lecturas			
Tiempo	15	30	45	60	
Vel. Viento (m/s)	6.8	7.1	N.S	N.S	
Dirección del viento	Este	Este	N.S	N.S	

Tabla 47. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento dos de lado B.

Fecha	23/04/2023	Presión Final (PSI)	30 PSI
Finca	S. Julia	Sección	3
Aspersor	Trigón 105WW	Marco de riego	20 mts
Diámetro de boquilla	16 mm	Diámetro del receptor	0.145 mts
Hora de inicio	14:29 P.M	Velocidad del viento	6.9 mph
Hora final	14:59 P.M	Lámina requerida	5.40 mm
Tiempo de riego	30 minutos	Lámina captada	5.56 mm
Presión de Inicio (PSI)	51 PSI	Altura del porta aspersor	2.0 mts

No.	Pluviómetro ml	No.	Pluviómetro ml
1	100	16	110
2	115	17	105
3	105	18	110
4	70	19	75
5	35	20	55
6	120	21	100
7	110	22	95
8	115	23	105
9	95	24	50
10	80	25	55
11	125		
12	110		
13	95		
14	85		
15	75		

Datos de la velocidad del viento	Lecturas			
Tiempo	15	30	45	60
Vel. Viento (m/s)	6.80	7.10	N.S	N.S
Dirección del viento	Este	Este	N.S	N.S

Tabla 48. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento tres de lado A.

Fecha	23/04/2023	Presión Final (PSI)	30 PSI
Finca	S. Julia	Sección	3
Aspersor	Trigón 105WW	Marco de riego	20 mts
Diámetro de boquilla	16 mm	Diámetro del receptor	0.145 mts
Hora de inicio	15:40 P.M	Velocidad del viento	7.6 mph
Hora final	16:25 P.M	Lámina requerida	8.10 mm
Tiempo de riego	45 minutos	Lámina captada	8.08 mm
Presión de Inicio (PSI)	51 PSI	Altura del porta aspersor	2.0 mts

No.	Pluviómetro ml	No.	Pluviómetro ml
1	0	16	85
2	60	17	150
3	110	18	175
4	135	19	175
5	160	20	180
6	80	21	90
7	100	22	145
8	140	23	150
9	160	24	180
10	170	25	190
11	70		
12	140		
13	160		
14	160		
15	170		

Datos de la velocidad del viento	Lecturas			
Tiempo	15	30	45	60
Vel. Viento (m/s)	7.4	7.6	7.8	N.S
Dirección del viento	Norte	Norte	Norte	N.S

Tabla 49. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento tres de lado B.

Fecha	23/04/2023	Presión Final (PSI)	30 PSI
Finca	S. Julia	Sección	3
Aspersor	Trigón 105WW	Marco de riego	20 mts
Diámetro de boquilla	16 mm	Diámetro del receptor	0.145 mts
Hora de inicio	15:40 P.M	Velocidad del viento	7.8 mph
Hora final	16:25 P.M	Lámina requerida	8.10 mm
Tiempo de riego	45 minutos	Lámina captada	8.30 mm
Presión de Inicio (PSI)	51 PSI	Altura del porta aspersor	2.0 mts

No.	Pluviómetro ml	No.	Pluviómetro ml
1	155	16	175
2	140	17	165
3	145	18	150
4	110	19	130
5	105	20	115
6	160	21	165
7	155	22	160
8	160	23	120
9	125	24	115
10	120	25	110
11	160		
12	150		
13	140		
14	110		
15	90		

Datos de la velocidad del viento	Lecturas			
Tiempo	15	30	45	60
Vel. Viento (m/s)	7.4	7.6	7.8	N.S
Dirección del viento	Este	Este	Este	N.S

Tabla 50. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento cuatro de lado A.

Fecha	23/04/2023	Presión Final (PSI)	30 PSI
Finca	S. Julia	Sección	3
Aspersor	Trigón 105WW	Marco de riego	20 mts
Diámetro de boquilla	16 mm	Diámetro del receptor	0.145 mts
Hora de inicio	17:11 P.M	Velocidad del viento	8.0 mph
Hora final	16:11 P.M	Lámina requerida	10.80 mm
Tiempo de riego	60 minutos	Lámina captada	10.70 mm
Presión de Inicio (PSI)	51 PSI	Altura del porta aspersor	2.0 mts

No.	Pluviómetro ml	No.	Pluviómetro ml
1	0	16	140
2	100	17	170
3	140	18	180
4	170	19	220
5	175	20	255
6	125	21	135
7	180	22	180
8	190	23	200
9	215	24	210
10	230	25	265
11	135		
12	175		
13	170		
14	210		
15	245		

Datos de la velocidad del viento	Lecturas			
Tiempo minutos	15	30	45	60
Vel. Viento (m/s)	7.8	7.9	8.2	8.2
Dirección del viento	Este	Este	Este	Este

Tabla 51. Boleta de registro de los datos obtenidos de los pluviómetros del tratamiento cuatro de lado B.

Fecha	23/04/2023	Presión Final (PSI)	30 PSI
Finca	S. Julia	Sección	3
Aspersor	Trigón 105WW	Marco de riego	20 mts
Diámetro de boquilla	16 mm	Diámetro del receptor	0.145 mts
Hora de inicio	17:11	Velocidad del viento	8.0 mph
Hora final	16:11	Lámina requerida	10.80 mm
Tiempo de riego	20 minutos	Lámina captada	11.10mm
Presión de Inicio (PSI)	51 PSI	Altura del porta aspersor	2.0 mts

No.	Pluviómetro ml	No.	Pluviómetro ml
1	70	16	140
2	100	17	165
3	125	18	200
4	125	19	230
5	160	20	255
6	125	21	135
7	160	22	170
8	175	23	255
9	225	24	260
10	250	25	300
11	130		
12	175		
13	195		
14	220		
15	245		

Datos de la velocidad del viento	Lecturas			
Tiempo minutos	15	30	45	60
Vel. Viento (m/s)	7.8	7.9	8.2	8.2
Dirección del viento	Este	Este	Este	Este

Tabla 52. Resultado del análisis de suelo antes de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

Identificación de la muestra		mg/L	Cmol(+)/L			mg/L		Cmol(+)/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	%	
NO.	Niveles adecuados	pH	P	K	Ca	Mg	B	S	Acidez Intercam.	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.
		5.5-6.5	30-75	0.18-0.38	5-10	0.82-2.05	1-5	10-100	0.3-1.5	1-10	40-250	10-250	2-25	3-6
8694	Bloque I Lote (0050303) y (0050305)	6.96	7.75	0.59	8.09	4.71	2.00	8.34	0.06	4.80	132.94	264.86	2.06	1.93
8695	Bloque II Lote (0050303) y (0050305)	6.93	7.75	0.82	8.05	4.08	1.46	13.63	0.06	5.09	135.85	269.15	2.18	1.86
8696	Bloque III Lote (0050303) y (0050305)	6.65	7.75	0.72	7.67	3.76	1.61	9.73	0.06	5.79	153.19	237.65	2.29	2.88
8697	Bloque IV Lote (0050303) y (0050305)	6.58	7.75	0.78	8.06	3.73	1.32	11.61	0.06	6.67	145.29	217.59	2.83	3.34
8698	Bloque V Lote (0050303) y (0050305)	6.69	7.75	0.77	8.14	4.22	1.56	6.55	0.06	6.17	143.13	222.54	2.84	2.93
Identificación de la muestra		Cmol(+)/L	Porcentaje de saturación en la CICE				Equilibrio de Bases							
NO.	Niveles adecuados	CICE	K	Ca	Mg	A.I.	Ca/K	Mg/k	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K				
		10-15	4-5	34-40	12-15	0-24.9	5-25	2.5-15	2-5	10-40				
8694	Bloque I Lote (0050303) y (0050305)	13.45	4.39	60.15	35.02	0.45	13.71	7.98	1.72	21.69				
8695	Bloque II Lote (0050303) y (0050305)	13.01	6.30	61.88	31.36	0.46	9.82	4.98	1.97	14.79				
8696	Bloque III Lote (0050303) y (0050305)	12.21	5.90	62.82	30.79	0.49	10.65	5.22	2.04	15.88				
8697	Bloque IV Lote (0050303) y (0050305)	12.63	6.18	63.82	29.53	0.48	10.33	4.78	2.16	15.12				
8698	Bloque V Lote (0050303) y (0050305)	13.19	5.84	61.71	31.99	0.45	10.57	5.48	1.93	16.05				

Referencias:
 Rojo= Bajo
 Negro= Adecuado
 Azul= Alto

Fuente: Laboratorio de suelos, plantas y agua de Anacafé. (2023).

Tabla 53. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

Identificación de la muestra		pH	mg/L	Cmol(+)/L			mg/L		Cmol(+)/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	%
NO.	Niveles adecuados	5.5-6.5	P	K	Ca	Mg	B	S	Acidez Intercam.	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.
10277	Bloque I (T1) Lote (0050303)	7.14	0.24	0.96	8.82	5.96	1.92	15.27	0.09	6.30	140.50	270.40	2.61	4.56
10278	Bloque I (T2) Lote (0050305)	6.94	0.24	1.39	7.59	4.14	1.16	12.87	0.07	6.03	138.70	183.30	1.76	4.49
10279	Bloque I (T3) Lote (0050303)	7.11	0.24	1.43	7.00	3.87	1.12	20.94	0.07	4.16	88.65	223.10	2.03	3.00
10280	Bloque I (T4) Lote (0050303)	7.44	0.24	1.68	8.75	4.99	1.61	17.17	0.07	5.69	105.90	209.20	1.63	4.58
10281	Bloque II (T1) Lote (0050303)	7.07	0.24	0.89	9.51	5.00	1.48	11.17	0.07	7.08	138.20	191.10	2.91	4.15
Identificación de la muestra		Cmol(+)/L	Porcentaje de saturación en la CICE				Equilibrio de Bases							
NO.	Niveles adecuados	CICE	K	Ca	Mg	A.I.	Ca/K	Mg/k	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K				
10277	Bloque I (T1) Lote (0050303)	15.38	6.06	55.72	37.65	0.57	9.19	6.21	1.48	15.40				
10278	Bloque I (T2) Lote (0050305)	13.19	10.54	57.54	31.39	0.53	5.46	2.98	1.83	8.44				
10279	Bloque I (T3) Lote (0050303)	12.37	11.56	56.59	31.29	0.57	4.90	2.71	1.81	7.60				
10280	Bloque I (T4) Lote (0050303)	15.49	10.85	56.49	32.21	0.45	5.21	2.97	1.75	8.18				
10281	Bloque II (T1) Lote (0050303)	15.47	5.75	61.47	32.32	0.45	10.69	5.62	1.90	16.30				

Referencias:

Rojo= Bajo

Negro= Adecuado

Azul= Alto

Fuente: Laboratorio de suelos, plantas y agua de Anacafé. (2024).

Tabla 54. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

Identificación de la muestra		pH	mg/L	Cmol(+)/L			mg/L		Cmol(+)/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	%
NO.	Niveles adecuados	5.5-6.5	P	K	Ca	Mg	B	S	Acidez Intercam.	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.
10282	Bloque II (T2) Lote (0050303)	7.01	0.24	0.83	8.15	4.83	1.50	13.47	0.07	7.11	135.80	182.30	2.98	4.10
10283	Bloque II (T3) Lote (0050305)	6.75	0.24	1.00	6.67	3.48	1.14	13.32	0.07	3.88	96.34	152.60	1.49	3.43
10284	Bloque II (T4) Lote (0050303)	7.05	0.24	1.29	8.70	4.63	1.05	9.33	0.07	6.73	131.50	193.80	2.54	4.78
10285	Bloque III (T1) Lote (0050303)	6.75	0.24	0.29	6.75	3.69	1.00	6.93	0.07	3.62	104.50	183.20	1.52	5.55
10286	Bloque III (T2) Lote (0050305)	6.86	0.24	0.55	8.41	3.82	0.86	8.96	0.06	6.44	111.10	148.20	2.32	4.11

Identificación de la muestra		Cmol(+)/L	Porcentaje de saturación en la CICE				Equilibrio de Bases			
NO.	Niveles adecuados	CICE	K	Ca	Mg	A.I.	Ca/K	Mg/k	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K
10282	Bloque II (T2) Lote (0050303)	13.88	5.98	58.72	34.80	0.50	9.82	5.82	1.69	15.64
10283	Bloque II (T3) Lote (0050305)	11.22	8.91	59.45	31.02	0.62	6.67	3.48	1.92	10.15
10284	Bloque II (T4) Lote (0050303)	14.69	8.78	59.22	31.52	0.48	6.74	3.59	1.88	10.33
10285	Bloque III (T1) Lote (0050303)	10.80	2.69	62.50	34.17	0.65	23.28	12.72	1.83	36.00
10286	Bloque III (T2) Lote (0050305)	12.84	4.28	65.50	29.75	0.47	15.29	6.95	2.20	22.24

Referencias:
 Rojo= Bajo
 Negro= Adecuado
 Azul= Alto

Fuente: Laboratorio de suelos, plantas y agua de Anacafé. (2024).

Tabla 55. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

Identificación de la muestra		pH	mg/L P	Cmol(+)/L K Ca Mg			mg/L B S		Cmol(+)/L Acidez Intercam.	mg/L Cu	mg/L Fe	mg/L Mn	mg/L Zn	% M.O.
NO.	Niveles adecuados	5.5-6.5	30-75	0.18-0.38	5-10	0.82-2.05	1-5	10-100	0.3-1.5	1-10	40-250	10-250	2-25	3-6
10287	Bloque III (T3) Lote (0050303)	7.02	0.24	1.04	8.63	4.00	1.16	11.67	0.06	7.00	118.70	183.30	2.41	7.75
10288	Bloque III (T4) Lote (0050303)	7.12	0.24	1.39	8.07	4.25	1.17	9.78	0.07	7.11	138.40	196.40	3.41	4.14
10289	Bloque IV (T1) Lote (0050305)	6.69	0.24	0.31	6.97	4.23	1.29	12.01	0.05	3.64	90.80	194.60	1.32	5.20
10290	Bloque IV (T2) Lote (0050303)	7.05	0.24	1.17	8.04	4.29	1.13	9.37	0.07	7.24	140.30	176.90	2.86	4.03
10291	Bloque IV (T3) Lote (0050303)	7.14	0.24	1.18	8.44	3.81	0.85	7.06	0.07	7.57	121.20	172.50	2.73	6.79
Identificación de la muestra		Cmol(+)/L CICe	Porcentaje de saturación en la CICe K Ca Mg A.I.				Equilibrio de Bases Ca/K Mg/k Ca/Mg (Ca+Mg)/K							
NO.	Niveles adecuados	10-15	4-5	34-40	12-15	0-24.9	5-25	2.5-15	2-5	10-40				
10287	Bloque III (T3) Lote (0050303)	13.73	7.57	62.86	29.13	0.44	8.30	3.85	2.16	12.14				
10288	Bloque III (T4) Lote (0050303)	13.78	10.09	58.56	30.84	0.51	5.81	3.06	1.90	8.86				
10289	Bloque IV (T1) Lote (0050305)	11.56	2.68	60.29	36.59	0.43	22.48	13.65	1.65	36.13				
10290	Bloque IV (T2) Lote (0050303)	13.57	8.62	59.25	31.61	0.52	6.87	3.67	1.87	10.54				
10291	Bloque IV (T3) Lote (0050303)	13.50	8.74	62.52	28.22	0.52	7.15	3.23	2.22	10.38				

Referencias:

Rojo= Bajo

Negro= Adecuado

Azul= Alto

Fuente: Laboratorio de suelos, plantas y agua de Anacafé. (2024).

Tabla 56. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

Identificación de la muestra		pH	mg/L	Cmol(+)/L			mg/L		Cmol(+)/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	%
NO.	Niveles adecuados	5.5-6.5	P	K	Ca	Mg	B	S	Acidez Intercam.	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.
10292	Bloque IV (T4) Lote (0050303)	6.98	0.24	1.37	7.35	3.60	0.93	9.75	0.06	6.51	131.50	201.90	2.97	3.99
10293	Bloque V (T1) Lote (0050303)	7.12	0.24	0.73	7.26	4.30	1.38	9.11	0.07	6.40	110.00	203.40	2.31	6.15
10294	Bloque V (T2) Lote (0050305)	6.88	0.24	0.27	6.21	4.15	0.63	11.55	0.07	4.04	114.20	205.00	1.87	3.56
10295	Bloque V (T3) Lote (0050303)	6.77	0.24	1.25	7.30	4.08	0.87	8.11	0.06	6.21	141.60	224.20	2.92	5.87
10296	Bloque V (T4) Lote (0050303)	6.90	0.24	1.27	7.39	4.63	1.06	6.57	0.06	5.93	137.30	224.10	2.78	3.46
Identificación de la muestra		Cmol(+)/L	Porcentaje de saturación en la CICE				Equilibrio de Bases							
NO.	Niveles adecuados	CICE	K	Ca	Mg	A.I.	Ca/K	Mg/k	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K				
10292	Bloque IV (T4) Lote (0050303)	10-15	4-5	34-40	12-15	0-24.9	5-25	2.5-15	2-5	10-40				
10292	Bloque IV (T4) Lote (0050303)	12.38	11.07	59.37	29.08	0.48	5.36	2.63	2.04	7.99				
10293	Bloque V (T1) Lote (0050303)	12.36	5.91	58.74	34.79	0.57	9.95	5.89	1.69	15.84				
10294	Bloque V (T2) Lote (0050305)	10.70	2.52	58.04	38.79	0.65	23.00	15.37	1.50	38.37				
10295	Bloque V (T3) Lote (0050303)	12.69	9.85	57.53	32.15	0.47	5.84	3.26	1.79	9.10				
10296	Bloque V (T4) Lote (0050303)	13.35	9.51	55.36	34.68	0.45	5.82	3.65	1.60	9.46				

Referencias:
Rojo= Bajo
Negro= Adecuado
Azul= Alto

Fuente: Laboratorio de suelos, plantas y agua de Anacafé. (2024).

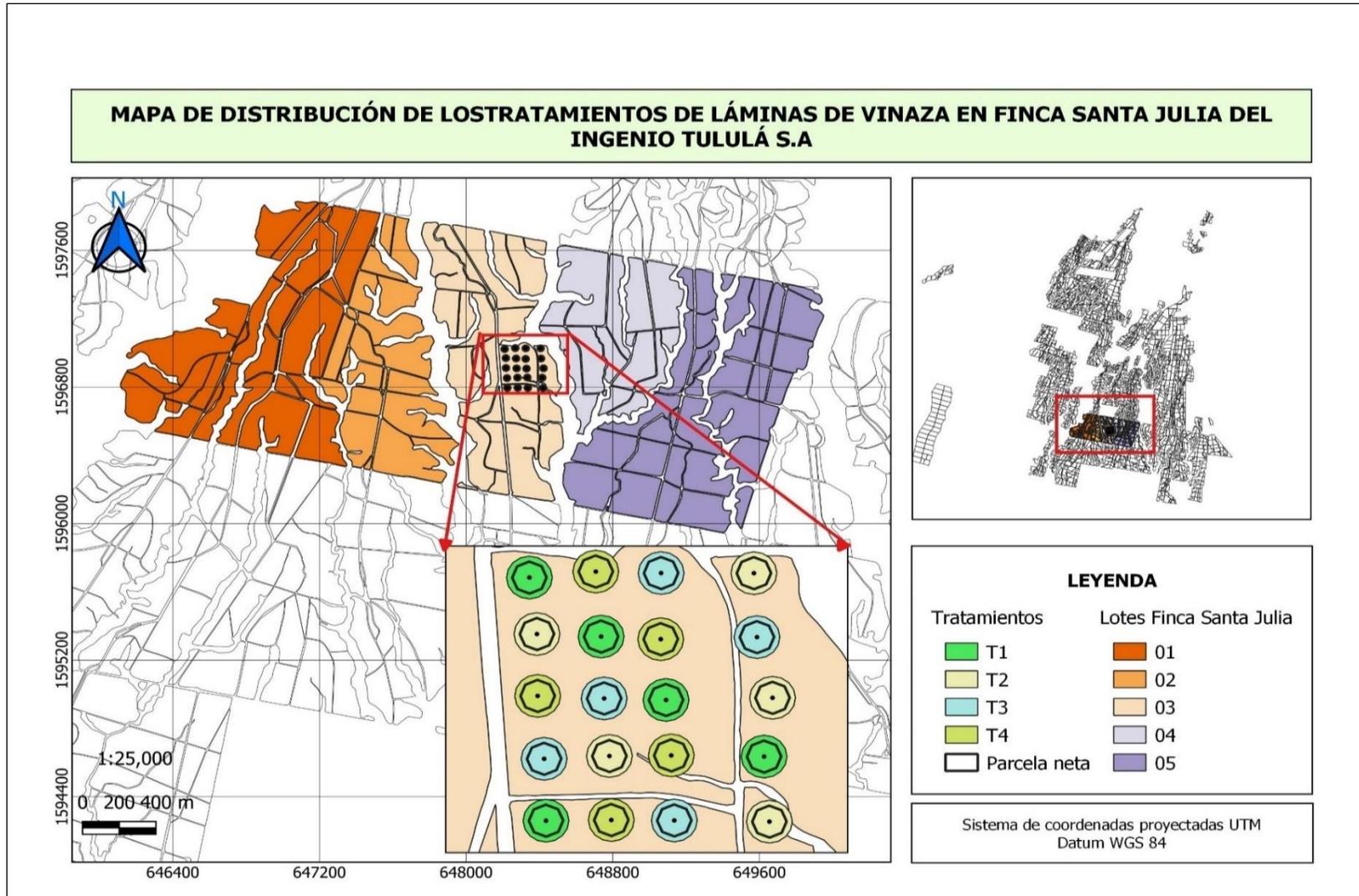


Figura 29. Mapa de distribución de los tratamientos de láminas de vinaza en finca Santa Julia sección tres del Ingenio Tululá S.A.

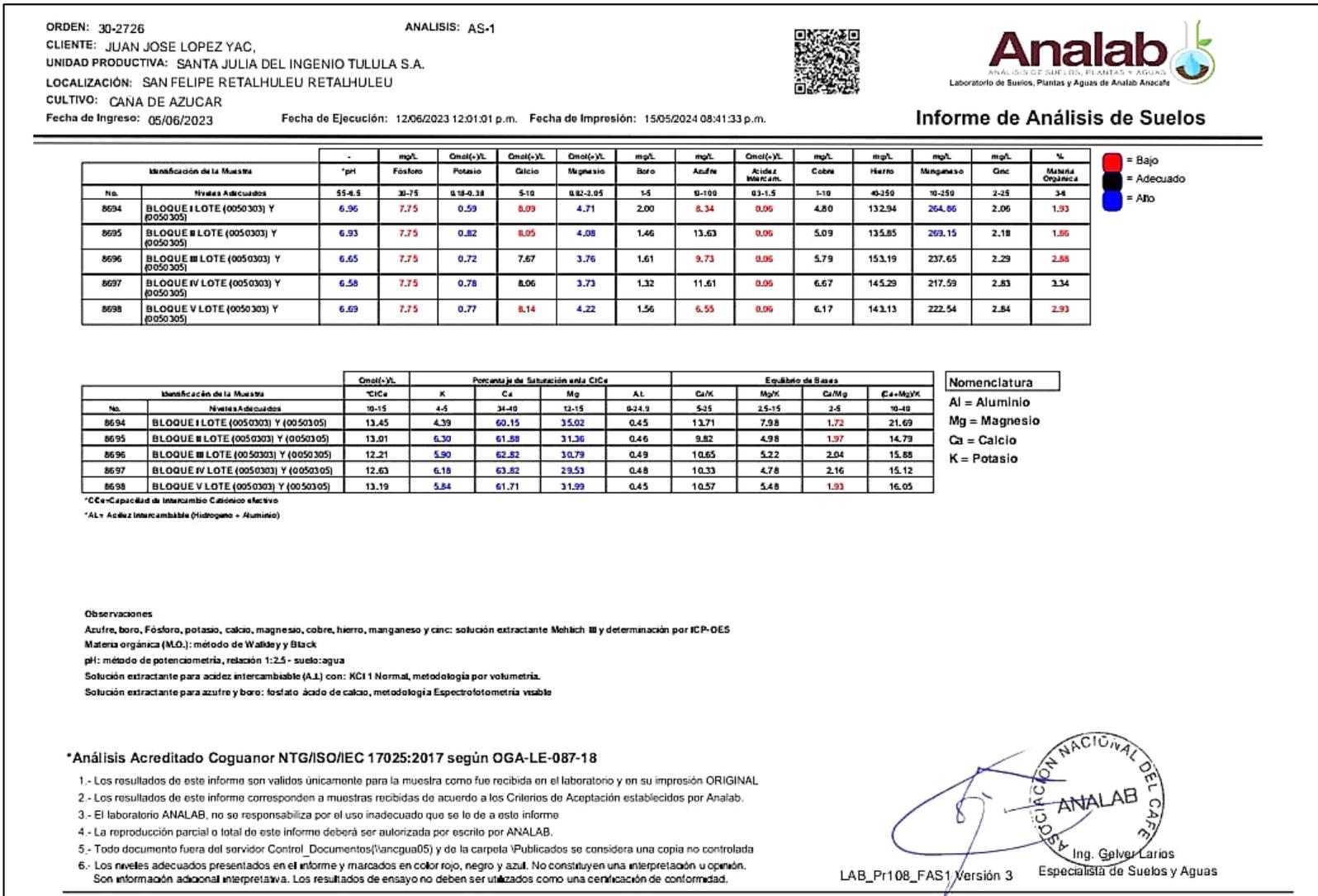


Figura 30. Resultado del análisis de suelo previo a la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

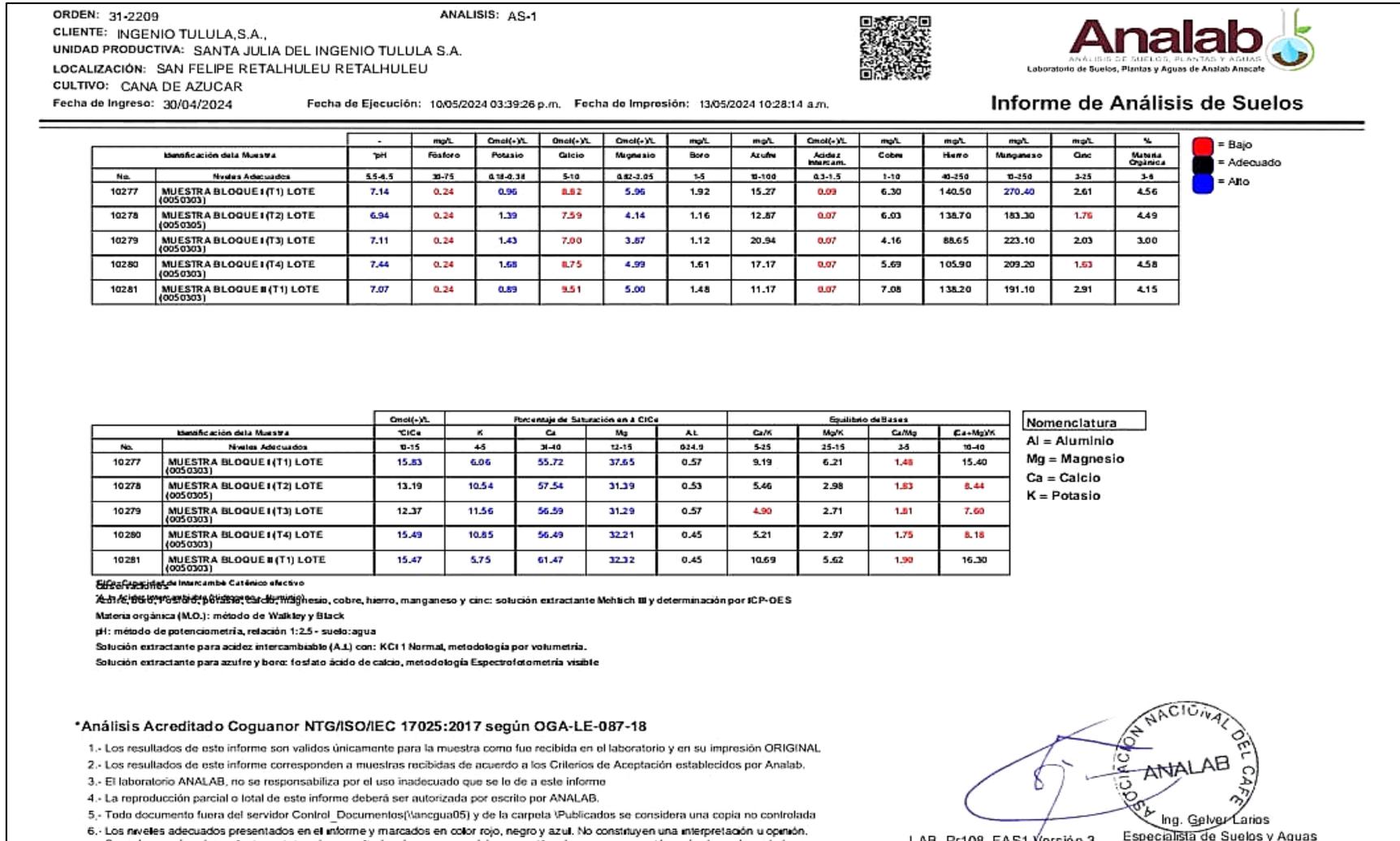


Figura 31. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

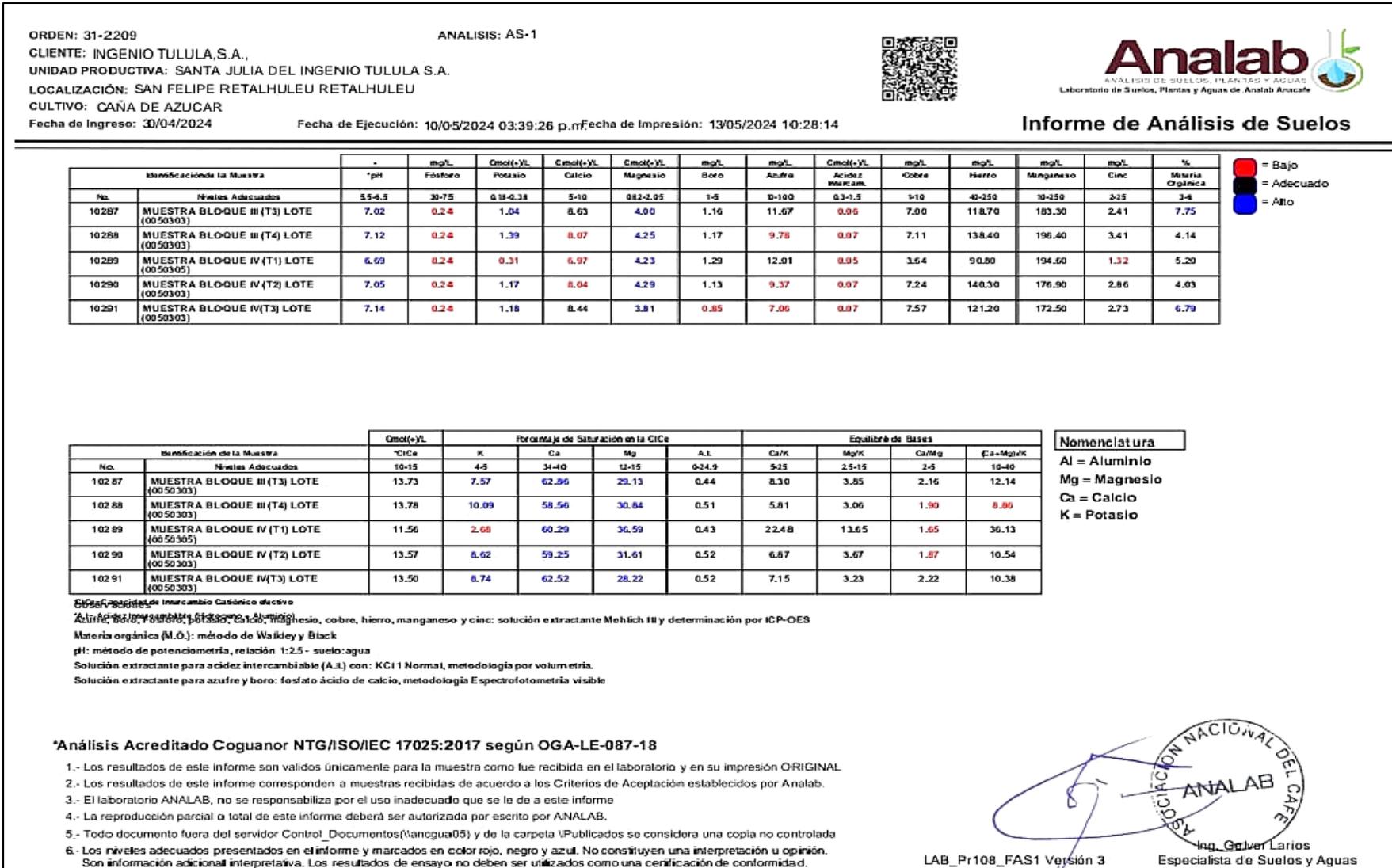


Figura 32. Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

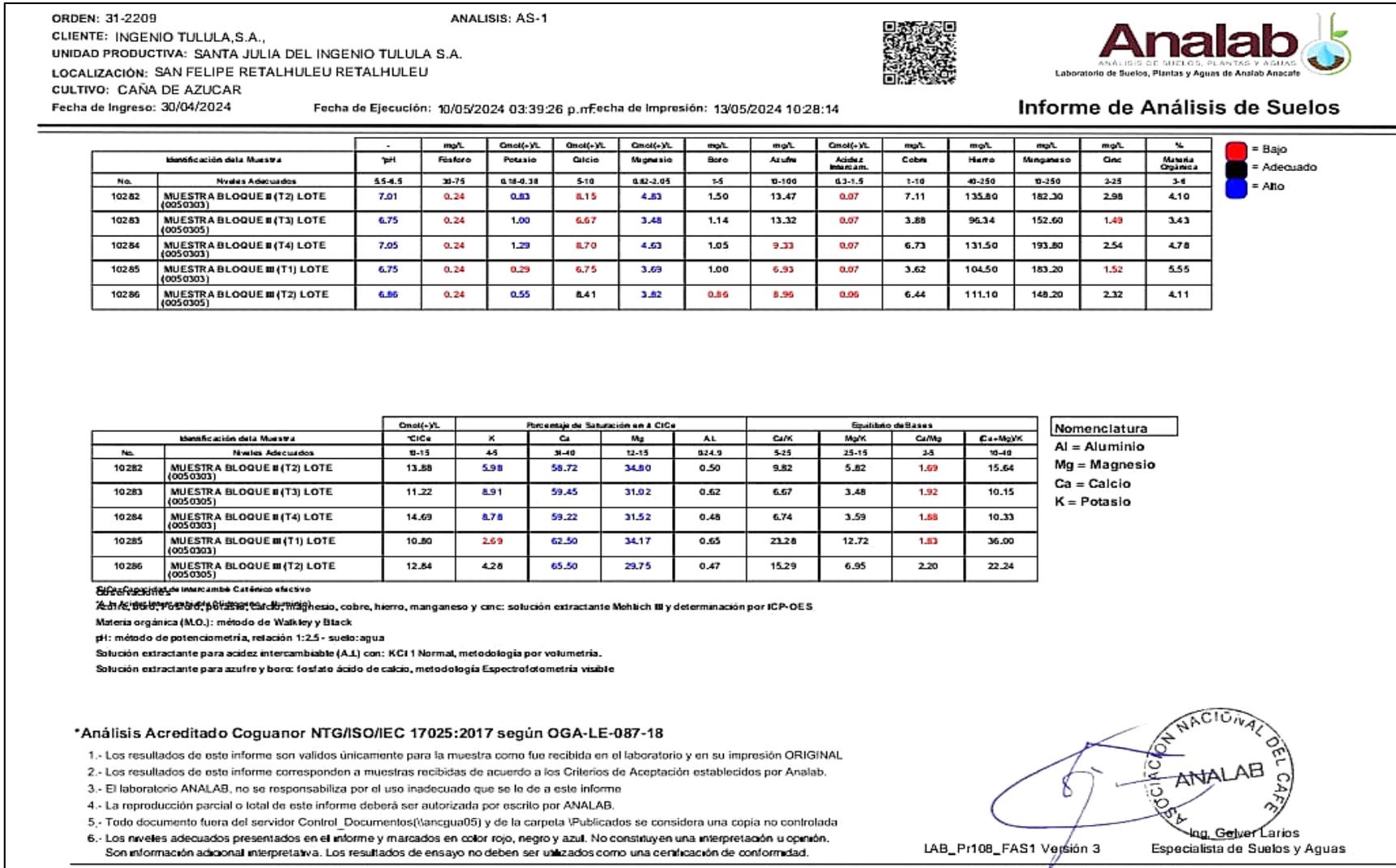


Figura 33: Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

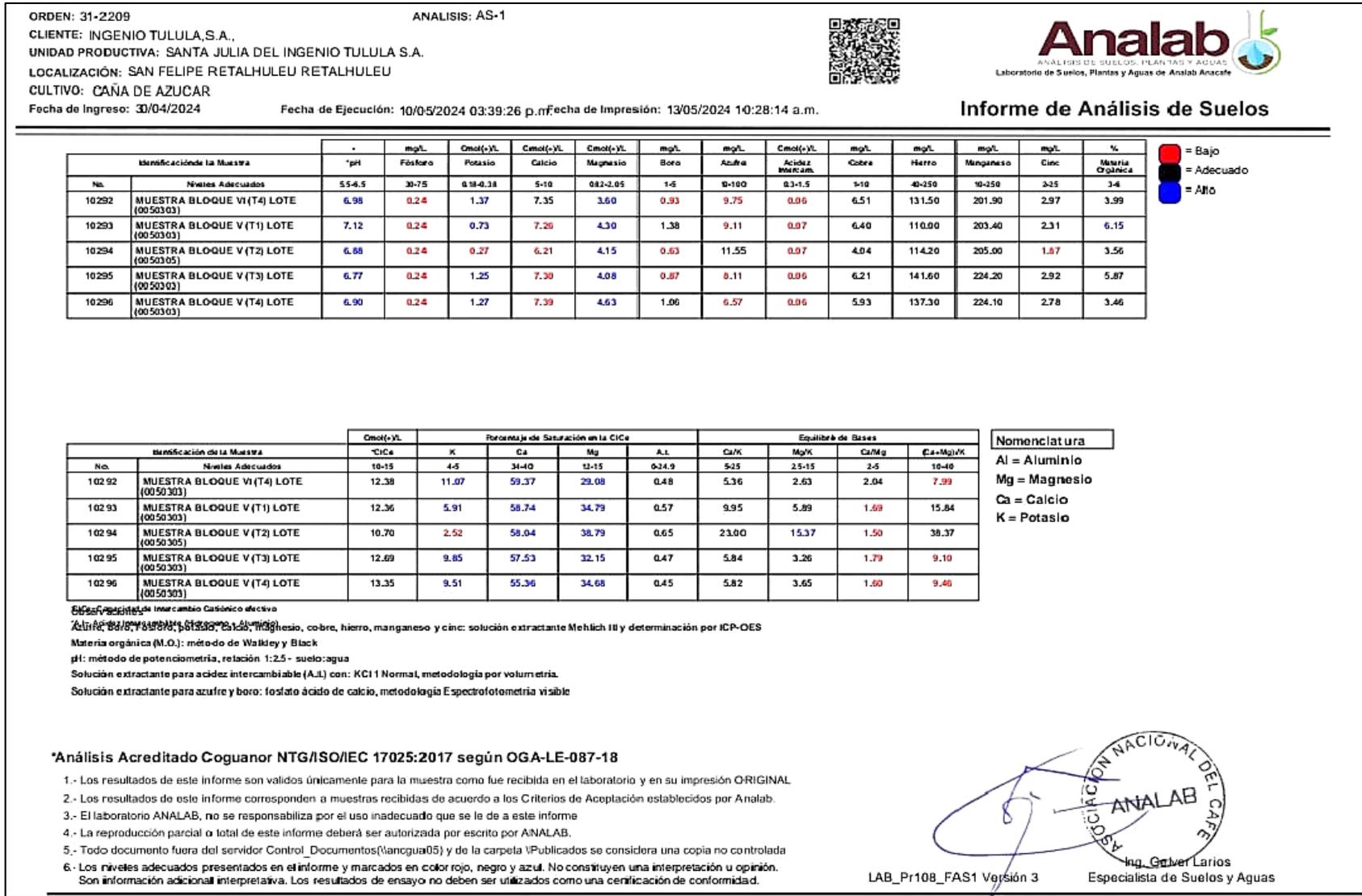


Figura 34: Resultado del análisis de suelo después de la aplicación de los tratamientos de vinaza en finca Santa Julia sección tres en los lotes 0050303 y 0050305.

Orden: 31-2210
 Cliente: INGENIO TULULA,S.A
 Unidad productiva: SANTA JULIA DEL INGENIO TULULA S.A.
 Localización: San Felipe, RETALHULEU



INFORME DE ANÁLISIS DE TEXTURA DE SUELOS AS-11

LAB_Pr108_FAS11 Versión 3

Propiedades físicas		Porcentaje (%)			Clase Textural
No. de Lab.	Identificación de la muestra	Arcilla	Limo	Arena	
10297	MUESTRA LOTE (0050303)	45,45	17,72	36,83	ARCILLOSO
10298	MUESTRA LOTE (0050305)	47,43	11,61	40,95	ARCILLOSO

Análisis de textura de suelos por método del hidrómetro (Bouyoucos).

Fecha de ingreso: martes, 30 de abril de 2024
 Fecha de ejecución: viernes, 10 de mayo de 2024
 Fecha de entrega: miércoles, 15 de mayo de 2024
 Muestra no conforme: NO APLICA
 Desviación de método: NO APLICA

Ing. Gelver Larios
 Especialista de Suelos y Aguas

1. Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
 2. Los resultados de este informe corresponden a muestras recibidas de acuerdo a los criterios de aceptación establecidos por ANALAB.
 3. El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 4. La reproducción parcial de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.
- "Todo documento fuera del servidor Control_Documentos(\incgua05) y de la carpeta \Publicados se considera una copia no controlada"

Figura 35. Resultado del análisis de textura de suelo de los lotes 0050303 y 0050305 de la sección tres de finca Santa Julia.

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario del Sur Occidente
Agronomía Tropical



Mazatenango, 22 de noviembre de 2024

Dr. Mynor Otzoy Rosales
Coordinador de Carrera de Agronomía Tropical
Centro Universitario del Sur Occidente
Universidad de San Carlos de Guatemala
Su despacho.

Respetable Doctor Otzoy,

Por este medio informo que he completado el proceso de asesoría y revisión del trabajo de investigación inferencial del Ejercicio Profesional Supervisado de la Carrera de Agronomía Tropical que fue realizado por el T.P.A. **Juán José López Yac**, carné número **201643982** y con título: "Evaluación del efecto de cuatro láminas de vinaza sobre la saturación de Potasio en el suelo y su relación con la productividad de *Saccharum officinarum* L, en finca Santa Julia, del Ingenio Tululá", y de conformidad con la normativa de la carpeta EPSAT, este documento cumple con los requisitos para que sea considerado como documento de graduación y por lo tanto, sea sometido a las revisiones siguientes establecidos en la normativa EPSAT.

Sin otro particular, Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. Francisco Javier Espinoza Marroquin

Asesor-Evaluador



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
AGRONOMÍA TROPICAL
Mazatenango, Suchitepéquez, gt.

Mazatenango, 17 de marzo de 2025

Lic. Luis Carlos Muñoz López
Director Centro Universitario del Suroccidente
Universidad San Carlos de Guatemala
A su despacho

Estimado licenciado Muñoz:

Con fundamento en el normativo del Trabajo de Graduación de la Carrera de Agronomía Tropical, me permito hacer de su conocimiento que el estudiante T.P.A. **Juan José López Yac**, quien se identifica con número de carné: **201643982** de la carrera de Agronomía Tropical, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **Evaluación del Efecto de Cuatro Láminas de Vinaza sobre la Saturación de Potasio en el Suelo y su Relación con la Productividad de *Saccharum officinarum* L. Poaceae "caña de azúcar" en Finca Santa Julia del Ingenio Tzulá**; el cual fue asesorado y revisado con dictamen favorable del Ingeniero Agrónomo Francisco Javier Espinoza Marroquín.

Como coordinador de la carrera de Agronomía Tropical, hago constar que el estudiante T.P.A. Juan José López Yac, ha cumplido con el normativo de Trabajo de Graduación, razón por la cual someto a su consideración el documento presentado por el estudiante, para que continúe con el trámite correspondiente.

Sin otro particular, esperando haber cumplido satisfactoriamente con la responsabilidad inherente al caso, le reitero las muestras de mi consideración y estima.

Deferentemente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



MSc. Martín Salvador Sánchez Cruz
Coordinador carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-71-2025

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, veintidós de julio de dos mil veinticinco-----

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CUATRO LÁMINAS DE VINAZA SOBRE LA SATURACIÓN DE POTASIO EN EL SUELO Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCTIVIDAD DE *Saccharum officinarum* L. poaceae "caña de azúcar" EN FINCA SANTA JULIA DEL INGENIO TULULÁ", del estudiante: **TPA. Juan José López Yac.** Carné: **201643982 CUI: 2144 02606 1004** de la carrera Ingeniería en Agronomía Tropical.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M.Sc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar
Director



/gris