

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN DEL MATERIAL ORGÁNICO (COMPOST) SOBRE LAS PROPIEDADES  
QUÍMICAS DE UN SUELO ENTISOL TRATADO CON VINAZA. DIAGNÓSTICO Y  
SERVICIOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA  
“SALVADOR CASTILLO”, FACULTAD DE AGRONOMÍA, UNIVERSIDAD DE SAN  
CARLOS DE GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.**

**DILLAN RIGOBERTO TEPEU AVILA**

**GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2018**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN DEL MATERIAL ORGÁNICO (COMPOST) SOBRE LAS PROPIEDADES  
QUÍMICAS DE UN SUELO ENTISOL TRATADO CON VINAZA. DIAGNÓSTICO Y  
SERVICIOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA  
“SALVADOR CASTILLO”, FACULTAD DE AGRONOMÍA, UNIVERSIDAD DE SAN  
CARLOS DE GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.**

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

**POR**

**DILLAN RIGOBERTO TEPEU AVILA**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**EN**

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
EN EL GRADO DE  
LICENCIADO**

**GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2018**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RECTOR**

**Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M.A. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. M.A. Jorge Mario Cabrera Madriol
VOCAL CUARTO	P. Elec. Carlos Waldemar León Samayoa
VOCAL QUINTO	P. Agr. Marvin Orlando Sicajaú Pec
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, septiembre de 2018



Guatemala, septiembre de 2018

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

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL MATERIAL ORGÁNICO (COMPOST) SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO ENTISOL TRATADO CON VINAZA. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA “SALVADOR CASTILLO”, FACULTAD DE AGRONOMÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.**, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de licenciado.

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

---

DILLAN RIGOBERTO TEPEU AVILA

## **ACTO QUE DEDICO**

**A:**

**DIOS**

Por la vida, su cuidado y su misericordia.

**MI PADRE**

Rigoberto Tepeu quien fue uno de los grandes pilares en mi formación académica y personal ya que fue el quien, con su amor y su ejemplo, me inculcó a aprender de cada persona y de cada oficio u o profesión, me enseñó a siempre ser humilde, agradecido, bondadoso, y sobre todo me enseñó a no tener miedo a los retos no importando la dificultad.

**MI MADRE**

Blanca Elizabeth Avila Molina por su amor y su apoyo incondicional que a pesar de las dificultades presentadas en el trayecto de mi carrera siempre me apoyo y me impulsó a seguir adelante, enseñándome que en la vida siempre hay soluciones para cada problema que se me presente siempre y cuando uno las enfrente con una buena actitud y esfuerzo. Te amo Blanca Elizabeth.

**MI HERMANA**

Tatiana Elizabeth Tepeu Avila por su amor, cariño y apoyo que me mostro durante las etapas más difíciles de la vida, y por el apoyo que mostro a lo largo de la carrera.

**MIS ABUELOS**

Gilberto Tepeu, Olivia Jolomna, y Corina Molina por el cariño.

**TIO ABUELO**

Genaro Raxon por el cariño y consejos que me ha brindado.

**MIS TIAS**

Sandra Avila, Mara Avila, Rosa Avila, Verónica Avila, Miriam Tepeu y Estela Tepeu por su amor, cariño, consejos y regaños que recibí durante mi vida.

**MIS TIOS**

Salvador Avila, Julio Tepeu, Armando Tepeu por su cariño.

**MIS PRIMOS**

Josué Tepeu, Susan Tepeu, Julio Tepeu, William Tepeu, Luis Tepeu, Juan Tepeu, Lucia Valenzuela, Ricardo Valenzuela, Estefany Avila, William Avila, Wendy Avila, Keyla Avila, Guillermo Peinado, Cruz Tabico, Samuel Méndez, Darleen Méndez, Damaris Méndez, Roxana Juan, Alejandra Juan, Sandra Juan, Corina Morataya, Darleen Molina, Ángel Molina, Andrea Avila, Rodrigo Avila, Roger Avila, Antony Avila, Marco Avila, Heidi Avila por el amor y cariño que me han manifestado cada uno en las convivencias y el apoyo en los momentos difíciles.

**MIS MAESTROS**

Cheili González y Douglas Debroy por el cariño, aprecio, consejos y tiempo que dedicaron en sus enseñanzas.

**FAMILIA CARIAS**

Por el amor y apoyo incondicional que me han brindado.

**LABORATORIO****SALVADOR CASTILLO**

Dr. Aníbal Sacbajá, Ing. Agr. Selena Carías, Ing. Norvin Ramos, Romael Alfaro, y Don Genaro García Ortiz.

**MIS AMIGOS****DE LA UNIVIERSIDAD**

Alejandro Samayoa, Pablo Yancos, Ana Cano, Sucely Rivera, Iván Peralta, German Serech, Venancio Sian, Luis Eduardo Pineda, Estuardo Ventura, Pedro Soto, Josué Huertas, Juan José Morales, Ronald Estrada, Gustavo Mota, Pedro Pablo



Pinto, Erick Ramírez, Roberto Arenales, Félix Martínez, Caleb Chinchilla, Félix kan, José Arturo Cruz, Leopoldo Sandoval, Adenz Esquivel, Alejandro Gonzales de la Cruz, Sazo, Diego Sazo, Julia Castellanos, Karla Chinchilla, Sergio Chenal, Ronald Samayoa, Nelly González, David Monzón, Orlando Cotto, Claudia Méndez, Luis Meléndez Sazo, Diego Meléndez Sazo, Julio Rivera Mazariegos, Jorge Luis Franco, James Posadas, Edy Barillas.

**DEL DOJO**

Carlos Soto, Allan Maldonado, Ilse días, Jennyfer Castellanos, Edgar Castellanos, Renata Romero, Marcela Romero y Carlos Peruch.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A:**

**MIS CASAS DE ESTUDIO**

Jardín Infantil “Montessori”; Liceo “Valle Prometido”, Colegio Evangélico Mixto “El Calvario”, Instituto “Emiliani Somascos” y Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

**MI ASESOR:**

Dr. Aníbal Sacbajá Galindo, por ser mi amigo y maestro durante mi etapa de estudiante y de EPS. Gracias por los consejos personales, y académicos que me dio. También agradezco las pláticas y llamadas de atención que me dio las cuales me ayudaron mucho a mejorar como persona.

**MI SUPERVISOR:**

Dr. Tomás Padilla Cámbara, por la disposición, su tiempo y enseñanzas durante el proceso de la presente investigación.

**MI EVALUADOR:**

Dr. Marvin Salguero por las observaciones y correcciones realizadas a la presente investigación.

**INGA. CELENA CARIAS**

Por su tiempo y dedicación durante mi etapa de EPS, gracias ingeniera por las enseñanzas de los procesos, metodologías para la preparación de muestras y análisis de CIC, y Nt, también agradezco los consejos y correcciones que me dio. Su enseñanza me ha sido muy valiosa.

**ALC. PEDRO VELASQUEZ**

Por la oportunidad laboral que me brindo de laborar en la municipalidad de Magdalena Milpas Altas y las facilidades que me otorgó para continuar con mi proceso de graduación. Agradezco su apoyo y el de los compañeros de su corporación.

**MIS DEMÁS AMIGOS**

Eber Lorenzo Cutz, Genaro Cutz, Lorenzo Cutz, Leticia Sandoval, Galdino Lemus, Rudy Hernández, Estuardo Marcilla, Enrique Castro, Gustavo Pacheco.

## ÍNDICE

	Página
<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. PRESENTACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>5</b>
1.2.1. Ubicación geográfica y división política.....	5
1.2.2. Descripción climática .....	5
A. Temperatura.....	5
B. Humedad.....	5
C. Zonas de vida.....	6
1.2.3. Descripción biofísica .....	6
A. Fisiografía.....	6
B. Geología.....	6
C. Suelos .....	7
1.2.4. Aspectos socioeconómicos.....	7
A. Social .....	7
B. Económico.....	7
<b>1.3. MARCO LEGAL PARA EL REGISTRO DE FERTILIZANTES, ENMIENDAS Y SUSTANCIAS AFINES A FERTILIZANTES O A ENMIENDAS, ANTE EL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>1.4. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
1.4.1. Generales .....	12
1.4.2. Específicos .....	12
<b>1.5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>13</b>
1.5.1. Fuentes de información.....	13
A. Fuentes secundarias .....	13
1.5.2. Fase de gabinete .....	13
<b>1.6. RESULTADOS .....</b>	<b>14</b>
1.6.1. Empresas que comercializan enmiendas (cales agrícolas) que cuentan con registro vigente .....	14
1.6.2. Empresas que comercializan Ca (CaO, CaCO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub> , CaOH) .....	15
1.6.3. Empresas que comercializan magnesio (MgO, MgCO <sub>3</sub> , MgOH) .....	16
1.6.4. Empresas que ofrecen enmiendas a base de Cal dolomita (Ca Mg CO <sub>3</sub> ) .....	17
1.6.5. Resumen general de formulaciones de enmiendas en Guatemala .....	18
<b>1.5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>20</b>
<b>1.6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>20</b>
<b>1.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>21</b>

	<b>Página</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1. PRESENTACIÓN</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>26</b>
2.2.1. Marco Conceptual.....	26
A. Suelos Entisoles.....	26
B. Vinaza .....	26
a. Composición química de la vinaza .....	27
b. Efecto de la vinaza en el suelo.....	28
C. Materia orgánica.....	28
a. Importancia de la materia orgánica .....	29
b. Composición de la materia orgánica .....	30
c. Mineralización .....	30
d. Factores que afectan la mineralización .....	32
D. Cachaza .....	32
a. Composición química de la cachaza .....	32
b. Cachaza composteada.....	33
c. Efecto de la cachaza en el suelo.....	33
2.2.2. Marco Referencial.....	34
A. Ubicación geográfica y división política .....	34
B. Clima y zonas de vida .....	34
C. Antecedentes .....	35
<b>2.3. OBJETIVOS</b> .....	<b>37</b>
2.3.1. Objetivo General.....	37
2.3.2. Objetivos Específicos.....	37
<b>2.4. HIPÓTESIS</b> .....	<b>37</b>
<b>2.5. METODOLOGÍA</b> .....	<b>38</b>
2.5.1. Antecedentes.....	38
2.5.2. Fase de laboratorio .....	38
A. Caracterización de la vinaza .....	38
B. Caracterización química del compost.....	39
C. Caracterización de propiedades químicas de un suelo Entisol .....	39
2.5.3. Diseño experimental .....	39
A. Factor de estudio.....	40
B. Unidad experimental .....	40
C. Tratamientos evaluados .....	40
D. Arreglo espacial.....	41
E. Variable respuesta .....	41

	<b>Página</b>
a. Análisis químicos del suelo .....	41
b. Rendimiento de la biomasa aérea .....	42
c. Contenido nutrimental de la planta .....	42
2.5.4. Fase de invernadero .....	43
A. Preparación del suelo .....	43
B. Preparación del compost .....	43
C. Preparación de los tratamientos .....	43
2.5.5. Prueba biológica .....	44
A. Siembra .....	44
B. Riego .....	44
C. Control fitosanitario .....	44
D. Cosecha .....	45
2.5.6. Análisis de la información .....	45
<b>2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>46</b>
2.6.1. Caracterización química de la vinaza .....	46
2.6.2. Aporte teórico nutrimental de la vinaza expresado en m <sup>3</sup> .....	47
2.6.3. Caracterización química del compost .....	47
2.6.4. Aporte teórico nutrimental y de MO de los tratamientos evaluados .....	48
2.6.5. Aporte teórico de nutrientes al suelo tratado con vinaza y compost .....	48
2.6.6. Análisis químico del suelo después de haber aplicado los tratamientos .....	48
2.6.7. Comportamiento del pH en los tratamientos evaluados .....	50
2.6.8. Comportamiento de la conductividad eléctrica en los tratamientos evaluados .....	51
2.6.9. Comportamiento de la materia orgánica en los tratamientos evaluados .....	52
2.6.10. Comportamiento de la CIC en los tratamientos evaluados .....	53
2.6.11. Comportamiento del N total en los tratamientos evaluados .....	54
2.6.12. Comportamiento del P en los tratamientos evaluados .....	55
2.6.13. Comportamiento del K en los tratamientos evaluados .....	56
2.6.14. Comportamiento del Ca en los tratamientos evaluados .....	57
2.6.15. Comportamiento del Mg en los tratamientos evaluados .....	58
2.6.16. Comportamiento del Na en los tratamientos evaluados .....	59
2.6.17. Comportamiento del Cu en los tratamientos evaluados .....	60
2.6.18. Comportamiento del Zn en los tratamientos evaluados .....	61
2.6.19. Comportamiento del Fe en los tratamientos evaluados .....	62
2.6.20. Comportamiento del Mn en los tratamientos evaluados .....	63
2.6.21. Biomasa seca de los tratamientos .....	64
A. Análisis de varianza de la biomasa seca del de sorgo ( <i>Sorghum</i> spp.) .....	64
B. Prueba Scott & Knott .....	65
2.6.22. Análisis foliar de la biomasa seca del cultivo de sorgo ( <i>Sorghum</i> spp.) .....	66
2.6.23. Sintomatología foliar en el cultivo de sorgo ( <i>Sorghum</i> spp.) .....	67
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>2.7. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>69</b>

	<b>Página</b>
<b>2.8. REFERENCIAS .....</b>	<b>70</b>
<b>2.9. ANEXOS.....</b>	<b>76</b>
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>82</b>
<b>3.1. PRESENTACIÓN.....</b>	<b>83</b>
<b>3.2. APOYO EN LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DEL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, USAC. ....</b>	<b>84</b>
3.2.1.MARCO REFERENCIAL.....	84
A. Ubicación Geográfica .....	84
3.2.2.OBJETIVOS.....	85
A. General .....	85
B. Específicos .....	85
3.2.3.METODOLOGÍA .....	86
A. Determinación de la CIC en suelos (método de Peech).....	86
B. Preparación del acetato de amonio pH 7 1N.....	88
C. Preparación de cloruro de sodio (NaCl) pH 2.....	89
D. Preparación de rojo de metilo (mezcla indicadora) .....	89
E. Preparación de ácido bórico al 3 %.....	90
F. Determinación de N en suelos, compost, foliares y fertilizantes.....	90
<b>3.3. CAPACITACIÓN A ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, EN TÉCNICAS DE MUESTREO DE SUELOS EN LOS CAMPOS DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA. ....</b>	<b>92</b>
<b>3.3.1.OBJETIVOS .....</b>	<b>92</b>
<b>A. General .....</b>	<b>92</b>
<b>B. Específicos .....</b>	<b>92</b>
<b>3.3.2.METODOLOGÍA.....</b>	<b>93</b>
<b>3.3.3.RESULTADOS .....</b>	<b>93</b>
<b>A. Fase Teórica .....</b>	<b>94</b>
<b>B. Fase Práctica .....</b>	<b>94</b>
<b>3.3.4.CONCLUSIONES .....</b>	<b>95</b>
<b>3.4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>96</b>
<b>3.5. ANEXOS.....</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

### Página

Cuadro 1. Empresas que distribuyen cales agrícolas que cuentan con registro en el Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones del MAGA. ....	14
Cuadro 2. Empresas que venden CaO, CaCO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub> y CaOH... ..	15
Cuadro 3. Fuentes de calcio en Guatemala .....	16
Cuadro 4. Empresas que ofrecen MgO, MgCO <sub>3</sub> , y MgOH y que se encuentran registrados en la Unidad de Normas y Regulaciones del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.....	16
Cuadro 5. Fuentes de magnesio en Guatemala.....	17
Cuadro 6. Empresas que ofrecen cal dolomita.....	17
Cuadro 7. Formulaciones de enmiendas que se comercializan en Guatemala. ....	18
Cuadro 8. Países que importan enmiendas (cales agrícolas) en Guatemala .....	18
Cuadro 9. Clasificación de la materia orgánica y carbono orgánico de los suelos.....	29
Cuadro 10. Grupos de compuestos del material originario de la materia orgánica del suelo.....	31
Cuadro 11. Caracterización química de la vinaza. ....	38
Cuadro 12. Caracterización química del compost. ....	39
Cuadro 13. Caracterización de propiedades químicas de un suelo Entisol. ....	40
Cuadro 14. Dosis de material orgánico (Compost) en suelos tratados con vinaza. ....	41
Cuadro 15. Parámetros evaluados en el análisis químico de los tratamientos. ....	42
Cuadro 16. Parámetros evaluados en el análisis foliar de los tratamientos.....	43
Cuadro 17. Análisis químico de la vinaza utilizada en la investigación.....	46
Cuadro 18. Aporte nutrimental de la vinaza. ....	47
Cuadro 19. Análisis químico del compost de cachaza. ....	47
Cuadro 20. Aporte teórico nutrimental y de MO de los tratamientos evaluados. ....	48
Cuadro 21. Aporte teórico de nutrientes al suelo tratado con vinaza ácida y compost. ....	49
Cuadro 22. Resultados de los análisis químicos de suelos.....	49
Cuadro 23. Rendimiento medio de la biomasa seca. ....	64
Cuadro 24. Análisis de varianza de la biomasa seca .....	64
Cuadro 25. Cuadro de análisis de varianza (SC tipo III) de biomasa seca.....	65
Cuadro 26. Prueba Scott & Knott. ....	65
Cuadro 27. Análisis foliar de la biomasa seca del cultivo de sorgo (Sorghum spp.). ....	66
Cuadro 28. Lectura de hojas dañadas (enrollamiento en el ápice) de las plantas por tratamiento. ....	67
Cuadro 29.A. Coeficientes de correlación en análisis químico de suelos.....	76
Cuadro 30.A. Coeficientes de correlación en el análisis foliar. ....	78
Cuadro 31. Metodología de N total en fertilizantes.....	91



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Producción nacional e importación de cales y enmiendas en Guatemala.....	19
Figura 2. Localización geográfica del edificio UVIGER. ....	34
Figura 3. Comportamiento del pH en el suelo. ....	50
Figura 4. Comportamiento de la conductividad eléctrica en el suelo.....	51
Figura 5. Comportamiento del % de materia orgánica en el suelo. ....	52
Figura 6. Comportamiento de la CIC en el suelo.....	53
Figura 7. Comportamiento del % de N total en el suelo. ....	54
Figura 8. Comportamiento de P en el suelo. ....	55
Figura 9. Comportamiento del K en el suelo. ....	56
Figura 10. Comportamiento del Ca en el suelo. ....	57
Figura 11. Comportamiento del Mg en el suelo.....	58
Figura 12. Comportamiento del Na en el suelo. ....	59
Figura 13. Comportamiento del Cu en el suelo. ....	60
Figura 14. Comportamiento del Zn en el suelo.....	61
Figura 15. Comportamiento de Fe en el suelo. ....	62
Figura 16. Comportamiento de Mn en el suelo.....	63
Figura 20. Sintomatología de la planta a los 35 días de siembra. ....	68
Figura 21.A. Explicación teórica sobre el muestreo de suelos ....	97
Figura 22.A. Toma de sub muestras ....	97
Figura 23.A. Toma de sub muestras de suelo.....	97
Figura 24.A. Homogenización de la muestra.....	98
Figura 25.A. Estudiantes de Química y Farmacia que realizaron el muestreo .....	98

## TRABAJO DE GRADUACIÓN

### EVALUACIÓN DEL MATERIAL ORGÁNICO (COMPOST) SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO ENTISOL TRATADO CON VINAZA

#### RESUMEN

El Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), se realizó en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” de la Facultad de Agronomía, ubicado en el Edificio de Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos (UVIGER) del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA) del municipio de Guatemala, Guatemala.

El diagnóstico realizado fue sobre la comercialización de enmiendas (cales agrícolas) que se encuentran en Guatemala y que cuentan con registro del Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

En el diagnóstico se pudo determinar que en el año 2016 existían 24 empresas que comercializaban productos enmiendas (cales agrícolas) con registro ante el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) donde siete países importaban productos, y tenían registrados 14 productos mientras que Guatemala tenía registrado 102 productos.

La investigación consistió en evaluar el efecto de siete niveles de compost aplicado al suelo tratado con 900 m<sup>3</sup> de vinaza sobre los parámetros químicos del suelo y el rendimiento de sorgo (*Sorghum* spp.).

La investigación se dividió en dos fases: laboratorio e invernadero, en la parte de laboratorio se caracterizó químicamente el suelo, vinaza, cachaza. Además, se realizaron análisis químicos a los suelos tratados y al tejido vegetal de las plantas de sorgo (*Sorghum* spp.). En la parte de invernadero se practicó una prueba biológica para evaluar el efecto

de los niveles del material orgánico aplicados a los suelos tratados con vinaza sobre el rendimiento de materia seca en el sorgo (*Sorghum* spp.).

El efecto del compost sobre las propiedades químicas del suelo fue analizado estadísticamente con un modelo de regresión cuadrática. El rendimiento de la biomasa seca de sorgo (*Sorghum* spp.) fue analizado a través de un análisis de varianza. Los resultados de dicha investigación determinaron que hubo un incremento de pH, CIC, materia orgánica, N, Ca, K, Mg y P en relación a los niveles de compost que fueron aplicados, a excepción de Fe, Mn y conductividad eléctrica que tuvieron una disminución. Los cambios mayores se dieron en los niveles de compost aplicados. En la prueba biológica la aplicación de los niveles de compost no influyó en el rendimiento de biomasa de sorgo (*Sorghum* spp.) con respecto al testigo relativo (900 m<sup>3</sup> de vinaza) en el tiempo que duró la investigación (35 días).

Los servicios realizados fueron 2: El primero consistió en dar apoyo en la determinación de la CIC en suelos (método de Peech), N en suelos, compost, foliares y fertilizantes (método Kjeldahl), preparación del acetato de amonio pH 7 1N, de cloruro de sodio (NaCl) pH 2, rojo de metilo y de ácido bórico al 3 %. El segundo servicio fue una capacitación a estudiantes de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en técnicas de muestreo de suelos en los campos de la Facultad de Agronomía.

## **CAPÍTULO I**

**DIAGNÓSTICO DE LA COMERCIALIZACIÓN DE ENMIENDAS (CALES AGRÍCOLAS)  
QUE CUENTAN CON UN REGISTRO LEGAL DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA,  
GANADERIA Y ALIMENTACIÓN (MAGA) DENTRO DEL TERRITORIO  
GUATEMALTECO.**

## 1.1. PRESENTACIÓN

En la etapa inicial del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), se realizó un diagnóstico sobre la comercialización de enmiendas (agrícolas) que se encuentran en Guatemala, con el fin de conocer la importancia que tienen estos productos dentro del sector nacional debido a que Guatemala es un país agrícola donde sus principales productos de exportación son azúcar, café y banano (Espina 2015).

Las enmiendas agrícolas son el aporte de un material (cales, materiales orgánicos) que mejora la calidad de la estructura del suelo, pH, materia orgánica y por ende la disponibilidad de nutrientes (Sánchez 2017).

La cal agrícola incrementa la eficiencia de los fertilizantes, reduce la acidez del suelo y la toxicidad de algunos elementos, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. También, mejora la fijación simbiótica del N en las leguminosas, aporta Ca, Mg y aumenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo, lo que repercute en el desarrollo y producción de los cultivos (Lazcano – Ferrat s.f.).

## **1.2. MARCO REFERENCIAL**

### **1.2.1. Ubicación geográfica y división política**

La República de Guatemala se encuentra localizada en la parte norte del istmo centroamericano; limita al norte y al oeste, con la república de México; al sur, con el Océano Pacífico; al este, con Belice, el Océano Atlántico y las repúblicas de Honduras y El Salvador. Está comprendida entre los paralelos 13° 44" y 18° 30" latitud norte y entre los meridianos 87° 24" y 92° 14", al oeste del meridiano de Greenwich. Su extensión territorial es de 108,889 kilómetros cuadrados. La división política administrativa, comprende 8 regiones, 22 departamentos y 340 municipios (Prensa Libre 2015).

### **1.2.2. Descripción climática**

#### **A. Temperatura**

El INE (2017) con valores del INSIVUMEH publicó que Guatemala en el año 2016 la temperatura máxima promedio fue de 32.3 °C en la estación de la Fragua ubicado en el departamento de Zacapa, la temperatura mínima promedio en ese año fue de 11.3 °C en la estación de San Marcos.

#### **B. Humedad**

En Guatemala en el año 2016 la humedad promedio fue de un 77.1 %, en donde la humedad máxima fue de 94 % y la mínima de 22 % (INE 2017).

## **C. Zonas de vida**

De La Cruz (1982) en base a los estudios realizados por el Doctor Leslie Holdridge, determinó que el país cuenta con 14 zonas de vida las cuales son: Monte Espinoso Subtropical (me-S), Bosque Seco Tropical (bs-T), Bosque Seco Subtropical (bs-S), Bosque Húmedo Subtropical Templado (bh-S(t)), Bosque Húmedo Subtropical Cálido (bh-S(c)), Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido (bmh-S(c)), Bosque Muy Húmedo Subtropical frío (bmh-S(f)), Bosque Pluvial Subtropical (bp-S), Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T), Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB), Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical (bmh-MB), Bosque Pluvial Montano Bajo Subtropical (bp-MB), Bosque Húmedo Montano Subtropical (bh-M), Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical (bhm-M).

### **1.2.3. Descripción biofísica**

#### **A. Fisiografía**

El MAGA (2001) en base a la elaboración del mapa fisiográfico - geomorfológico de la república de Guatemala, estableció que Guatemala cuenta con once regiones fisiográficas las cuales son: Llanura Costera del Pacífico, Pendiente Volcánica Reciente, Tierras Altas Volcánicas, Tierras Altas Cristalinas, Depresión del Motagua, Tierras Altas Sedimentarias, Depresión de Izabal, Tierras Bajas Interiores de Petén, Cinturón Plegado del Lacandón, Las Montañas Mayas, Plataforma Sedimentaria de Yucatán.

#### **B. Geología**

Según MAGA (2001), la geología del país está clasificada por el tipo de roca, era donde se inicia la formación, composición, orígenes, ubicación y localización. Dentro de las principales formaciones geológicas a nivel nacional se pueden mencionar las siguientes:

Paleozoico, Jurásico Cretácico, Aluviones Cuaternarios, Terciario Superior Oligoceno, Paleoceno Eoceno, Pérmico, Cretácico Terciario, Cretácico, Cuaternario, Terciario, Rocas plutónica sin dividir, Rocas ultra básicas de edad desconocida, y Paleozoico.

### **C. Suelos**

En el estudio de Clasificación de Reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala se reportaron 168 series de suelos (Simmons 1959).

De acuerdo al estudio de la Primera Aproximación al Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala a escala 1:250,000 delinearon 154 series de suelos donde identificaron 8 de 12 órdenes de suelos las cuales son: Alfisol, Andisol, Mollisol, Ultisol, Inceptisol, Entisol, Vertisol e Histosol (Tobias y Lara 2016).

#### **1.2.4. Aspectos socioeconómicos**

##### **A. Social**

La población guatemalteca a finales del 2015 según el Registro Nacional de Personas de Guatemala (RENAP) era de 17.154,812; el 48.84 % de sexo masculino y un 51.16 % de sexo femenino, el 40.52 % de la población son menores de edad y el 59.48 % son mayores de edad (Hernández 2016).

##### **B. Económico**

Según el Banco Mundial la República de Guatemala el Producto Interno Bruto en el 2015 fue \$ 63.79 mil millones con un crecimiento del 4.1 % y una inflación del 2.4 %. El INE



(2014) cita que la población económicamente activa estaba compuesta por 6.168,470 personas, donde 64.1 % son hombres y 35.9 % son mujeres.

Espina (2015) menciona que las exportaciones al finalizar el 2014 rondaron alrededor de los \$ 10,000 millones dólares, lo cual representa un crecimiento del 8 %, donde el 21 % de las exportaciones fueron los productos agrícolas más importantes, los cuales dentro de su participación en el total de exportaciones fueron: azúcar y sus derivados (8.5 %), café (6.5 %), banano (6.1 %). Guatemala también exportó productos como artículos de vestuario (11.9 %), piedras, metales preciosos y semipreciosos (3.5 %); productos que, en conjunto, representaron el 36.5 % del total de exportaciones. Las importaciones realizadas se situaron en \$ 16,764.2 millones de dólares, las estuvieron compuesta principalmente por los siguientes rubros: combustibles y lubricantes (7.1 %), bienes de consumo no duraderos (3.4 %), materias primas y productos intermedios para la industria (1.5 %), y bienes de consumo duraderos, (8.6 %), rubros que representaron el 80% del total de las importaciones.

### **1.3. MARCO LEGAL PARA EL REGISTRO DE FERTILIZANTES, ENMIENDAS Y SUSTANCIAS AFINES A FERTILIZANTES O A ENMIENDAS, ANTE EL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN**

El congreso de la República de Guatemala en el año 2010 aprobó el acuerdo Gubernativo No. 342 – 2010 donde especifica que todo registro, control, supervisión, importación, exportación y vigilancia de la calidad de fertilizantes o enmiendas agrícolas le corresponde al MAGA (MAGA 2010).

#### **Definiciones**

**Enmienda:** Cualquier producto orgánico o mineral, natural o sintético, capaz de modificar y mejorar las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo.

Se consideran enmiendas: azufre, cal agrícola, caliza carbonato de calcio, cal dolomítica o dolomita, cal hidratada, cal viva, hidrato de magnesio, hidrato dolomita, magnesita o carbonato de magnesio, sulfato de calcio o yeso; siendo dicha lista enunciativa y no limitativa de las mismas.

**Enmienda mineral:** Cualquier sustancia o producto mineral, natural o sintético, capaz de modificar y mejorar las propiedades y las características físicas, químicas, biológicas o mecánicas del suelo.

**Enmienda orgánica:** Cualquier sustancia o producto orgánico capaz de modificar o mejorar las propiedades y las características físicas, químicas, biológicas o mecánica del suelo. Término también llamado acondicionador del suelo.

**Cal agrícola:** Enmienda mineral que contiene principalmente carbonato de calcio y menos del 10 % de carbonato de magnesio.

**Cal dolomítica:** Enmienda mineral que contiene principalmente carbonato de calcio y por lo menos un veinticinco por ciento (25 %) de carbonato de magnesio.

**Cal hidratada:** Enmienda mineral que contiene principalmente hidróxido de calcio y menos del porcentaje (%) de hidróxido de magnesio.

**Cal hidratada con magnesio:** Enmienda mineral que contiene principalmente hidróxido de calcio y más del porcentaje (%) de hidróxido de magnesio. También llamada cal apagada con magnesio o hidrato dolomítica.

**Cal viva:** Enmienda mineral que contiene principalmente óxido de calcio y menos del porcentaje (%) de óxido de magnesio.

**Cal viva con magnesio:** Enmienda mineral que contienen principalmente óxido de calcio y más del porcentaje (%) de óxido de magnesio.

**Dolomita:** Enmienda mineral que contiene proporción equimolecular de carbonato de calcio y carbonato de magnesio.

**Magnesita:** enmienda mineral que contiene un mínimo del noventa por ciento (90 %) de carbonato de magnesio.

**Yeso agrícola:** Enmienda mineral formada por sulfato de calcio y que contiene de diecisiete a veintidós por ciento (17 % a 22 %) de calcio y de catorce a diecinueve por ciento (14 % a 19 %) de azufre.

## **Requisitos para el registro de enmiendas o sustancia a fines a fertilizantes o afines a enmiendas**

### a) Descripción general:

- a.1) Nombre y domicilio del registrante o sustentante.
- a.2) Nombre y domicilio del fabricante, formulador o extractor.
- a.3) Marca, si lo tuviere.
- a.4) Nombre con el que se comercializa el producto.
- a.5) Nombre y concentración de los compuestos.

### b) Propiedades físicas:

- b.1) Estado físico.
- b.2) Color.
- b.3) Cualquier otra propiedad relacionada con su uso de acuerdo al tipo de formulación.
- b.4) pH (para líquidos).
- b.5) Capacidad neutralizadora (PRNT) para el caso de minerales, expresada en porcentaje de neutralización comparado con 100 kg de carbonato de calcio puro.
- b.6) Peso específico o densidad expresada g/mL a una determinada temperatura en grados Celsius, según el estado físico del producto.
- b.7) Granulometría.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Generales**

Conocer la situación actual de las empresas que se dedican a comercializar enmiendas (cales agrícolas) en el país.

### **1.4.2. Específicos**

1. Determinar las empresas que se dedican a la comercialización de enmiendas (cales agrícolas) y que cuenten con registro vigente (2016) en el Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones.
2. Determinar las enmiendas inorgánicas a base de (Ca, Mg, S) y sus formulaciones.
3. Determinar los países ofrecen enmiendas (cales agrícolas) en Guatemala.

## **1.5. METODOLOGÍA**

### **1.5.1. Fuentes de información**

Para elaborar este diagnóstico, se utilizaron fuentes secundarias.

#### **A. Fuentes secundarias**

La información sobre las empresas que comercializan enmiendas (cales agrícolas) y que cuentan con registro vigente se obtuvo en el Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería y Alimentación por medio de acceso a la información pública.

### **1.5.2. Fase de gabinete**

La información recabada fue analizada, y clasificada por:

- a) Nombre de la empresa.
- b) País de origen.
- c) Formulación química del producto.

## 1.6. RESULTADOS

### 1.6.1. Empresas que comercializan enmiendas (cales agrícolas) que cuentan con registro vigente

El cuadro 1, presenta las empresas que comercializan enmiendas (cales agrícolas) que cuentan con registro hasta al año 2016.

Cuadro 1. Empresas que distribuyen enmiendas (cales agrícolas) que cuentan con registro en el Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones del MAGA.

No.	Empresa
1	Agromsa de Guatemala, S. A
2	Agrored
3	Atlántica Agrícola de Guatemala, S.A.
4	Bioska, S. A.
5	Calera San Miguel, S.A.
6	Desarrollos Químicos Guatemaltecos, S.A.
7	Disagro de Guatemala, S.A.
8	Duwest Guatemala, S.A.
9	Enlace Agropecuario, S.A.
10	Exportadora Enlasa, S. A.
11	Fertilizantes del Pacifico, S.A.
12	Fertilizantes Maya, S.A.
13	Fitoquímicos y Fertilizantes Especiales, S. A.
14	Grupo Fert, S. A.
15	Ingenio Magdalena, S.A.
16	Nutrinsagro, S.A.
17	Operaciones Del Campo, S.A.
18	Productos Agrícolas de Oriente, S. A.
19	Promociones Agrícolas Industriales y Comerciales, S.A.
20	Químicas Stoller de Centroamérica, S.A.
21	Sermoa, S. A.
22	Soluciones Analíticas, S. A.
23	Talleres del Atlántico, S. A.
24	Técnica Universal, S. A.

Fuente: MAGA (2016)

En Guatemala existen 24 empresas que se dedican a comercializar productos de cales y enmiendas que cuentan con registro hasta el año 2016 en el Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones del (MAGA) como observa en el cuadro 1.

### 1.6.2. Empresas que comercializan Ca (CaO, CaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, CaOH)

Las empresas que comercializan el Ca en sus distintas presentaciones se mencionan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Empresas que venden CaO, CaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub> y CaOH y sus concentraciones expresadas en %.

No.	Empresa	% CaO	% CaCO <sub>3</sub>	% CaSO <sub>4</sub>	% CaOH
1	Agromsa	8 - 73	14 – 46	72 - 76	
2	Bioska, S. A.	14 - 27	35 – 49	30 - 100	
3	Calera San Miguel			75	
4	Desarrollos Químicos Guatemaltecos, S.A.	25		75	
5	Disagro de Guatemala, S.A.	25 - 29			
6	Enlace Agropecuario, S.A.	25 - 50			
7	Exportadora Enlase, S. A.	30 - 46	35	25	
8	Fertilizantes del Pacifico, S.A.	25	7	75	
9	Fertilizantes Maya, S.A.		45		
10	Fitoquímicos y Fertilizantes Especiales, S. A.		100		
11	Grupo Fert, S. A.	25			
12	Ingenio Magdalena, S.A.	27		100	
13	Nutrinsagro, S.A.	29		95	
14	Promociones Agrícolas Industriales y Comerciales, S.A.	31 - 35	0 – 61		
15	Quimicas Stoller de Centroamérica, S.A.	45 - 46			
16	Sermoa, S. A.			28	
17	Soluciones Analíticas, S. A.	35			
18	Talleres del Atlántico, S. A.	26			
19	Tecnología Industrial de Granulados, S.A.	2 - 33			
20	Teutón, S. A.	13 - 100	0 – 100	30 - 100	0 - 100
21	Rango Nacional	2 – 100	0 – 100	28 – 100	0 – 100

Fuente: MAGA (2016)



Cuadro 3. Fuentes de calcio en Guatemala

Fuente	Total	%
CaO	16	80
CaCO <sub>3</sub>	8	40
CaSO <sub>4</sub>	9	45
CaOH	1	5
Total	20	100

Fuente: MAGA (2016)

En el cuadro 2 y 3, se observa que la formulación de CaO es la que más se presenta en el mercado seguido de CaSO<sub>4</sub>, CaCO<sub>3</sub> y la que menos está presente es la formulación de CaOH.

### 1.6.3. Empresas que comercializan magnesio (MgO, MgCO<sub>3</sub>, MgOH)

El cuadro 4, menciona las empresas que ofrecen MgO, MgCO<sub>3</sub>, y MgOH.

Cuadro 4. Empresas que ofrecen MgO, MgCO<sub>3</sub>, y MgOH y que se encuentran registrados en la Unidad de Normas y Regulaciones del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

No.	Empresa	% MgO	% MgCO <sub>3</sub>	% MgOH
1	Agromsa	2 - 92	4 – 70	
2	Atlántica Agrícola de Guatemala, S.A.	10		
3	Bioska, S. A.	10 - 11	25 – 30	
4	Desarrollos Químicos Guatemaltecos, S.A.	15		
5	Disagro de Guatemala, S.A.	15 - 50		
6	Enlace Agropecuario, S.A.	10		
7	Exportadora Enlasa, S. A.	5 - 18	30	
8	Fertilizantes del Pacifico, S.A.	15		
9	Fertilizantes Maya, S.A.		37	
10	Grupo Fert, S. A.	15 - 20		
11	Operaciones Del Campo, S.A.	16		
12	Promociones Agrícolas Industriales y Comerciales, S.A.	15	29 – 41	
13	Químicas Stoller de Centroamérica, S.A.	26 - 27		
14	Talleres del Atlántico, S. A.	5		
15	Tecnología Industrial de Granulados, S.A.	4 - 100		

16	Teutón, S. A.	11 - 100	60 – 100	100
17	Rango Nacional	2 – 100	4 – 100	100

Fuente: MAGA (2016)

#### Cuadro 5. Fuentes de magnesio en Guatemala

Fuente	Total	%
MgO	15	93.75
MgCO <sub>3</sub>	6	37.50
MgOH	1	6.250
Total	16	100

Fuente: MAGA (2016)

El cuadro 5, nos muestra que el MgO es la fuente de magnesio que más se encuentra ya que de 16 empresas que distribuyen fuentes de magnesio 15 empresas distribuyen MgO, le sigue MgCO<sub>3</sub> con 6 tiendas y la que menos se distribuye es MgOH.

#### 1.6.4. Empresas que ofrecen enmiendas a base de Cal dolomita (Ca Mg CO<sub>3</sub>)

En el cuadro 6, se menciona la empresa que ofrece cal dolomita.

#### Cuadro 6. Empresas que ofrecen cal dolomita

No.		% Cal dolomita
1	Fertilizantes Maya, S.A.	82

Fuente: MAGA (2016)

En el registro del MAGA solo un producto está registrado como cal dolomita y los distribuye Fertilizantes Maya, S.A., sin embargo, dentro de la base de datos del MAGA hay muchos productos poseen dentro de su composición CaCO<sub>3</sub> y MgCO<sub>3</sub> que no están registrados como cal dolomita.

### 1.6.5. Resumen general de formulaciones de enmiendas en Guatemala

El cuadro 7, muestra el resumen general de las formulaciones de enmiendas que se comercializan en Guatemala y que presentan un registro vigente.

Cuadro 7. Resumen general de las formulaciones de enmiendas que se comercializan en Guatemala.

Fuente	Total	%
CaO	16	28.07
CaCO <sub>3</sub>	8	14.04
CaSO <sub>4</sub>	9	15.79
CaOH	1	1.75
MgO	15	26.31
MgCO <sub>3</sub>	6	10.53
MgOH	1	1.75
Cal dolomita	1	1.75
Total	57	100

Fuente: MAGA (2016)

Según el cuadro 7, la fuente que más están presente dentro de las enmiendas (cales agrícolas) en Guatemala son: CaO (28.07 %) y MgO (26.31 %) le siguen CaSO<sub>4</sub> (15.79 %), CaCO<sub>3</sub> (14.04 %), MgCO<sub>3</sub> (10.53 %) (MAGA 2016).

### 1.6.6. Países que importan enmiendas (cales agrícolas) a Guatemala

En el cuadro 8, se presentan los países que comercializan enmiendas (cales agrícolas), sus productos comerciales y su composición.

Cuadro 8. Países que importan enmiendas (cales agrícolas) en Guatemala

No.	País	Cantidad de productos registrados	Principales productos	Componentes
1	Brasil	1	IBAR (MCC 90 MgO)	MgO
2	Colombia	6	Acuasil 55	MgO
			Silica - Lake	MgO
			Magnesil Granulado	MgO
			Silcamag Granular	MgO, CaO, S

			Sulfasil Granulado	MgO, S
3	Canadá	1	Wolf Trax Magnesio 30 % DDP	MgO
4	Ecuador	1	Enervit Full	CaO
5	España	2	Kelkat Magnesio	MgO
			Sephu Cal	CaCO <sub>3</sub>
6	Estados Unidos	2	Nordic Yes STD	CaSO <sub>4</sub> , CaO, S
			Econatura	CaSO <sub>4</sub> , Ca, S
7	Guatemala	102		
8	Nicaragua	1	Ca-Mgo-SO4	Ca, MgO, SO4

Fuente: MAGA (2016)

En el cuadro 8, se observa que 7 países importan enmiendas (cales agrícolas) al país ofreciendo 14 (16.24 %) productos con registro hasta el año 2016, mientras que Guatemala posee registrados 102 (87.93 %) productos, lo cual demuestra claramente que la importación de enmiendas es innecesaria debido a que en Guatemala existe materia prima utilizada en fabricación de productos comerciales utilizados como enmiendas.

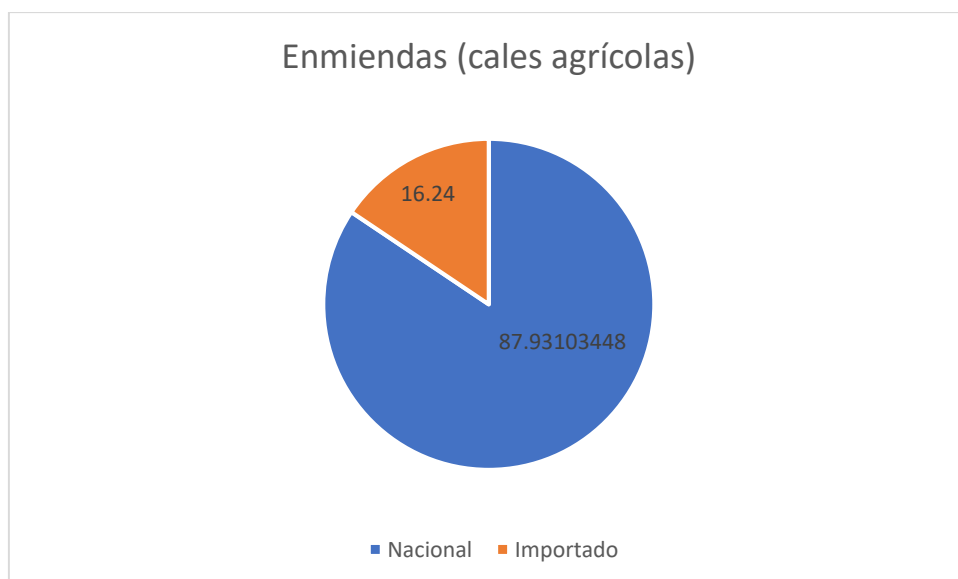


Figura 1. Producción nacional e importación de cales y enmiendas en Guatemala  
Fuente: MAGA (2016)

La cantidad de productos registrados nacionales es del 87.93 % mientras que la importación es de 16.24 % esto debido a que en Guatemala existe materia prima utilizada en fabricación de productos comerciales utilizados como enmiendas (MAGA 2016).

## **1.5. CONCLUSIONES**

1. Hasta el año 2016 en Guatemala existían 24 empresas que comercializaban productos enmiendas (cales agrícolas) con registro ante el MAGA.
2. Las formulaciones de enmiendas (cales agrícolas) registradas son: CaO (28.07 %), CaCO<sub>3</sub> (14.04 %), CaSO<sub>4</sub> (15.79 %), CaOH (1.75 %), MgO (26.31 %), MgCO<sub>3</sub> (10.53 %), MgOH (1.75 %), cal dolomita (1.75 %).
3. El número de países que importan productos de enmiendas (cales agrícolas) son: 7, y tienen registrados 14 productos.
4. Guatemala tiene registrado 102 productos y utiliza materia prima nacional.

## **1.6. RECOMENDACIONES**

1. Hacer pública la información de las empresas registradas que se dedican a comercializar productos de cales y enmiendas.
2. Revisar y actualizar la información debido a que ciertas empresas registran los mismos productos, pero con diferente composición.

## 1.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. De la Cruz S, JR. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.
2. Espina, A. 2015. ¿Como esta la economía de Guatemala en el 2015? Disponible en <http://www.mba.com.gt/?p=6026>
3. Gramajo, J. 2015. Congreso crea nuevo municipio en Huehuetenango. Prensa Libre, Guatemala, octubre 27. Consultado 9 de feb 2018. Disponible en <https://web.archive.org/web/20151028021700/http://www.prensalibre.com/guatemala/politica/congreso-ratifica-estado-de-calamidad-en-el-cambray-2>
4. Hernández, M. 2016. Población supera los 17.1 millones. Prensa Libre, Guatemala, enero, 6. Consultado 9 feb 2018. Disponible en <http://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/poblacion-supera-los-171-millones>
5. INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2004. Censo nacional agropecuario: características generales de las fincas censales y de productoras y productores. Guatemala. 1 CD.
6. \_\_\_\_\_. 2014. Encuesta nacional de empleos e ingresos 1 - 2014. Guatemala. Consultado 15 jul. 2016. Disponible en <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/11/19/L2DEWN0Bo9ArlcqCpcFPSVOzoeFKfIME.pdf>
7. \_\_\_\_\_. 2017. Compendio estadístico ambiental 2016. Guatemala. Consultado 13 abr. 2018. Disponible en <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:WK4K84RBUWgJ:https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2017/11/20/20171120105515PYvVsdamJOx0qMg5xBkLZcbvSzAJogd1.xlsx+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=gt>
8. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala). 2016. Zonas climáticas de Guatemala. Guatemala. Consultado 15 jul. 2016. Disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/zonas%20climaticas.htm>
9. Lazcano - Ferrat, I. s.f. Cal agrícola: Conceptos básicos para la producción de cultivos. Consultado 4 abr. 2018. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/5057DEAFC8DE54CC06256AD1005D7CB9/\\$file/cal+agricola+conceptos+basicos+para+la+produccion+de+cultivos.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/5057DEAFC8DE54CC06256AD1005D7CB9/$file/cal+agricola+conceptos+basicos+para+la+produccion+de+cultivos.pdf)

10. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2001. Mapa fisiográfico - geomorfológico de la república de Guatemala, a escala 1:250,000. Guatemala. Consultado 15 jul. 2016. Disponible en [http://web.maga.gob.gt/wp-content/blogs.dir/13/files/2013/widget/public/mapa\\_fisiografia\\_memoria\\_2001.pdf](http://web.maga.gob.gt/wp-content/blogs.dir/13/files/2013/widget/public/mapa_fisiografia_memoria_2001.pdf)
11. \_\_\_\_\_. 2010. Reglamento para el registro de fertilizantes, enmiendas y sustancias afines y sustancias afines a fertilizantes o enmiendas, ante el ministerio de agricultura, ganadería y alimentación. Guatemala. Consultado 15 abr. 2018. Disponible en <http://sistemas.maga.gob.gt/normativas/Normativas?page=3&categoriaId=21>
12. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Oficina de Información al Público, Guatemala). 2016. Consolidado de registro de fertilizantes (Hoja Excel). (D. Tepeu, Entrevistador).
13. Sánchez, M. 2017. Que són las enmiendas del suelo. Consultado 4 abr. 2018. Disponible en <https://www.jardineriaon.com/que-son-las-enmiendas-del-suelo.html>
14. Simmons, C; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Instituto Agropecuario Nacional. 1000 p.
15. Tobías, H; Lira, E. 2000. Primera aproximación al mapa de clasificación taxónomica de los suelos de la república de Guatemala a escala 1:250,000. Consultado 7 jul. 2018. Disponible en [http://web.maga.gob.gt/wp-content/blogs.dir/13/files/2013/widget/public/mapa\\_taxonomica\\_memoria\\_tecnica\\_2000.pdf](http://web.maga.gob.gt/wp-content/blogs.dir/13/files/2013/widget/public/mapa_taxonomica_memoria_tecnica_2000.pdf)

## **CAPÍTULO II**

**EVALUACIÓN DEL MATERIAL ORGÁNICO (COMPOST) SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO ENTISOL TRATADO CON VINAZA EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA “SALVADOR CASTILLO”, FACULTAD DE AGRONOMÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.**

**EVALUATION OF THE ORGANIC MATERIAL (COMPOST) ON THE CHEMICAL PROPERTIES OF A SOIL ENTISOL TREATED WITH VINAZA IN THE LABORATORY OF SOIL, PLANT AND WATER "SALVADOR CASTILLO", FACULTY OF AGRONOMY, UNIVERSITY OF SAN CARLOS DE GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.**



## 2.1. PRESENTACIÓN

Según el BANGUAT (2016) uno de los principales cultivos de importancia económica en Guatemala es la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) debido a los altos ingresos económicos que registra el país producto de las exportaciones de azúcar y alcohol. En el 2011 la producción de azúcar fue de 2,499,200 T lo cual generó un ingreso económico de \$ 198 millones, mientras que la producción de alcohol en cuatro ingenios de Guatemala fue de 265 millones de litros alcanzando un ingreso económico al país de \$ 67 millones, en ese mismo año Guatemala fue el décimo mayor productor de azúcar, el cuarto mayor exportador, el tercer más competitivo y el más eficiente en la capacidad de carga en puerto. (Espinosa Smith 2011 y SIB 2011)

Jaramillo (2016) menciona que el Ingenio Magdalena posee el primer lugar en la producción de azúcar, ya que en el año 2015 el ingenio produjo 700,000 T de azúcar por zafra donde el 80 % de la producción se exportó, el 20 % restante se quedó en el mercado local, mientras que en la producción de alcohol fue de 89,432,393 L.

Durante el proceso industrializado que sufre la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), se producen desechos orgánicos como cachaza y vinaza. La cachaza se obtiene a partir de la clarificación que se le hace al jugo de caña la cual se obtiene en la salida de los filtros al vacío, el volumen de producción de este material orgánico es de 30 kg – 50 kg de cachaza por tonelada de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), mientras que para la destilación de 1 L de alcohol se producen 13 L de vinaza (Espinosa Smith 2011 y ECURED 2017, Zérega M.).

La cachaza es un material rico en P, Ca, Mg, N, K, Fe y materia orgánica mientras que la vinaza es un material con alto contenido de K, N, y P. Estos subproductos se han venido aplicando al suelo como enmiendas o aporte de nutrientes en áreas cañeras cercanas a los ingenios con muy buenos resultados (ECURED 2017, Zérega M. 1993). Sin embargo, la aplicación de vinaza en grandes cantidades puede afectar negativamente las

características físicas, químicas, y biológicas, reduciendo el desarrollo de las plantas y su rendimiento. (Dávila Rincon *et al.* 2008).

Para tratar de remediar o amortiguar el efecto de las aplicaciones altas de vinaza sobre las propiedades químicas de suelo se planteó aplicar cachaza composteada como fuente de materia orgánica.

Los objetivos específicos que se plantearon en la investigación fueron evaluar el efecto siete niveles de compost sobre las propiedades químicas de un suelo tratado con vinaza 900 m<sup>3</sup> y el efecto sobre el rendimiento de sorgo (*Sorghum* spp.) como planta indicadora a nivel de invernadero.

La investigación se dividió en dos fases: laboratorio e invernadero, en la parte de laboratorio se caracterizó químicamente el suelo, vinaza, cachaza. Además, se realizaron análisis químicos a los suelos tratados y al tejido vegetal de las plantas de sorgo (*Sorghum* spp.). En la parte de invernadero se practicó una prueba biológica para evaluar el efecto de los niveles del material orgánico aplicados a los suelos tratados con vinaza sobre el rendimiento de materia seca en el sorgo (*Sorghum* spp.).

El efecto del compost aplicado al suelo tratado con 900 m<sup>3</sup> de vinaza sobre los parámetros químicos del suelo fue analizado estadísticamente con un modelo de regresión cuadrática. El rendimiento de la biomasa seca de sorgo (*Sorghum* spp.) en los tratamientos fue analizado a través de un análisis de varianza. Los resultados de dicha investigación determinaron que las aplicaciones de distintos niveles de cachaza elevaron el pH y P del suelo y disminuyeron el Fe y Mn, también, se determinó que las aplicaciones de cachaza en suelos tratados con altos contenidos de vinaza no influyeron en el rendimiento del cultivo.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Marco conceptual

#### A. Suelos Entisoles

Ibáñez Asensio (s.f.) establece que son suelos jóvenes, cuyas propiedades están determinadas por el material original, no presentan horizontes genéticos excepto un horizonte A.

Bertsch Hernández (1995) define que son suelos con menor desarrollo, con poca identidad pedogénica, presentan poca profundidad radical, exceso de humedad, alta susceptibilidad a inundaciones, erosión hídrica y/o eólica.

Según Porta Casanellas *et al.* (2003) agrupan suelos que no tienen perfil diferenciado, son de tipo AR, ACR, AC, A2C3C...nC, en ocasiones se presentan perfiles ABwC, son suelos muy jóvenes con erosión fuerte, de llanura aluviales, el exceso de agua impide la diferenciación de horizontes, suelos muy ricos en minerales de tamaño de arena.

#### B. Vinaza

La vinaza es un residuo líquido espeso de color café obtenido de la fermentación de azúcares donde se obtienen 13 L de vinaza de la destilación de 1 L de alcohol. Posee un pH ácido y una alta conductividad eléctrica por las grandes cantidades de sales inorgánicas que se encuentra presentes especialmente sales de K. Debido a su bajo costo y alto contenido de N, P, K la vinaza es utilizada como fertilizante en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) sustituyendo fertilizantes químicos (Ecured 2017, Robles González y Castillejos s.f., Pineda Ruiz *et al.* 2015, Dávila Rincón *et al.* 2008, Gómez Toro 1996, Subirós y Molina 1992, Monteiro Fernandes 2008, Leal G. *et al.* 2003).

### a. Composición química de la vinaza

La composición química de la vinaza depende de la naturaleza y de la composición de la materia prima, del sistema de preparación del mosto, del método de fermentación, del tipo de levadura, tipo de alcohol producido, tipo de maquinaria de destilería utilizada, tipo de destilería, técnica de destilación (Aristizábal Alzate 2015).

Dentro de los principales componentes de la vinaza se encuentran compuestos orgánicos como: ácidos orgánicos, alcoholes, aldehídos, compuestos fenólicos recalcitrantes, como las melanoidinas (ECURED 2017).

Rincón Acelas (2008) menciona que la vinaza es el resultado final de la fermentación del mosto donde la composición es de: 80 % – 90 % agua, Etanol 4 % – 8 %, Glicertol 0.4 % – 0.6 %, ácido acético: 0.1 % – 0.2 %, Levadura 0.7 % – 1 %, materia orgánica 5 % – 10 %. El pH ácido de la vinaza se debe a la degradación anaerobia debido a las bacterias fermentativas o hidrolíticas las cuales son las que hidrolizan la materia orgánica polimérica, bacterias acidogénicas las cuales son las encargadas de generar ácido acético, butírico, propiónico, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, bacterias acetogénicas son las encargadas de convertir el ácido butírico y propiónico en ácido acético, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, bacterias metanogénicas son las encargadas de producir metano.

García O, A y Rojas C. (s.f.) señalan que los constituyentes de la vinaza son:

- Sustancias inorgánicas solubles donde predominan los iones Ca, K, N, P y S
- Células muertas de levadura.
- Alcohol y azúcar residual.
- Sustancias orgánicas insolubles.
- Sustancias orgánicas volátiles.

## **b. Efecto de la vinaza en el suelo**

La vinaza al ser aplicada en el suelo aumenta el valor de su pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), % de materia orgánica y conductividad eléctrica donde la conductividad eléctrica aumenta debido a la concentración de sales que la vinaza aporta al suelo especialmente K (Dávila Rincón *et al.* 2008).

El aporte constante de sales solubles provoca una acelerada salinización del suelo y con ello posibles deficiencias en el desarrollo inicial del cultivo (Alfaro Portuguez y Ocampo s.f.).

Rincón Acelas (2008) cita que “la vinaza reduce la permeabilidad del suelo obstruyendo la infiltración provocando una degradación anaerobia que da como resultado olores desagradables”.

## **C. Materia orgánica**

Garrido Valero (s.f.) cita que “es la cantidad de restos orgánicos que se encuentran alterados y que por lo tanto pueden aumentar el contenido de nutrientes en el suelo”.

Román *et al.* (2013) definen que la materia orgánica “es cualquier tipo de material de origen animal o vegetal que regresa al suelo después de un proceso de descomposición en el que participan microorganismos”.

“La materia orgánica es la fracción orgánica del suelo que incluye restos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes del suelo” (Fassbender y Elmer 1987).

El cuadro 9, presenta la clasificación de la materia orgánica y carbono orgánico de los suelos.

Cuadro 9. Clasificación de la materia orgánica y carbono orgánico de los suelos.

Interpretación	% de materia orgánica	% de carbono orgánico
Muy bajos	<2	<1.2
Bajos	2 a 5	1.2 a 2.9
Medios	5 a 8	2.9 a 4.6
Altos	8 a 15	4.6 a 8.7
Muy altos	>15	>8.7

Fuente: Fassbender y Elmer (1987)

#### a. Importancia de la materia orgánica

Regula los procesos químicos que allí ocurren, influye en las características físicas y es el centro de las actividades biológicas del suelo, libera N, P, S y micronutrientes disponibles para la planta, estabiliza la acidez del suelo a través de su poder amortiguador, mejora la CIC, forma agregados individuales mejorando la estructura del suelo disminuyendo la plasticidad del suelo, mejora la infiltración del agua mejorando la capacidad de drenaje haciendo un uso más eficiente del agua (Fassbender y Elmer 1987).

La adición continua de residuos de plantas y materia orgánica por medio de su transformación por los organismos del suelo, proporciona la capacidad para la auto recuperación de la arquitectura del suelo que ha sido dañada (FAO 2006).

Los materiales orgánicos (residuos de plantas) en la superficie del suelo pueden proporcionar el amortiguamiento físico contra el impacto de las gotas de lluvia y la insolación directa (FAO 2006).

Labrador Moreno *et al.* (s.f.) menciona que una acción directa de la materia orgánica humificada sobre el suelo es el aumento del poder amortiguador del mismo, reduciendo con ello el riesgo de variaciones bruscas del pH. Este aumento del poder tampón es

fundamental en los suelos agrícolas, por los efectos negativos que conllevaría la variación brusca del pH sobre la vida microbiana, la asimilabilidad o el bloqueo de algunos elementos minerales, con consecuencias inmediatas sobre los cultivos más sensibles, etc.

La FAO, s.f.a. menciona que el efecto general del incremento de la materia orgánica en el suelo causa un mejoramiento en la capacidad amortiguadora y de la resiliencia del suelo a diferentes tipos de degradación o estrés, también una de las funciones de la materia orgánica es la de fijar y disminuir la toxicidad de contaminantes que se encuentran presentes en el suelo ya sean de tipo orgánicos como pesticidas o minerales (aluminio).

#### **b. Composición de la materia orgánica**

La materia orgánica de un suelo depende de: materia orgánica fresca (materia orgánica no humificada) y humus. Donde la materia orgánica fresca (materia orgánica no humificada) está integrada por biomasa vegetal (parte aérea de la vegetación, raíces, deyecciones, secreciones de animales), la Biomasa microbiana (masa de microorganismo y microfauna menores de  $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ ). El humus está constituido por sustancias resultantes de la alteración de productos sintetizados de las plantas y microorganismos (Porta Casanellas *et al.* 2003). El cuadro 10, muestra los grupos del material originario de la materia orgánica del suelo.

#### **c. Mineralización**

Jaramillo J. (2002) menciona que: “el proceso de mineralización consiste en la transformación de compuestos orgánicos a compuestos inorgánicos y es eminentemente microbiológico. Son de gran importancia para la nutrición de la planta las transformaciones del N y del S que llevan estos nutrientes a formas fácilmente aprovechables”.

La AEFA (s.f.) indica que: “es la transformación de la materia orgánica del suelo a través de un proceso que conduce a la formación de sales minerales, en las que los elementos fertilizantes son asimilables para las plantas”.

S. Izquierdo y Venegas Yuste, (s.f.) determinan que es el proceso donde los microorganismos interactúan con la materia orgánica del suelo convirtiéndola en forma inorgánica, mejorando la estructura y la fertilidad del suelo, donde la mineralización depende de la disponibilidad de oxígeno y agua, los suelos aireados por lo general son de uso agrícola los cuales poseen un 10 % de materia orgánica, mientras que los suelos pantanosos un 90 % de materia orgánica.

Cuadro 10. Grupos de compuestos del material originario de la materia orgánica del suelo.

Componentes químicos del material originario de la materia orgánica del suelo	
Hidratos de Carbono	Monosacáridos: Pentosas, hexosas
	Oligosacáridos: Sacarosa, maltosa
	Polisacáridos: Arabanas, poliurónidos
Ligninas	Polímeros derivados del fenilpropano
Taninos	Complejos fenólicos
Glucósidos	Compuestos glucosa + alcohol, fenol o aldehídos
Ácidos orgánicos, sales y ésteres	Ácido oxálico, cítrico, málico, etc.
Lípidos y afines	Grasas y aceites: Esteres glicéricos
	Ceras: Esteres no glicéricos
	Aceites esenciales derivados del terpeno
Resinas	Ácidosresinicos
Compuestos nitrogenados	Proteínas, aminoácidos, aminos y bases orgánicas
	Alcaloides
	Purinas, pirimidinas, ácidos nucleicos
Pigmentos	Clorofilas
	Carotenoides
	Antocianinas
Compuestos minerales	Aniones y cationes

Fuente: Navarro Blaya y Navarro García (2003)



#### **d. Factores que afectan la mineralización**

Dentro de los principales factores que afectan la mineralización se encuentran: temperatura y ambiente, pH, vegetación, relación C/N, microorganismos (Porta Casanellas *et al.* 2003, Fassbender y Bornemisza 1987, Labrador Moreno *et al.* s.f., Julca y Otiniano *et al.* 2006, Garrido Valero s.f. Bertsch Hernández 1995, Navarro Blaya y Navarro García 2003).

#### **D. Cachaza**

Guinea *et al.* 2008 definen que la cachaza es el “residuo orgánico de color pardo oscuro, proveniente de la etapa de filtración, constituido por lodos que se ha sedimentado durante el proceso de clarificación del jugo de la caña e incluye materias terrosas, ceras e impurezas orgánicas y sale con una humedad de entre 70 % – 80 %”.

La cachaza se produce durante la clarificación que se hace al jugo de caña, la cual es recogida a la salida de los filtros al vacío, presentando aproximadamente un 25 % de materia seca. Las características físicas de la cachaza es que es un material esponjoso, amorfo, de color oscuro a negro, que absorbe grandes cantidades de agua. Aproximadamente se obtienen de 30 kg – 50 kg de cachaza a partir de una tonelada de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) (Zérega 1993).

##### **a. Composición química de la cachaza**

La cachaza contiene muchos de los coloides de la materia orgánica originalmente dispersa en el jugo, juntamente con cationes y aniones orgánicos e inorgánicos que precipitan durante la clarificación. Otros compuestos no azúcares son incluidos en esos precipitados. la cual es utilizada principalmente como fuente de P, no altera el pH ni aumenta la conductividad eléctrica del suelo, mejora la retención de humedad (Zérega 1993).

El alto contenido de P se debe a que algunas fábricas tratan con fosfato al jugo para clarificarlo más rápido. Los bajos contenidos de K que exhibe la cachaza son por la gran solubilidad de este elemento, lo cual le permite irse en los jugos hasta que es separado con la melaza y vinaza. El alto contenido de N se debe a la elevada cantidad de materia orgánica que presenta, la cachaza también aporta grandes cantidades de Zn y Mg. (Zérega M., 1993).

#### **b. Cachaza composteada**

El material orgánico que utiliza la industria azucarera es la cachaza a la cual se le aplicó vinaza durante los volteos y se homogenizó a campo abierto (Guinea *et al.* 2008).

#### **c. Efecto de la cachaza en el suelo**

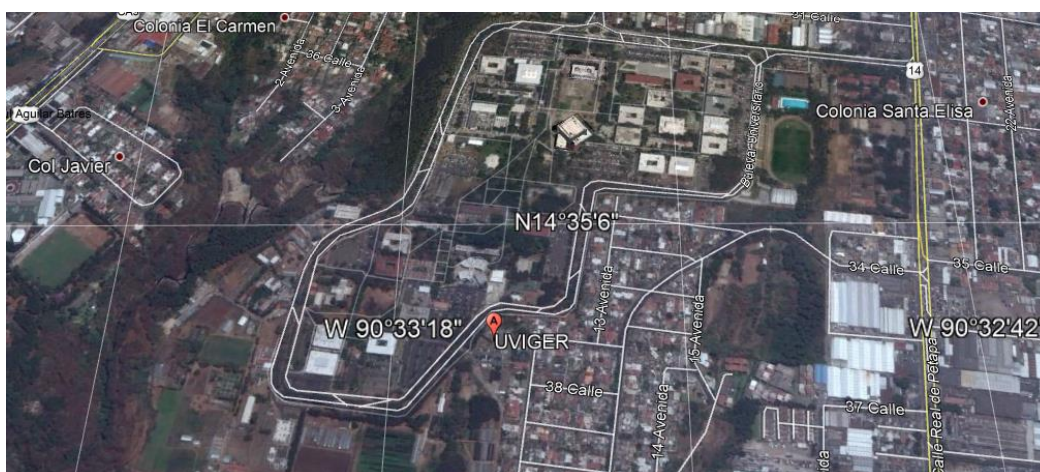
La aplicación de cachaza en el suelo favorece el número y longitud de las raíces de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*), diámetro del tallo y la absorción de N y K (Hernández Melchor *et al.* 2008).

Guinea Díaz (2013) determinó que la adición de vinaza en dosis de 1, 2 y 3 m<sup>3</sup> en 1 T de cachaza eleva la concentración de K y limita la disponibilidad de P en el suelo.

## 2.2.2. Marco referencial

### A. Ubicación geográfica y división política

El proyecto de investigación se desarrolló en el Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, geográficamente ubicado en las coordenadas  $14^{\circ} 35'11''$  latitud norte  $90^{\circ} 35'58''$  longitud oeste, a una altitud de 1,502 m s.n.m. (De La Cruz 1982). La Figura 3, presenta la localización geográfica del edificio de UVIGER.



Fuente: Google earth (2017)

Figura 2. Localización geográfica del edificio UVIGER.

### B. Clima y zonas de vida

Según De La Cruz (1982) la Ciudad de Guatemala se encuentra dentro de la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical Templado (Bh - st). Bajo las siguientes condiciones:

- Precipitación media anual: 1216.2 mm
- Temperatura media anual: 18.3 °C
- Humedad relativa (media): 79 %
- Insolación promedio: 6.65 h/día radiación: 0.33 cal/cm<sup>2</sup> /min

### C. Antecedentes

El Centro de Investigación y Capacitación de la caña de Azúcar (CENGICAÑA) realizó un estudio en la evaluación de las aplicaciones de vinaza en el cultivo de Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) y su efecto en un suelo Andisol de Guatemala, los factores evaluados de dicha investigación fueron: la aplicación de vinaza con niveles de 0 m<sup>3</sup>/ha, 10 m<sup>3</sup>/ha, 30 m<sup>3</sup>/ha, 60 m<sup>3</sup>/ha, y 90 m<sup>3</sup>/ha, y N con niveles de 0 kg/ha, 50 kg/ha, 100 kg/ha. y 100 kg/ha. Los resultados de la investigación demostraron que con los mayores niveles se obtuvieron mejores rendimientos, sin embargo, la concentración de N no aumento. La conclusión fue que las aplicaciones continuadas de vinaza incrementan significativamente los rendimientos de caña independientemente del nivel de N aplicado. (Pérez *et al.* 2009).

Guinea Díaz (2013) evaluó el efecto de la adición de vinaza a la cachaza para la elaboración de compost, como alternativa al uso de los subproductos de la industrialización de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), los tratamientos evaluados fueron 0 m<sup>3</sup>, 1 m<sup>3</sup>, 2 m<sup>3</sup> y 3 m<sup>3</sup> de vinaza por tonelada de cachaza. El resultado de la investigación fue que el K fue el único elemento que mostró una respuesta positiva a la aplicación de vinaza. La conclusión de dicha investigación es que no se evidenció diferencia significativa en el aporte de N con las diferentes dosis de vinaza que fueron aplicadas a la cachaza, el contenido de P en el compost presentó diferencias estadísticamente significativas donde se observó que a medida que se aumentó el volumen de aplicación de vinaza el P disminuyó.

Hernández Melchor *et al.* (2008) evaluaron en Chiapas México el uso de vinaza y compost de cachaza como fuente de nutrientes en la producción del cultivo caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en un suelo gleysolmólico. Los tratamientos fueron: un testigo absoluto, un tratamiento al que se le aplico 150 m<sup>3</sup> de vinaza, y otro con 250 m<sup>3</sup> de vinaza, al cuarto tratamiento se le fertilizo químicamente N (16), P (80), K (80) y al último tratamiento se le aplicaron 15 T de cachaza, los resultados de la investigación reflejaron que la vinaza y la cachaza no afectaron el pH del suelo, ni la conductividad eléctrica y la CIC. La aplicación de 250 m<sup>3</sup> de vinaza y la aplicación de 15 T de composta de cachaza

incremento los niveles de materia orgánica, K, P, y los rendimientos en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

Guerrero Quiroz y Pérez Vázquez (2013) utilizó la aplicación de vinaza y compost de cachaza para evaluar el efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), los tratamientos evaluados fueron 150 y 250 m<sup>3</sup> de vinaza, fertilización N (160), P (80), K (80), 15 T de compost y un testigo absoluto. Se concluyó que la aplicación de cachaza en el suelo mejoró la estructura del suelo, la capacidad de infiltración y retención de agua, también se demostró que la aplicación de este material aportó grandes cantidades de P, N, K, Ca, y Mg estimulando el crecimiento radical y un aumento en la actividad microbiana. La aplicación de vinaza aportó una mayor cantidad de K y materia orgánica al suelo comparado con la cachaza.

Bohórquez *et al.* (2014) evaluaron la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), sus tratamientos fueron: 100 % cachaza (T1), 75 % cachaza y 25 % bagazo (T2), 50 % cachaza y 50 % bagazo (T3), 25 % chaza y 75 % bagazo (T4), y 100 % bagazo (T5) todos los tratamientos fueron tratados con 2 m<sup>3</sup> de vinaza, el uso de cachaza para la elaboración de compost incremento el contenido de N, P, K, y se concluyó que el tratamiento que presentó la mejor calidad y los mejores contenidos nutricionales fue el correspondiente a la mezcla de 50 % de Cachaza y 50 % de Bagazo.

Romero *et al.* (2015) evaluaron el manejo de composta a base de cachaza y vinaza para reducir el uso de fertilizantes químicos en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) debido al incremento de costos, los tratamientos evaluados fueron 5 T/ha, 10 T/ha, 15 T/ha y 20 T/ha de composta donde el tratamiento de 15 T de composta fue el que presentó una mejor respuesta por parte del cultivo debido a que el uso de composta de cachaza como abono en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

## **2.3. OBJETIVOS**

### **2.3.1. Objetivo general**

Aumentar el conocimiento sobre el efecto del material orgánico (compost) utilizado en el Ingenio Magdalena sobre un suelo de orden Entisol aplicado con vinaza.

### **2.3.2. Objetivos específicos**

1. Determinar a nivel de laboratorio el efecto de la aplicación del material orgánico (compost) en las características químicas de un suelo de orden Entisol proveniente de la zona cañera tratado con vinaza.
2. Determinar a nivel de invernadero el efecto de la aplicación del material orgánico (compost) en el rendimiento del cultivo de sorgo (*Sorghum* spp.) en un suelo de orden Entisol tratado con vinaza.

## **2.4. HIPÓTESIS**

Los niveles de material orgánico (compost) que se aplican al suelo tratado con 900 m<sup>3</sup> de vinaza no tienen el mismo efecto sobre las características químicas.

## 2.5. METODOLOGÍA

### 2.5.1. Antecedentes

Se realizó la segunda fase de la investigación evaluación de vinaza en fase de laboratorio e invernadero con un suelo Entisol de la costa sur, la metodología de la investigación consistió en aplicar distintas dosis de materia orgánica a los suelos Entisoles tratados con vinaza.

El proyecto se dividió en dos fases: Fase de laboratorio y fase de invernadero, la investigación se llevó a cabo en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el edificio de Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos (UVIGER).

### 2.5.2. Fase de laboratorio

#### A. Caracterización de la vinaza

El cuadro 11, muestra la caracterización química de la vinaza que se realizó en el laboratorio de Análisis de Suelos, Planta y Agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Cuadro 11. Caracterización química de la vinaza.

Parámetro	Metodología utilizada
Ph	Electrométricamente electro de vidrio (potenciómetro)
C.E.	Conductímetro
N	Kjeldahl
K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Mn, Fe	Espectrofotometría de Absorción Atómica
P	Melich I

C.E. = conductividad eléctrica

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Planta y Agua de la Universidad de San Carlos de Guatemala (2016).

## B. Caracterización química del compost

El cuadro 12, muestra la caracterización química del compost que se realizó en el laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Cuadro 12. Caracterización química del compost.

Parámetro	Metodología utilizada
Ph	Electrométricamente electro de vidrio (potenciómetro)
C.E.	Conductímetro
Nt	Kjeldahl
K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Mn, Fe	Espectrofotometría de Absorción Atómica
P	Mehlich I
CO	Walkley – Black
C/N	Se dividió el % de C.O. dentro del % de N total

C.E. = conductividad eléctrica, Nt = N total, CO = carbono orgánico

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Planta y Agua de la Universidad de San Carlos de Guatemala (2016).

## C. Caracterización de propiedades químicas de un suelo Entisol

El cuadro 13, presenta la caracterización de las propiedades químicas de un suelo Entisol que se realizó en el laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### 2.5.3. Diseño experimental

El ensayo se trabajó con un diseño Completamente al Azar ya que las condiciones del ensayo fueron homogéneas debido a que la investigación se estableció en un invernadero.



## A. Factor de estudio

El factor de estudio fue la aplicación de distintas dosis de materia orgánica en suelos tratados con vinaza utilizando sorgo (*Sorghum* spp.) como planta indicadora.

Cuadro 13. Caracterización de propiedades químicas de un suelo Entisol.

Parámetro	Metodología utilizada
Ph	Electrométricamente electro de vidrio (potenciómetro)
C.E.	Conductímetro
N total	Kjeldahl
K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Mn, Fe	Espectrofotometría de Absorción Atómica
P	Mehlich I
MO	Walkley – Black
CIC	CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>

C.E. = conductividad eléctrica, Nt = N total, MO = materia orgánica, CIC = capacidad de intercambio catiónico

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Planta y Agua de la Universidad de San Carlos de Guatemala (2016).

## B. Unidad experimental

Las unidades experimentales fueron 24 recipientes de plástico con capacidad para 3 kg de suelo producto de 1 testigo con tres repeticiones y 7 tratamientos con 3 repeticiones.

## C. Tratamientos evaluados

El cuadro 14, presenta los tratamientos evaluados durante la investigación.

Cuadro 14. Dosis de material orgánico (Compost) en suelos tratados con vinaza.

Tratamiento	Tratamiento/maceta	Tratamiento/ha
Testigo	2 kg de suelo	
1	2 kg suelo + 900 mL vinaza	900 m <sup>3</sup> vinaza
2	2 kg suelo + 900 mL vinaza 15 g compost	900 m <sup>3</sup> vinaza + 15 T compost
3	2 kg suelo + 900 mL vinaza 30 g compost	900 m <sup>3</sup> vinaza + 30 T compost
4	2 kg suelo + 900 mL vinaza 60 g compost	900 m <sup>3</sup> vinaza + 60 T compost
5	2 kg suelo + 900 mL vinaza 120 g compost	900 m <sup>3</sup> vinaza + 120 T compost
6	2 kg suelo + 900 mL vinaza 240 g compost	900 m <sup>3</sup> vinaza + 240 T compost
7	2 kg suelo + 900 mL vinaza 480 g compost	900 m <sup>3</sup> vinaza + 480 T compost

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Planta y Agua de la Universidad de San Carlos de Guatemala (2016).

#### D. Arreglo espacial

El arreglo espacial del ensayo fue aleatorio durante todo el ensayo para mantener debido a que se trabajó con un diseño completamente al azar.

#### E. Variable respuesta

##### a. Análisis químicos del suelo

Luego de haber sido incubado 15 días los tratamientos se procedieron a realizar el muestreo de suelos de cada unidad experimental obteniendo 200 g de suelo, el cual se procedió a secar a temperatura ambiente, luego se tamizó para que los tratamientos fueran analizados químicamente el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego se llenaron las 24 macetas con 2 kg del suelo tratado con vinaza y compost. El cuadro 15, muestra los parámetros evaluados en el análisis químico de los tratamientos.

Cuadro 15. Parámetros evaluados en el análisis químico de los tratamientos.

Parámetro	Metodología utilizada
Ph	Electrométricamente electro de vidrio (potenciómetro)
C.E.	Conductímetro
Nt	Kjeldahl
K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Mn, Fe	Espectrofotometría de Absorción Atómica
P	Mehlich I
MO	Walkley–Black
CIC	CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>

C.E. = conductividad eléctrica, Nt = N total, MO = materia orgánica, CIC = capacidad de intercambio catiónico

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Planta y Agua de la Universidad de San Carlos de Guatemala (2016).

#### **b. Rendimiento de la biomasa aérea**

La biomasa aérea se obtuvo de cada unidad experimental a los 35 días de haber realizado la siembra. Se realizó el corte de plantas de sorgo (*Sorghum* spp.) tomando una altura de 1 cm a partir de la base del suelo a la planta. Posteriormente se introdujeron en bolsas de papel previamente identificadas y se secaron en un horno de convección a 65 °C durante 24 h hasta alcanzar peso constante. Luego fueron pesadas en una balanza semianalítica para determinar el peso expresado en gramos por planta.

#### **c. Contenido nutricional de la planta**

Las plantas ya después de haber sido secadas y pesadas fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala donde se le realizó un análisis foliar a cada unidad experimental. El cuadro 16, presenta los parámetros evaluados en el análisis foliar de los tratamientos.

Cuadro 16. Parámetros evaluados en el análisis foliar de los tratamientos.

Parámetro	Metodología utilizada
N total	Kjeldahl
K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Mn, Fe, P, S	Calcinación
S	Turbidimétrico
B	Azometina

Laboratorio de Análisis de Suelos, Planta y Agua de la Universidad de San Carlos de Guatemala (2016).

#### 2.5.4. Fase de invernadero

##### A. Preparación del suelo

El suelo se puso a secar a temperatura ambiente donde fue homogenizado y tamizado con un tamiz de 10 mm. Luego del secado y tamizado se depositaron 2 kg de suelo en 24 bolsas plásticas de 11 kg, las cuales fueron pesadas con una balanza de monoplato.

##### B. Preparación del compost

El compost se puso a secar a temperatura ambiente donde fue homogenizado y tamizado con un tamiz 10 mm.

##### C. Preparación de los tratamientos

Se pesaron 2 kg de suelo en cada unidad experimental, las cuales fueron identificadas por tratamiento y repetición en bolsas de 11 kg, donde se les aplicó 900 mL de vinaza a todos los tratamientos y sus repeticiones a excepción del testigo al cual solo se le aplicó 900 mL de agua, el suelo aplicado con vinaza se dejó en incubación por siete días, durante el proceso de incubación todos los tratamientos y el testigo fueron homogenizados por medio de volteos.

Las dosis de compost fueron pesadas en una balanza semianalítica según los tratamientos establecidos. El compost fue aplicado a los siete días de haber sido incubado el suelo con vinaza, posteriormente a los tres días se les aplicó 300 mL de agua a todos los tratamientos incluyendo el testigo con sus respectivas repeticiones. Todos los tratamientos se dejaron en incubación por ocho días donde se les homogenizó y se les aplicó volteos diariamente, luego del proceso de quince días que se llevó en la preparación de los tratamientos fueron llenadas las 24 macetas con 2 kg del suelo tratado con vinaza y compost.

### **2.5.5. Prueba biológica**

#### **A. Siembra**

Se sembraron 15 semillas de sorgo (*Sorghum* spp.) y posteriormente a los 12 días se efectuó un raleo de plantas donde se seleccionaron las 7 mejores plantas para ser evaluadas.

#### **B. Riego**

Se aplicó 50 mL de agua a cada maceta en el primer día, ya que el suelo contaba con suficiente humedad producto de la aplicación de vinaza y de los 300 mL de agua, posteriormente se aplicó 100 mL de agua de lunes a jueves y viernes se aplicó 200 mL.

#### **C. Control fitosanitario**

No existió un control de malezas ya que estas no se presentaron por lo tanto no afectaron el desarrollo de la planta, tampoco se presentaron problemas de plagas.

## D. Cosecha

Las plantas fueron cosechadas a los 35 días de haber sido realizada la siembra donde fueron cortadas a partir de un centímetro de la raíz, posteriormente fueron llevadas al laboratorio para que pudieran ser secadas en un horno de convección para que posteriormente fueran analizadas químicamente.

### 2.5.6. Análisis de la información

Se realizó un análisis de varianza a la variable peso seco de los tratamientos, donde se evaluó si hubo o no una diferencia significativa. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$\mu$  = efecto de la media general

$\tau_i$  = efecto de los tratamientos

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental

Posteriormente se procedió a realizar una prueba de Skott & Knott a la variable dependiente peso seco, para determinar cuál fue el mejor tratamiento.

Para la variable contenido nutrimental de la planta se realizó un análisis foliar para cada tratamiento.

La composición química del suelo fue evaluada por medio de un análisis químico, posteriormente se realizó un análisis de regresión cuadrático a cada elemento, los parámetros evaluados fueron: pH, conductividad eléctrica, CIC, materia orgánica, C, N, K, Mg, Na, Ca, P, Fe, Mn, Zn y Cu estos parámetros se tomaron como variables independientes.

## 2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta los resultados de las caracterizaciones del suelo, vinaza y compost utilizados en la investigación.

### 2.6.1. Caracterización química de la vinaza

El cuadro 17, muestra los resultados de la caracterización química de la vinaza utilizada en la investigación.

Cuadro 17. Análisis químico de la vinaza utilizada en la investigación.

Fuente	pH	mS/cm	ppm						%			
		C.E.	P	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	K	Ca	Mg	Nt
Vinaza	4.90	24.80	112	0.9	1.4	40	2.3	400	1.43	0.31	0.06	0.13

C.E. = conductividad eléctrica, Nt = N total

El cuadro 17, muestra el valor de la C.E. de 24.80 mS/cm el cual se considera alto como consecuencia de las concentraciones altas de sales (K, Ca, Nt, Mg y P) y compuestos orgánicos solubles. El valor del pH es de 4.90 clasificado como fuertemente ácido debido en gran medida al proceso de fermentación anaerobio causado por las bacterias acidogénicas y acetogénicas las cuales producen ácido acético (Rincón Acelas 2008).

El ácido acético es el resultado del proceso de una de las formas de producir alcohol, este proceso se da por medio de la reducción de ácidos carboxílicos y esterés, donde los ácidos carboxílicos son ácidos débiles debido a que estos solo son ionizados en 1.3 % en agua. La oxidación del etanol también produce ácido acético (Carey 2006).

### 2.6.2. Aporte teórico nutrimental de la vinaza expresado en m<sup>3</sup>

El cuadro 18, muestra el aporte nutrimental de la vinaza en las dosis de 1 m<sup>3</sup> y 900 m<sup>3</sup>.

Cuadro 18. Aporte nutrimental de la vinaza.

Tratamiento	kg/ha						g/ha			
	P	K	Ca	Mg	Na	Nt	Cu	Zn	Fe	Mn
1 m <sup>3</sup>	0.112	14.3	3.1	0.6	0.4	1.3	0.9	1.4	0.04	2.3
900 m <sup>3</sup>	100	12870	2790	540	360	1170	810	1260	36	2070

El cuadro 18, muestra las cantidades teóricas de nutrientes aportados en la aplicación de 1 m<sup>3</sup> y 900 m<sup>3</sup> de vinaza en el suelo, donde los elementos con mayor aporte fueron: K, Ca, Nt, Mg, Na, y P. Para los microelementos sobresalen: Mn y el Zn.

### 2.6.3. Caracterización química del compost

El cuadro 19, presenta el resultado del análisis químico del material orgánico (compost de cachaza) utilizado en la investigación.

Cuadro 19. Análisis químico del compost de cachaza.

pH	mS/cm	%						ppm					C/N
		C.E.	P	K	Ca	Mg	CO	Nt	Cu	Zn	Fe	Mn	
8.3	5.254	1.06	0.38	2.81	0.24	5.81	0.65	20	90	5650	255	350	8.9:1

C.E. = conductividad eléctrica, Nt = N total, CO = carbono orgánico

El contenido de MO es de 10 % valor considerado bajo si se relaciona con otro tipo de compost. La relación C/N fue de 8.9:1 considerada como baja como consecuencia del alto contenido del Nt en relación con el CO. La concentración de sales presentes en el compost a través de la C.E. es de 5.254 mS/cm clasificada como alta a causa de los minerales y materiales orgánicos solubles. El valor del pH es de 8.3 considerado como ligeramente alcalino. Dentro de los minerales destacan el Ca, P, Fe y Mn.



#### 2.6.4. Aporte teórico nutrimental y de MO de los tratamientos evaluados

El cuadro 20, presenta las cantidades de los elementos expresados en kg/ha que se estarían aportando al suelo con los niveles de compost, así como de la materia orgánica.

Cuadro 20. Aporte teórico nutrimental y de MO de los tratamientos evaluados.

Compost	kg/ha										
	P	K	Ca	Mg	Na	Nt	MO	Cu	Zn	Fe	Mn
1 T	11	4	28	2	0.4	7	100	0.02	0.09	6	0.3
15 T	165	60	420	30	5	105	1500	0.3	1	85	4
30 T	330	120	840	60	11	210	3000	1	3	170	8
60 T	660	240	1680	120	21	420	6000	1	5	339	15
120 T	1320	480	3360	240	42	840	12000	2	11	678	31
240 T	2640	960	6720	480	84	1680	24000	5	22	1356	61
480 T	5280	1920	13440	960	168	3360	48000	10	43	2712	122

Nt = N total, MO = materia orgánica

En el cuadro 20, se observa el aporte teórico de nutrientes aportados en la aplicación de los distintos niveles de compost. Los aportes más relevantes fueron: MO, P, Ca y Nt.

#### 2.6.5. Aporte teórico de nutrientes al suelo tratado con vinaza y compost

El cuadro 21, muestra el aporte teórico de nutrientes al suelo tratado con 900 m<sup>3</sup> de vinaza ácida expresado en kg/ha y la aplicación de los tratamientos que fueron evaluados.

#### 2.6.6. Análisis químico del suelo después de haber aplicado los tratamientos

El cuadro 22, presenta los resultados de los análisis químicos de suelos a los 5 días según los tratamientos establecidos.

Cuadro 21. Aporte teórico de nutrientes al suelo tratado con vinaza ácida y compost.

	kg/ha									
	P	K	Ca	Mg	Na	Nt	Cu	Zn	Fe	Mn
Vinaza	100	12870	2790	540	360	1170	0.8	1	36	2
V + 15 T	265	12930	2818	570	365	1275	1	3	85	6
V + 30 T	430	12990	3210	600	371	1380	1	4	170	10
V + 60 T	760	13110	3630	660	381	1590	2	7	339	17
V + 120 T	1420	13350	4470	780	402	2010	3	12	678	33
V + 240 T	2740	13830	6150	1020	444	2850	6	23	1356	63
V + 480 T	5380	14790	9510	1500	528	4530	10	44	2712	124

Vinaza = 900 m<sup>3</sup>, V = vinaza, T = tonelada de compost, Nt = N total

En el cuadro 21, se presentan los aportes teóricos nutrimentales expresado en kg/ha de los tratamientos y el suelo tratado con 900 m<sup>3</sup> de vinaza ácida. Los elementos que son aportados en mayores cantidades son K, Ca, P, Nt, Fe y Mg.

Cuadro 22. Resultados de los análisis químicos de suelos.

	pH	C.E. (μS/cm)	Ppm					Meq/100 g					%	
			P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	MO	Nt
Testigo	6.4	377	12	0.1	4	4	17	31	15	4	0.2	1	7	0.3
Vinaza	7.4	8717	6	0.5	5	86	240	34	16	6	0.9	11	8	0.4
V + 15 T	7.5	8680	15	0.5	5	65	221	34	16	7	0.9	12	8	0.4
V + 30 T	7.5	8675	15	0.5	5	58	221	34	16	7	0.9	12	8	0.4
V + 60 T	7.5	8637	23	0.5	5	58	212	34	16	7	0.9	12	8	0.4
V + 120 T	7.5	8193	55	0.5	6	58	210	35	16	7	0.9	12	9	0.4
V + 240 T	7.6	8097	163	0.5	6	39	184	35	17	7	0.9	12	9	0.4
V + 480 T	7.7	7768	358	0.5	7	26	139	36	17	7	0.8	13	9	0.4

Vinaza = 900 m<sup>3</sup>, V = vinaza T = tonelada de compost, CIC = capacidad de intercambio catiónico, MO = materia orgánica, Nt = N total.

En el cuadro 22, se presentan los resultados de las propiedades químicas del suelo (pH, MO, y CIC) y los índices nutrimentales analizados después de haber realizado las aplicaciones de vinaza y los tratamientos de compost. En el caso el pH los valores

variaron de 7.5 a 7.7. MO de 8 % a 9 %. CIC de 31 Meq/100 g a 36 Meq/100 g. La C.E. disminuye de 8680  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 7768  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El comportamiento de los índices nutrimentales fue variable; ciertos elementos se incrementaron como el: P, K, Ca, Mg, Na, y Zn, otro grupo permaneció estable como el Nt y Cu y otros aumentaron al inicio y disminuyeron al final como el Fe y Mn. Al comparar los resultados obtenidos con los datos del cuadro 20, se observan diferencias marcadas entre el aporte teórico y lo extraído.

Debido a los cambios químicos del suelo causados por los tratamientos evaluados se realizaron modelos de regresión a cada variable medida, donde no se incluyeron los testigos absolutos, ya que el modelo muestra únicamente el comportamiento de la aplicación de los tratamientos.

### 2.6.7. Comportamiento del pH en los tratamientos evaluados

La figura 3, muestra el comportamiento del pH en el suelo tratado con los niveles de compost.

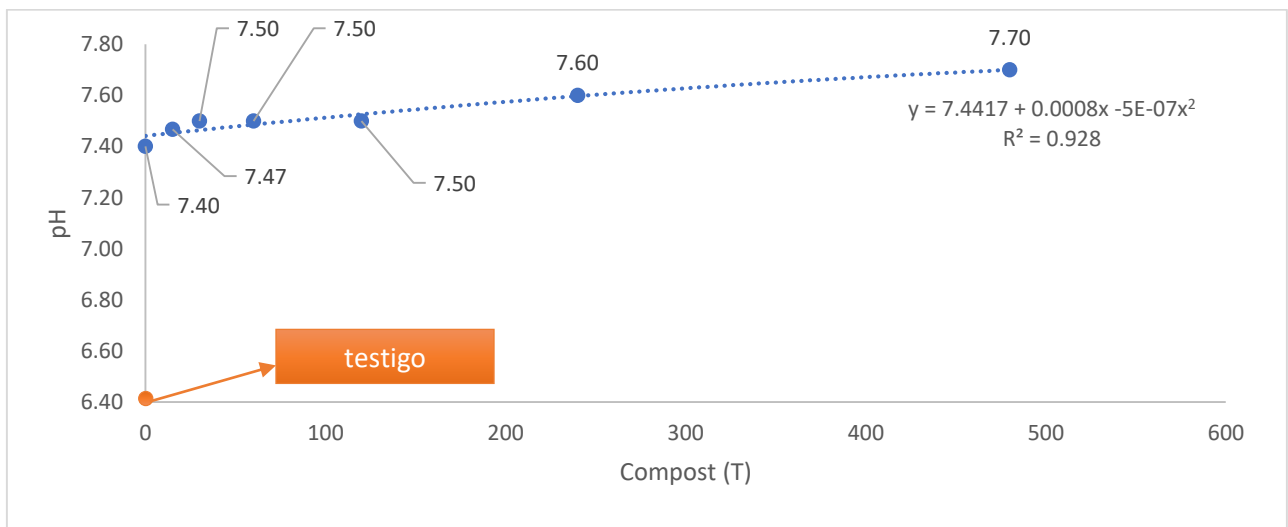


Figura 3. Comportamiento del pH en el suelo.

En la figura 3, se observa el comportamiento del pH del suelo por efecto de la aplicación de la vinaza y de los tratamientos con compost, la gráfica muestra que se dio un incremento de 6.4 a 7.4 cuando se aplicaron los 900 m<sup>3</sup> de vinaza donde el pH de la vinaza fue de 4.9. Korndöfer (2014) menciona que el aumento del pH se debe a la mineralización y reacciones oxido reducción que ocurre en el suelo. Cuando se aplicaron los niveles de compost se pudo observar un incremento en el pH del suelo de 7.4 a 7.7 (0 T y 480 T). En los tratamientos con niveles bajos no se detectaron cambios lo que se pudo deber a las cantidades bajas de materia orgánica que fueron aplicadas, a pesar de que el compost utilizado tenía un pH de 8.3. El modelo que se utilizó para el análisis fue el cuadrático  $y = 7.4417 + 0.0008x - 5E-07x^2$  donde se obtuvo un R<sup>2</sup> de 0.928. En base al coeficiente de determinación del modelo de regresión utilizado se demuestra que si existe una relación directa de los niveles de compost con el pH de los tratamientos.

### 2.6.8. Comportamiento de la Conductividad eléctrica en los tratamientos evaluados

La figura 4, presenta el comportamiento de la conductividad eléctrica en el suelo tratado con los niveles de compost que fueron evaluados.

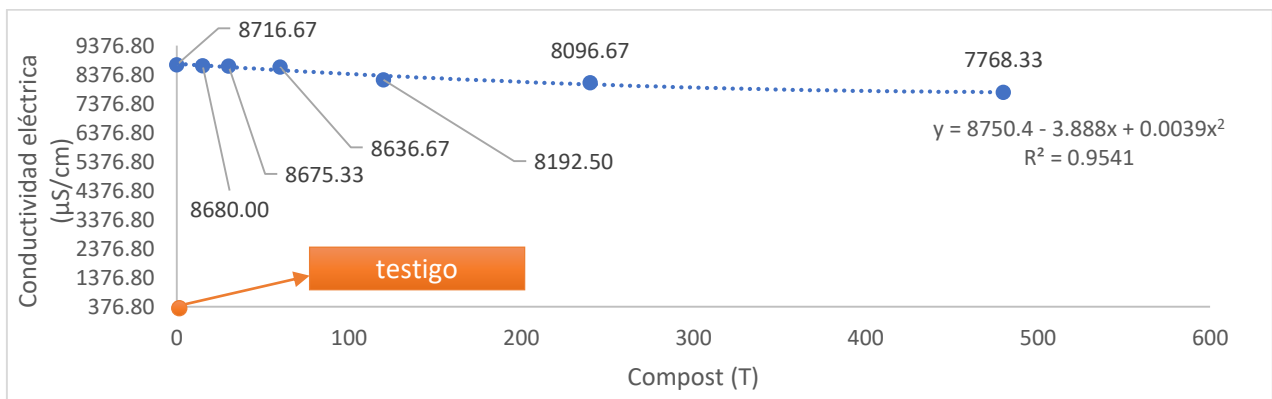


Figura 4. Comportamiento de la conductividad eléctrica en el suelo.

La figura 4, muestra el efecto de la aplicación de vinaza en la conductividad eléctrica donde este parámetro aumentó de 376.80 μS/cm a 8716.67 μS/cm como consecuencia de la alta cantidad de sales que esta presenta, lo que ocasionó una salinización del suelo

(Fassbender y Elmer 1987). Posteriormente con la aplicación de los niveles de compost la conductividad eléctrica tomo un comportamiento decreciente donde el valor de  $8716.67\mu\text{S}/\text{cm}$  disminuyo a  $7768.33\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo cual pudo ser ocasionado por el incremento del pH, la disminución de la conductividad eléctrica fue más notoria en los niveles más altos de compost (240 T y 480 T), los cuales tenían un pH de 7.6 y 7.7, comportamiento que no se observó de igual manera en los niveles bajos de compost (15 T, 30 T, 60 T y 120 T), donde el pH de los mismos fue de 7.47 y 7.5. Los valores de pH arriba de 7.4 pudieron formar hidróxidos de Cu, Fe y Mn los cuales formaron precipitados insolubles además de la CIC lo cual pudo absorber (Fassbender y Elmer 1987, Navarro Blaya y Navarro García 2003). El modelo de regresión cuadrático con un  $R^2$  de 0.9541 es  $y = 8750.4 - 3.888x + 0.0039x^2$  lo que indica que la aplicación de compost tiene una relación directa con la conductividad eléctrica de los tratamientos.

### 2.6.9. Comportamiento de la materia orgánica en los tratamientos evaluados

La figura 5, muestra el comportamiento del % de materia orgánica en el suelo tratado con los niveles de compost.

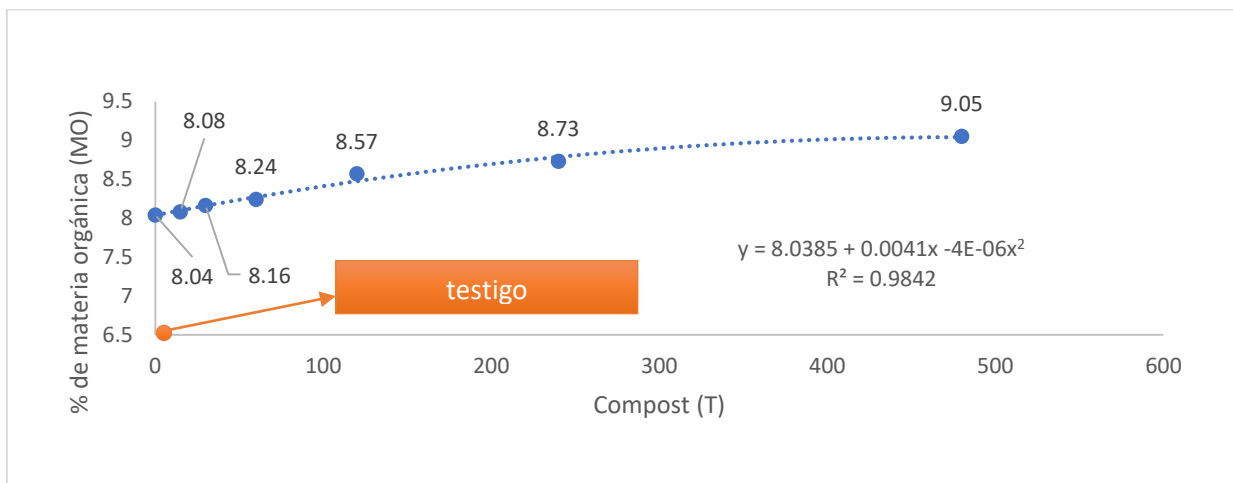


Figura 5. Comportamiento del % de materia orgánica en el suelo.

La figura 5, muestra como la aplicación de vinaza en el suelo incrementó % de materia orgánica de 6.5 % a 8.04 % (García O, A; Rojas C. s.f. y ECURED 2017). El comportamiento del % de materia orgánica en los suelos tratados con compost mantuvo una tendencia creciente hasta alcanzar un 9.05 % lo que pudo ser por los distintos niveles de compost que se aplicaron donde dicho material orgánico (compost) tenía un 10 % de materia orgánica.

Se realizó un modelo de regresión cuadrático con un  $R^2$  de 0.9842 lo que indica que el modelo se ajusta completamente al comportamiento del % de materia orgánica con los niveles de compost que se aplicaron, el modelo es  $y = 8.0385 + 0.0041 x - 4E-06 x^2$ .

### 2.6.10. Comportamiento de la CIC en los tratamientos evaluados

La figura 6, presenta el comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo tratado con los niveles de compost.

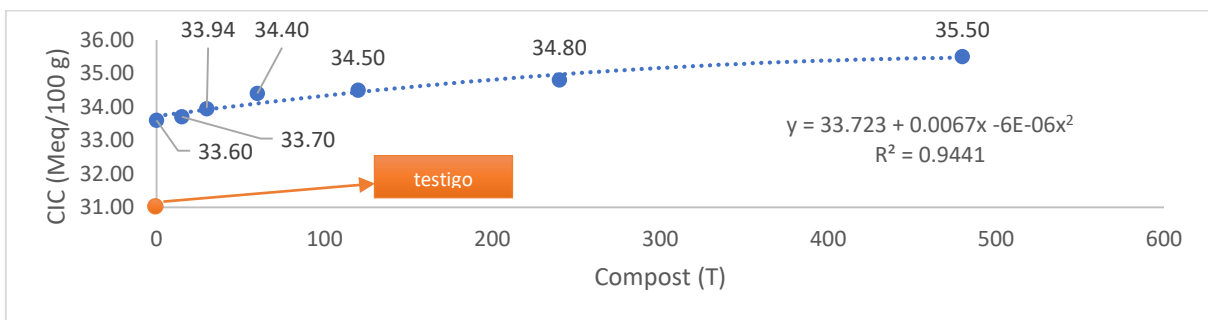


Figura 6. Comportamiento de la CIC en el suelo.

En la figura 6. Se puede observar que la CIC aumentó de 31 Meq/100 g a 33.60 Meq/100 g con la aplicación de vinaza, posteriormente con la aplicación de los distintos niveles de compost la CIC mostro un comportamiento creciente, lo que se pudo deber a los compuestos humificados del material orgánico aplicado. El modelo de regresión cuadrático para este parámetro es  $y = 33.723 + 0.0067 x - 6E-06 x^2$  y su  $R^2$  es de 0.9441, es decir

que la CIC tiene una relación directa con las aplicaciones de compost (PPI *et al.* 1988, Korndöfer 2014, Zérega M., 1993).

### 2.6.11. Comportamiento del N total en los tratamientos evaluados.

La figura 7, muestra el % de nitrógeno total en el suelo tratado con los niveles de compost.

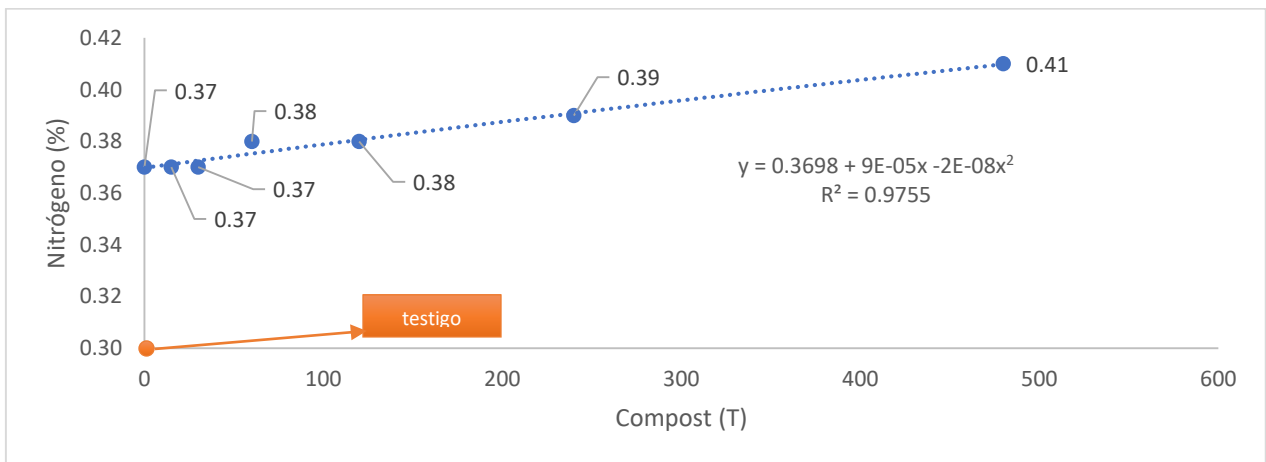


Figura 7. Comportamiento del % de N total en el suelo.

La figura 7. muestra que el N total en el suelo aumentó de 0.3 % a 0.37 % con la aplicación de 900 m<sup>3</sup> de vinaza, con la aplicación de los distintos niveles de compost mantuvo un comportamiento creciente hasta llegar al 0.41 %, comportamiento similar al de la CIC debido al material orgánico aplicado lo cual el N es parte de su composición (Robles González y Castillejos s.f., Pineda Ruiz *et al.* 2015, Gómez Toro 1996, Subirós y Molina 1992, FAO s.f., Bertsch Hernández 1995, Jaramillo J. 2002, Cépeda 2010). El modelo que se ajusta al comportamiento del % de N total es  $y = 0.3698 + 9E-05x - 2E-08x^2$  con un  $R^2$  de 0.9755 lo cual indica que existe una relación directa de los tratamientos con él % de N total.

### 2.6.12. Comportamiento del P en los tratamientos evaluados

La figura 8, presenta el comportamiento de P en el suelo tratado con los niveles de compost.

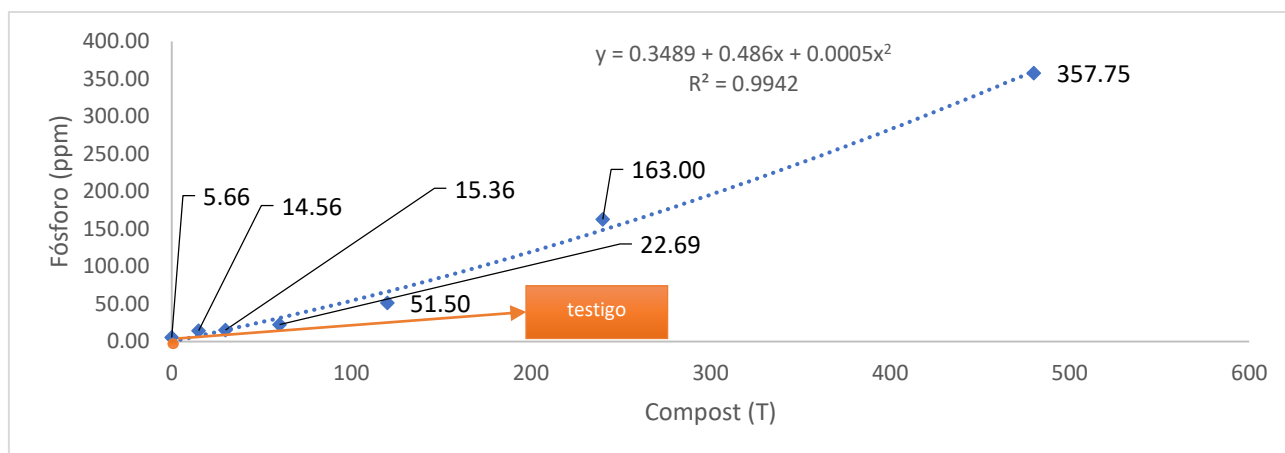


Figura 8. Comportamiento de P en el suelo.

El tratamiento con 900 m<sup>3</sup> de vinaza tuvo una concentración de P menor a la concentración del testigo, la concentración de P disminuyó de 14.56 ppm a 5.66 ppm, lo que pudo ser causado por el incremento del pH (Fassbender y Elmer 1987), como se observa en la figura 8, donde el pH del testigo fue de 6.4 y al aplicar 900 m<sup>3</sup> de vinaza aumentó a 7.4, posteriormente con la aplicación de compost los valores de concentración de P se incrementaron hasta 357.75 ppm. La causa del aumento de la concentración de P pudo ser por los altos niveles de compost que se aplicaron y la alta concentración de P que este material orgánico posee en su composición (Zérega M. 1993). El modelo de regresión cuadrático que se utilizó para este caso es  $y = 0.3489 + 0.486x + 0.0005x^2$  el cual obtuvo una  $R^2$  de 0.9942 lo cual es un valor cercano a 1 lo que indica que las aplicaciones de los tratamientos tienen una relación directa con el P del suelo.



### 2.6.13. Comportamiento del K en los tratamientos evaluados

La figura 9. presenta el comportamiento del K en el suelo tratado con los niveles de compost.

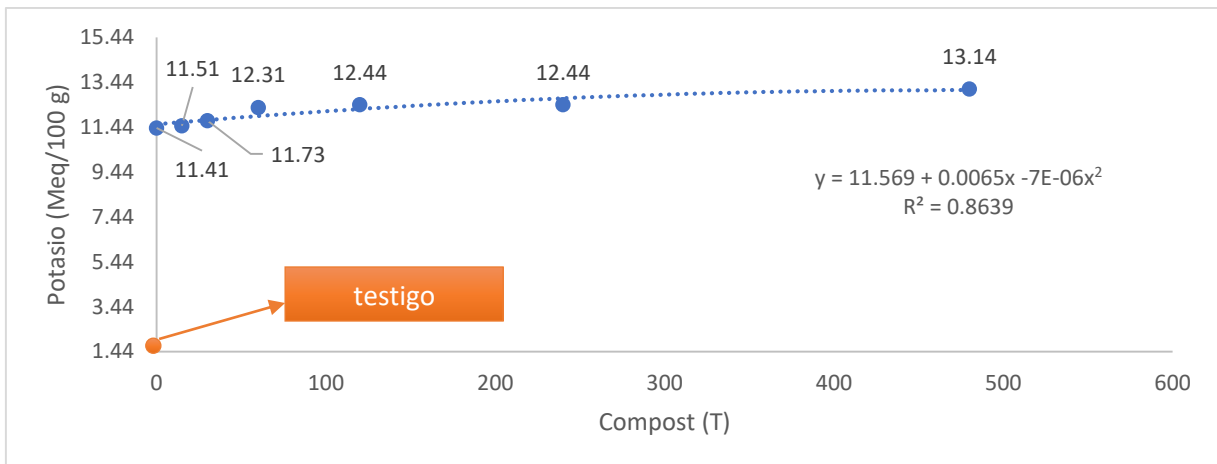


Figura 9. Comportamiento del K en el suelo.

La figura 9. Muestra como la aplicación de vinaza en el suelo elevó el contenido de K, aumentó de 1.44 Meq/100 g a 11.41 Meq/100 g. Con los niveles de compost aplicados al suelo la concentración de K aumento hasta 13.4 Meq/100 g producto de los niveles aplicados y de la concentración de K en el material orgánico (Korndöfer 2014, García O, A y Rojas C. s.f., Robles González y Castillejos s.f., Pineda Ruiz *et al.* 2015, Gómez Toro 1996 y Subirós y Molina 1992). El modelo de regresión cuadrática  $y = 11.569 + 0.0065x - 7E-06x^2$  explica con una  $R^2$  de 0.8639 que el comportamiento del K tiene una relación directa con los tratamientos evaluados, es decir que a medida que se incremente el nivel de compost la concentración de K aumenta.

### 2.6.14. Comportamiento del Ca en los tratamientos evaluados

La figura 10, muestra el comportamiento de Ca en el suelo con los niveles de compost.

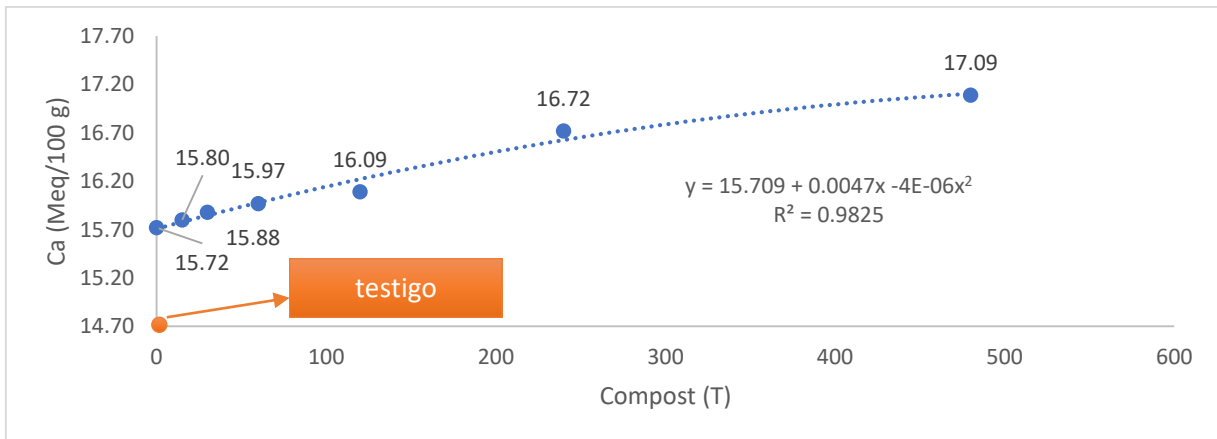


Figura 10. Comportamiento del Ca en el suelo.

En la figura 10, se puede observar el efecto de la aplicación de vinaza y los niveles de compost, donde el Ca aumento con la aplicación de vinaza de 14.70 Meq/100 g a 15.72 Meq/100 g y posteriormente tuvo un comportamiento creciente alcanzando un valor de 17.09 Meq/100 g en el tratamiento de 480 T de compost, el  $R^2$  obtenido de la gráfica del modelo de regresión cuadrático es  $y = 15.709 + 0.0047x - 4E-06x^2$  con un coeficiente de determinación de 0.9825 lo que indica que las aplicaciones de compost tienen una relación directa con el Ca, es decir que a medida que se incrementan los niveles de compost la concentración de Ca aumenta (Leal G. *et al.* 2003, ECURED 2017).

### 2.6.15. Comportamiento del Mg en los tratamientos evaluados.

La figura 11, presenta el comportamiento del Mg en el suelo con los niveles de compost.

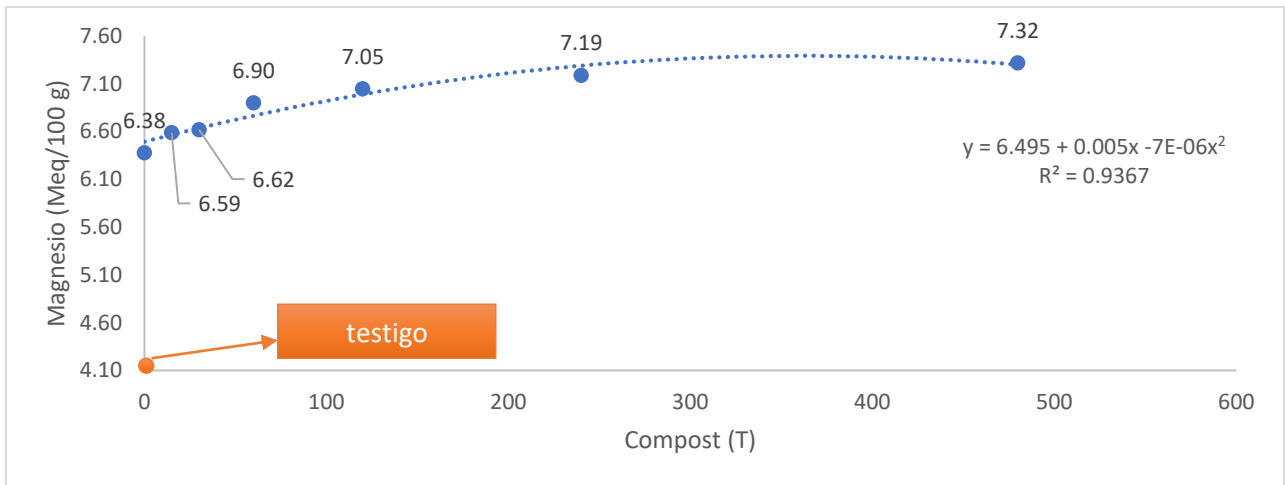


Figura 11. Comportamiento del Mg en el suelo.

La aplicación de vinaza incrementó la concentración de Mg en el suelo de 4.1 Meq/100 g a 6.38 Meq/100 g como se muestra en la figura 11, lo que indica que la aplicación de vinaza influyó en la concentración de Mg, cuando se aplicaron los niveles de compost se incrementó el Mg hasta llegar a 7.32 Meq/100 g (Leal G. *et al.* 2003, ECURED 2017). El modelo de regresión cuadrático  $y = 6.495 + 0.005x - 7E-06x^2$  con un  $R^2$  de 0.9367 explica que el Mg del suelo tiene una relación directa con los niveles de compost que se aplicaron es por ello por lo que el comportamiento fue creciente.

### 2.6.16. Comportamiento del Na en los tratamientos evaluados

La figura 12, muestra el comportamiento del Na en el suelo con los niveles de compost.

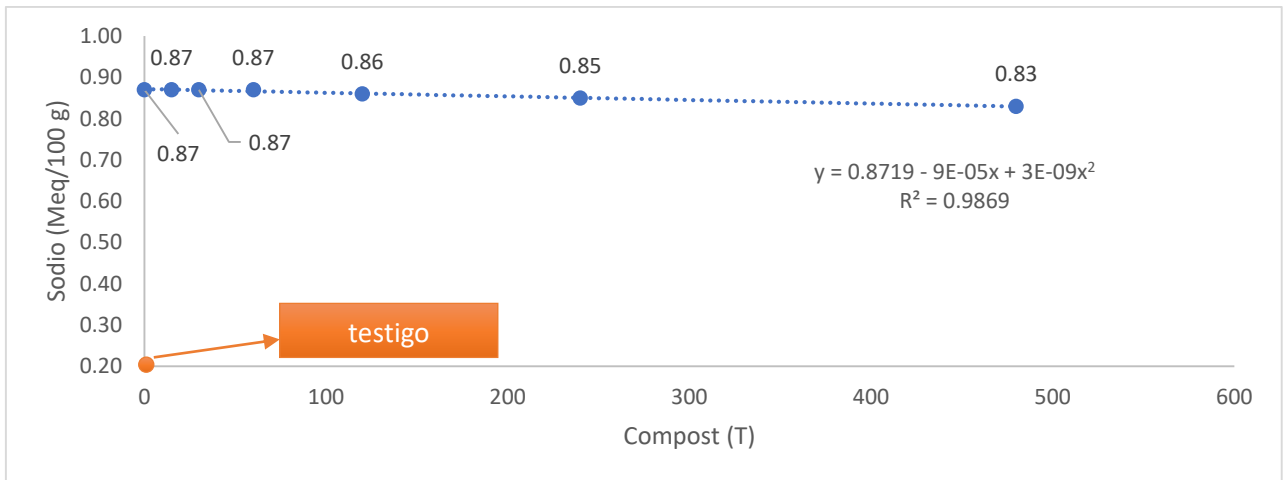


Figura 12. Comportamiento del Na en el suelo.

La figura 12, muestra el aumento de la concentración de Na en el suelo debido a la aplicación de 900 m<sup>3</sup> de vinaza, aumento de 0.2 Meq/100 g de Na a 0.87 Meq/100 g, posteriormente la concentración de Na con la aplicación de los tratamientos disminuyó a un valor de 0.83 Meq /100 g. El modelo de regresión cuadrática que se obtuvo fue  $y = 0.8719 - 9E-05x + 3E-09x^2$  con un  $R^2$  de 0.9869 lo que indica que el sodio tiene una relación inversa con los tratamientos es decir que a medida que se incrementan los niveles de compost el contenido de sodio en el suelo disminuye lo que se puede deber al aumento de la CIC con los niveles más altos de material orgánico aplicado.

### 2.6.17. Comportamiento del Cu en los tratamientos evaluados

La figura 13, muestra el comportamiento del Cu en el suelo con los niveles de compost.

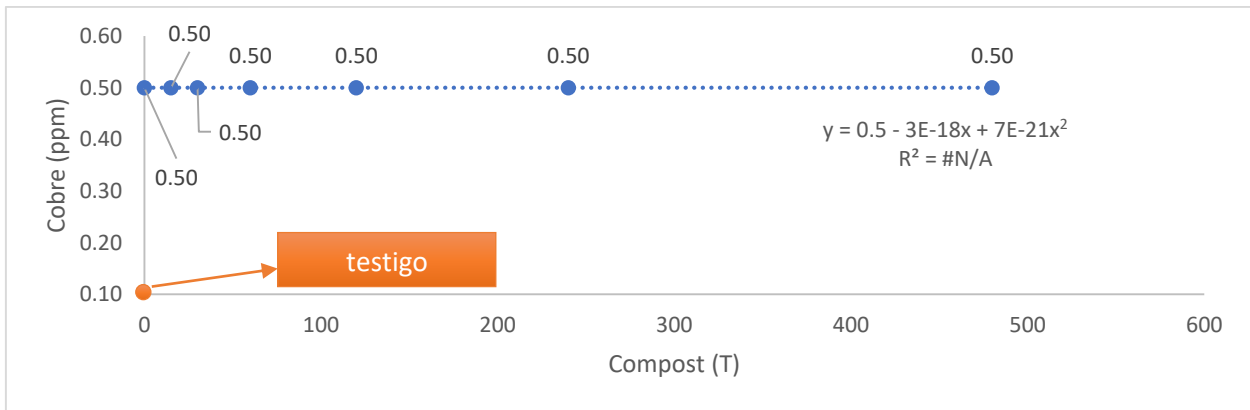


Figura 13. Comportamiento del Cu en el suelo.

La aplicación de vinaza elevó el contenido de Cu en el suelo de 0.1 ppm a 0.5 ppm como se muestra en la figura 13, posteriormente el Cu no detectó cambios en su comportamiento lo cual pudo haber sido debido a la fijación de este elemento con la materia orgánica (MO) que se encuentra en el suelo causado por los distintos niveles de compost y la aplicación de vinaza, ya que el Cu trabaja como  $\text{Cu}^{+2}$  donde fácilmente se combina con grupos carboxilos, carbonílicos, y fenólicos formando complejos húmicos cúpricos, otra de las posibles causas por las que el Cu se mantuvo estático pudo ser por la alta presencia de fosfatos en el suelo causado por los altos niveles de compost que fueron aplicados ya que este tipo de compuestos también son una causa de deficiencia del Cu en el suelo, el valor alto del pH también puede ser una de las principales causas del comportamiento del Cu ya que este parámetro en rangos arriba de 6.5 afecta en la solubilidad del Cu formando precipitados insolubles de hidróxidos (Navarro Blaya y Navarro García 2003). Debido a que no se detectaron cambios en el comportamiento del Cu el modelo de regresión cuadrático  $y = 0.5 - 3\text{E}-18x + 7\text{E}-21x^2$  no obtuvo  $R^2$ .

### 2.6.18. Comportamiento del Zn en los tratamientos evaluados

La figura 14, muestra el comportamiento del Zn en el suelo con los niveles de compost.

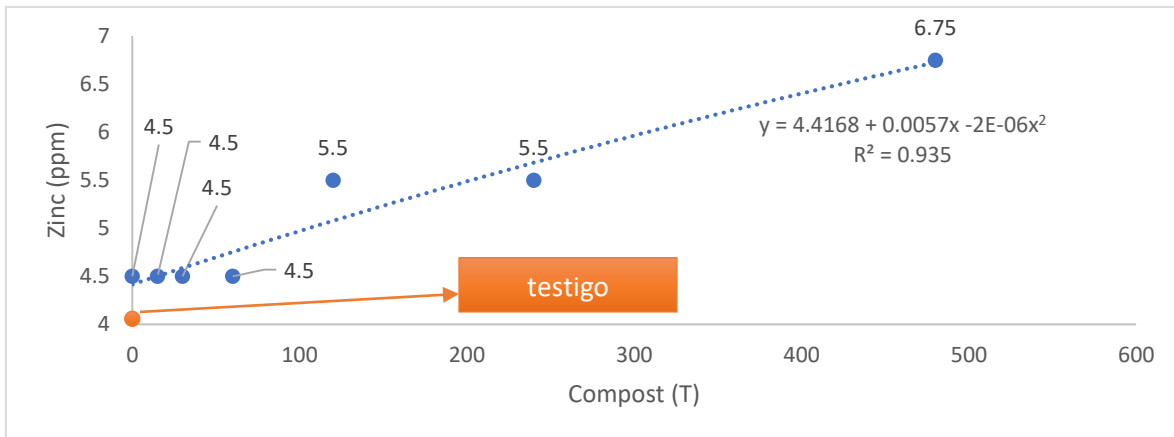


Figura 14. Comportamiento del Zn en el suelo.

En la figura 14, se observa el comportamiento del Zn, el cual tuvo un leve incremento en los tratamientos con mayores niveles de compost aplicados, debido a su mayor contenido en el compost. Su comportamiento es similar al Cu, donde los mismos factores que afectan al Cu afectan al Zn. (Navarro Blaya y Navarro García 2003). El modelo de regresión cuadrático según el comportamiento del Zn es  $y = 4.4168 + 0.0057x - 2E-06x^2$  con un  $R^2$  de 0.935 lo que indica que el modelo se ajusta al comportamiento y que la aplicación de los tratamientos que se aplicaron tiene una relación directa con la concentración de Zn.

### 2.6.19. Comportamiento del Fe en los tratamientos evaluados

La figura 15, muestra el comportamiento del Fe en el suelo con los niveles de compost.

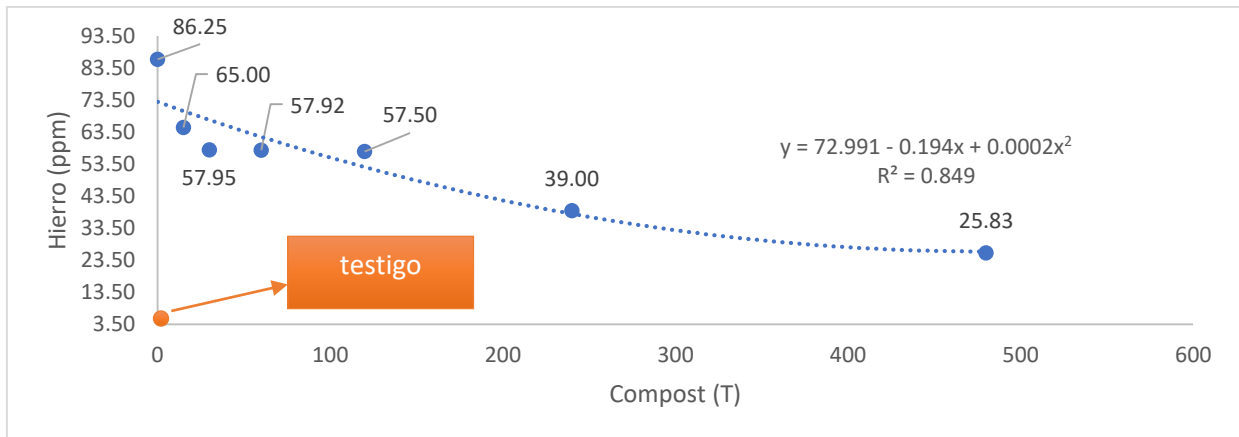


Figura 15. Comportamiento de Fe en el suelo.

La aplicación de vinaza en el suelo incrementó la concentración de Fe en el suelo de 3.5 ppm a 86.25 sin embargo, con la aplicación de compost el Fe disminuyó hasta llegar a 25.83 ppm como se muestra en la figura 15. La disminución de Fe pudo ser debido a que este elemento se encuentra más disponible en un pH ácido y con la aplicación de los tratamientos se elevó el mismo lo que pudo formar precipitados insolubles en forma de hidróxidos (Navarro Blaya y Navarro García 2003 y Undurruga Díaz s.f.). En base al modelo de regresión cuadrático que se realizó  $y = 72.991 - 0.194x + 0.0002x^2$  que dio como resultado un  $R^2 = 0.849$  lo que muestra que la aplicación de los tratamientos en el suelo afecta directamente la disponibilidad de Fe en el suelo. El alto contenido de P en los tratamientos limitó el Fe formando precipitados insolubles como fosfatos de hierro (Bertsch Hernández 1995).

## 2.6.20. Comportamiento del Mn en los tratamientos evaluados

La figura 16, muestra el comportamiento del Mn en el suelo con los niveles de compost.

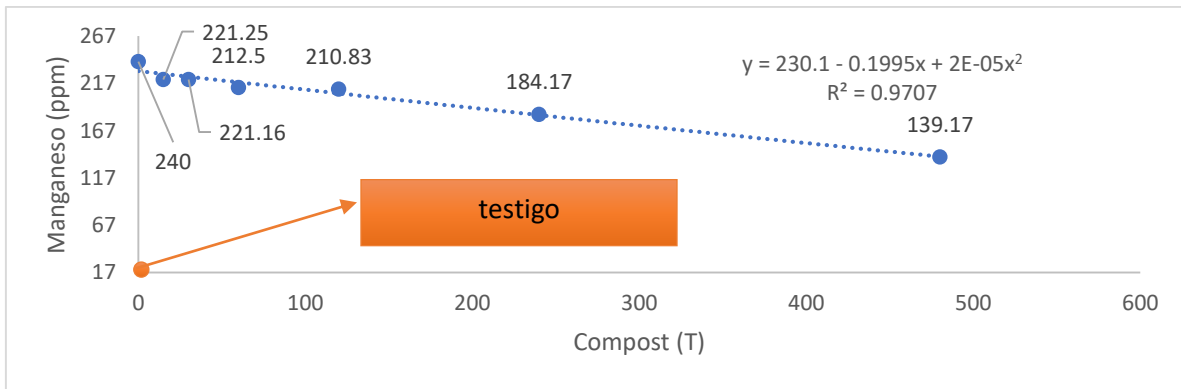


Figura 16. Comportamiento de Mn en el suelo.

La aplicación de vinaza en el suelo incrementó la concentración de Mn, sin embargo, con la aplicación de los tratamientos la concentración de Mn disminuyó lo que pudo ser debido al aumento del pH que sufrió por la aplicación de los tratamientos que pudo afectar la disponibilidad del elemento, formando precipitado insolubles en formas de hidróxido, otro de los aspectos por los que la disponibilidad del Mn pudo disminuir es por el contenido de materia orgánica la cual esta forma complejos húmicos estables con el Mn (Navarro Blaya y Navarro García 2003). El modelo de regresión  $y = 230.1 - 0.1995x + 2E-05x^2$  determina con un  $R^2$  de 0.9707 que la aplicación de compost tiene una relación inversa con la concentración del Mn como lo demuestra la figura 16.



### 2.6.21. Biomasa seca de los tratamientos

El cuadro 23, muestra el rendimiento medio de la biomasa seca expresado en gramos por tratamiento.

Cuadro 23. Rendimiento medio de la biomasa seca.

Tratamiento	Peso (g)
Testigo	3.27
900 m <sup>3</sup> de vinaza	5.60
900 m <sup>3</sup> de vinaza + 15 T de compost	4.76
900 m <sup>3</sup> de vinaza + 30 T de compost	4.78
900 m <sup>3</sup> de vinaza + 60 T de compost	4.79
900 m <sup>3</sup> de vinaza + 120 T de compost	4.80
900 m <sup>3</sup> de vinaza + 240 T de compost	5.07
900 m <sup>3</sup> de vinaza + 480 T de compost	5.18

El tratamiento que presento una mejor media en su rendimiento fue al que solo se le aplicó 900 m<sup>3</sup> de vinaza.

#### A. Análisis de varianza de la biomasa seca del de sorgo (*Sorghum spp.*)

El cuadro 24, presenta los resultados del análisis de varianza de la biomasa seca del sorgo (*Sorghum spp.*)

Cuadro 24. Análisis de varianza de la biomasa seca

Análisis de varianza				
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso (g)	24	0.84	0.77	7.02

El cuadro 25, muestra el análisis de varianza (SC tipo III) de biomasa seca.

Cuadro 25. Cuadro de análisis de varianza (SC tipo III) de biomasa seca.

F.V.	S.C.	GL	CM	F	p-valor
Modelo	9.61	7.00	1.37	12.18	<0.0001

Según el análisis de varianza realizado con un coeficiente de variación de 7.02, un p-valor menor a 0.05 y una F tabulada de 12.18, se determinó que alguno de los tratamientos realizados tiene un efecto significativo en la biomasa seca y por lo tanto se realizó una prueba de Scott & Knott para establecer que tratamiento mostró el mejor rendimiento.

## B. Prueba Scott & Knott

El cuadro 26, presenta la prueba de Scott & Knott que se le práctico a la biomasa seca.

Cuadro 26. Prueba Scott &amp; Knott.

Tratamiento	Medias	N	E.E.			
900m <sup>3</sup> de vinaza	5.60	3.00	0.19	A		
900m <sup>3</sup> de vinaza + 480 T de compost	5.18	3.00	0.19	A		
900m <sup>3</sup> de vinaza + 240 T de compost	5.07	3.00	0.19		B	
900m <sup>3</sup> de vinaza + 120 T de compost	4.80	3.00	0.19		B	
900m <sup>3</sup> de vinaza + 60 T de compost	4.79	3.00	0.19		B	
900m <sup>3</sup> de vinaza + 30 T de compost	4.78	3.00	0.19		B	
900m <sup>3</sup> de vinaza + 15 T de compost	4.76	3.00	0.19		B	
Testigo	3.27	3.00	0.19			C

En base al cuadro 26, de la prueba de Scott & Knott, se determinó que existieron diferencias mínimas significativas entre los tratamientos de compost con respecto al tratamiento relativo (900 m<sup>3</sup> de vinaza) esto se pudo deber a que con la aplicación de vinaza se llenaron los requerimientos del cultivo evaluado durante el tiempo que se realizó la evaluación. (Alfaro Portuguez y Ocampo, s.f. y Korndöfer 2014).

## 2.6.22. Análisis foliar de la biomasa seca del cultivo de sorgo (*Sorghum* spp.).

El cuadro 27, muestra el resultado del análisis foliar de la biomasa seca del cultivo de sorgo (*Sorghum* spp.).

Cuadro 27. Análisis foliar de la biomasa seca del cultivo de sorgo (*Sorghum* spp.).

	%						ppm					
	Nt	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	B
Testigo	0.68	0.12	2.71	0.32	0.21	0.04	170.00	5.00	15.00	88.00	12.5	58.6
900 m <sup>3</sup> vinaza	1.80	0.19	6.71	0.19	0.16	0.10	220.00	10.00	73.00	140.00	130	47.9
Vinaza + 15 T	2.00	0.22	7.10	0.25	0.15	0.10	193.00	10.00	95.00	170.00	125	47.8
Vinaza + 30 T	1.82	0.21	7.02	0.25	0.14	0.09	192.68	10.00	75.00	164.43	115	47.7
Vinaza + 60 T	1.97	0.20	6.91	0.25	0.14	0.09	192.58	10.00	70.00	161.48	106	45.7
Vinaza + 120 T	1.34	0.20	6.32	0.25	0.13	0.07	192.44	10.00	55.00	160.00	105	43.5
Vinaza + 240 T	1.58	0.23	6.27	0.25	0.12	0.07	190.00	10.00	53.66	95.00	105	37.6
Vinaza + 480 T	1.59	0.23	6.19	0.25	0.12	0.07	178.00	10.00	53.00	80.00	105	33.1

Nt = N total

En el cuadro 27, se presentan los resultados del análisis foliar de la biomasa seca del sorgo (*Sorghum* spp.) donde se demuestra que la aplicación de vinaza incrementó el Nt, P, K, Mg, S, Na, Cu, Zn, Fe, y Mn a excepción del B (Robles González y Castillejos s.f., Pineda Ruiz *et al.* 2015, Gómez Toro 1996, Subirós y Molina 1992). Con la aplicación de los diferentes niveles compost la concentración de P aumento y el Mg y B disminuyeron, para los otros elementos hubo un incremento en los primeros niveles y en los mayores niveles disminuyeron lo que pudo ser ocasionado por el cambio del pH y antagonismo de algunos elementos (Navarro Blaya y Navarro García 2003).

### 2.6.23. Sintomatología foliar en el cultivo de sorgo (*Sorghum* spp.)

El cuadro 28, muestra la lectura de hojas dañadas por tratamiento que se practicó a los 14 días, 21 días y 35 días de siembra.

Cuadro 28. Lectura de hojas dañadas (enrollamiento en el ápice) de las plantas por tratamiento a los 14 días, 21 días y 35 días de siembra.

No.	Tratamiento	No. de hojas dañadas en 21 plantas			
		1er. Lectura (14 días)	2da. Lectura (21 días)	3er. Lectura (35 días)	Total
0	Testigo	0	0	0	0
1	900 m <sup>3</sup> vinaza	0	5	2	7
2	Vinaza + 15 T	1	6	4	11
3	Vinaza + 30 T	2	8	2	12
4	Vinaza + 60 T	2	8	3	13
5	Vinaza + 120 T	2	8	4	14
6	Vinaza + 240 T	3	9	2	14
7	Vinaza + 480 T	4	9	2	15
8	Total	14	53	19	91

En el cuadro 28, se aprecia que a medida que se incrementaron los niveles de compost se incrementó el daño de hojas por tratamiento lo que pudo ser debido a una deficiencia de B provocado por un antagonismo con K, resultados similares se reportaron en una investigación en maíz (Castellanos 2014).

La figura 17, presenta la sintomatología de la planta a los 35 días de siembra.



Figura 17. Sintomatología de la planta a los 35 días de siembra.

La figura 20, presenta la sintomatología de la planta a los 35 días de siembra.

## CONCLUSIONES

1. La aplicación de los diferentes niveles de compost al suelo tratado con 900 m<sup>3</sup> de vinaza fue el siguiente: a medida que incrementaron los niveles de compost se observó aumento en los valores de las propiedades de pH, CIC, materia orgánica, y los índices de P, K, Ca, Mg y la disminución de la conductividad eléctrica, como los índices de Fe, y Mn. Para el Na, Cu y Zn sus variaciones fueron mínimas.
2. La aplicación de los niveles de compost no influyó en el rendimiento de biomasa de sorgo (*Sorghum* spp.) con respecto al testigo relativo (900 m<sup>3</sup> de vinaza) en el tiempo que duro la investigación (35 días).

### 2.7. RECOMENDACIONES

Para los suelos tratados con vinaza durante años no se recomienda la aplicación de cachaza en niveles altos debido a que puede tener un efecto negativo ya que influye en las propiedades químicas de los suelos y podría afectar el desarrollo de los cultivos.

## 2.8. REFERENCIAS

1. AEFA (Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes, España). s.f. Mineralización (en línea). España. Consultado 1 mar. 2017. Disponible en <https://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/mineralizacion>
2. Alfaro, R. 2011. Evaluación de la vinaza como fertilizante potásico en la caña de azúcar y su efecto sobre las propiedades químicas de un inceptisol de Atenas, Alajuela. Costa Rica, DIECA / LAICA / Universidad ICESI. Consultado 21 mar. 2017. Disponible en <http://www.icesi.edu.co/blogs/casovinaza/files/2011/02/anexos-1-2-3-8-9-caso-de-grado.pdf>
3. Alfaro Portuguez, R; Ocampo Chinchilla, R. s.f. Cambios físico-químicos provocados por la vinaza en un suelo vertisol en Costa Rica. Costa Rica, Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). 13 p. Consultado 21 mar. 2017. Disponible en <https://www.laica.co.cr/biblioteca/servlet/DownloadServlet?c=443&s=2884&d=12532>
4. Aristizábal Alzate, CE. 2015. Caracterización físico-química de una vinaza resultante de la producción de alcohol de industria licorera, a partir del aprovechamiento de la caña de azúcar. Bonaventuriana 6:36-41. Consultado 20 ene. 2017. Disponible en <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:hP0GrPsWyJgJ:revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/download/1729/1502+&cd=5&hl=es-419&ct=clnk&gl=gt>
5. BANGUAT. 2016. Guatemala: Valor (CIF) de las importaciones y valor (FOB) de las exportaciones por producto de la industria agropecuaria, extractiva y manufacturera (según clasificación del banco de Guatemala) comercio general años: 2014 - 2016 cifras mensuales -en us dólares-. Guatemala, BANGUAT. Consultado 31 may. 2017. Disponible en [http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/comercio/sercom/2\\_POR\\_PRODUCTO/prod\\_mensDB001.HTM](http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/comercio/sercom/2_POR_PRODUCTO/prod_mensDB001.HTM)
6. Bailey Jr., PS; Bailey, CA. 1998. Química orgánica conceptos y aplicaciones. 5 ed. México, Pearson Education. 604.
7. Béron Medina, G. s.f. Usos alternativos de las vinazas de acuerdo con su composición química Técnicaña:5. Consultado 12 jun. 2017. Disponible en [http://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec\\_v10\\_no17\\_2006\\_p14-18.pdf](http://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no17_2006_p14-18.pdf)

8. Bertsch Hernández, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Costa Rica, ACCS. 157 p.
9. Bohórquez, A; Puentes, YJ; Menjivar, JC. 2014. Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria 15:73-81. Consultado 20 ene. 2017. Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-87062014000100007&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062014000100007&nrm=iso)
10. Carey, FA. 2006. Química orgánica. 6 ed. México, McGraw-Hill. 1421 p.
11. Chang, R; College, W. 2002. Química. 7 ed. México, Mc Graw Hill. 1004.
12. Castellanos, JZ. 2014. El boro (B), en la nutrición de los cultivos. Hojas técnicas de Fertilab. México, 4 p. Consultado 18 sep. 2017
13. Dávila Rincón, J; Marriaga Cabrales, N; Machuca Martínez, F. 2008. Remoción de sólidos totales de vinazas por electrocoagulación. Dyna 76(158):41-47. Consultado 21 mar. 2017. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n158/a04v76n158.pdf>
14. De la Cruz, JR. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.
15. Doménech, X. 2000. Química del suelo el impacto de los contaminantes. 3 ed. España, Miraguano Ediciones. 95.
16. ECURED. 2017. Vinaza (en línea). Cuba, ECURED. Consultado 1 abr. 2016. Disponible en <https://www.ECURED.cu/Vinaza>
17. Espinosa Smith, R. 2011. Producción de etanol en Guatemala. Guatemala. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA). Consultado 31 mayo. 2017. Disponible en [http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cpi/doc/3.%20Produccion actual del etanol combustible en el pais.pdf](http://www.uvg.edu.gt/investigacion/cpi/doc/3.%20Produccion%20actual%20del%20etanol%20combustible%20en%20el%20pais.pdf)
18. FAO, Italia. 2006. MO y actividad biológica (en línea). Roma, Italia. 28 p. Consultado 31 jun. 2017. Disponible en [http://www.fao.org/ag/Ca/Training\\_Materials/CD27-Spanish/ba/organic\\_matter.pdf](http://www.fao.org/ag/Ca/Training_Materials/CD27-Spanish/ba/organic_matter.pdf)
19. \_\_\_\_\_. s.f.a. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible: fertilidad del suelo (en línea). Roma, Italia. 19 p. Consultado 1 mar. 2017. Disponible en [http://www.fao.org/ag/ca/training\\_materials/cd27-spanish/sf/soil\\_fertility.pdf](http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sf/soil_fertility.pdf)



- 20.\_\_\_\_\_. s.fb. Capítulo 5: principales consecuencias e impacto de la captura de carbono (en línea). Roma, Italia. Consultado 21 feb. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/005/y2779s/y2779s09.htm>
- 21.Fassbender, HW; Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. Costa Rica, IICA. 419 p.
- 22.García O, A; Rojas C, CA. 2006. Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos. *TecniCaña* 10(17):3-13. Consultado 29 ene. 2017. Disponible en [http://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec\\_v10\\_no17\\_2006\\_p3-13.pdf](http://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no17_2006_p3-13.pdf)
- 23.Garrido Valero, MS. 1993. Interpretación de análisis de suelos. Hojas Divulgadoras 5/93 HD:40. Consultado 20 feb. 2017. Disponible en [http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1993\\_05.pdf](http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf)
- 24.Gómez Toro, JM. 1996. Efecto de la aplicación de vinaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Caña de Azúcar* 14(1):15-34. Consultado 27 mar. 2017. Disponible en [http://www.sian.inia.gob.ve/revistas\\_ci/canadeazucar/cana1401/texto/efecto.htm](http://www.sian.inia.gob.ve/revistas_ci/canadeazucar/cana1401/texto/efecto.htm)
- 25.Guerrero Quiroz, I; Pérez Vázquez, A. 2013. Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. no. 5:1069-1075*. Consultado 29 mar. 2017. Disponible en <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/view/719/691>
- 26.Guinea Díaz, ES. 2013. Efecto de la adición de vinaza a la cachaza para la elaboración de compost, como alternativa al uso de los subproductos de la industrialización de la caña de azúcar. Tesis Ing. Agr. en Cultivos Tropicales. Guatemala, Rafael Landívar. 60 p. Consultado 29 ene. 2017. Disponible en <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2013/06/17/Guinea-Eddy.pdf>
- 27.Guinea, E; De la Rosa, V; Tucha, L; Tayún, J; Solares M, ER. 2008. Experiencias con el uso de compost de cachaza en IMSA (Power Point). Guatemala, Ingenio Magdalena. 46 diapositivas.
- 28.Hernández Melchor, GI; Salgado García, S; Palma López, DJ; Lagunes Espinoza, LdC; Castelán Estrada, M; Ruiz Rosado, O. 2008. Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysolmólico de Chiapas, México. *Interciencia* 33:855-860. Consultado 19 mar. 2016. Disponible en [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442008001100016&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008001100016&nrm=iso)
- 29.Ibáñez Asensio, S. s.f. Entisoles (en línea). España, Universidad Politécnica de Valencia, Repositorio Institucional UPV. Consultado 27 ene. 2017. Disponible

en

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12883/Entisoles.pdf?sequence=3>

30. Jaramillo, V. 2016. Luis Fernando Leal, el CEO de la expansión de Ingenio Magdalena. E&N. Consultado 31 mayo. 2017. Disponible en <http://www.estrategiaynegocios.net/lasclavesdeldia/994790-330/luis-fernando-leal-el-ceo-de-la-expansi%C3%B3n-de-ingenio-magdalena>
31. Julca-Otiniano, A; Meneses-Florián, L; Blas-Sevillano, R; Bello-Amez, S. 2006. La MO, importancia y experiencia de su uso en la agricultura (en línea). Idesia (Arica) 24:49-61. Consultado 27 ene. 2017. Disponible en [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292006000100009&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009&nrm=iso)
32. Korndöfer, GH. 2014. Impacto de la vinaza en la agricultura y en las características físicas e químicas del suelo (Power Ponit). Guatemala, IMSA. 62 diapositivas.
33. Labrador Moreno, J; Guibeartean Cabanillas, A; Benítez López, L; Reyes Pablos, JL. s.f. La MO en los sistemas agrícolas: manejo y utilización. Hojas Divulgadoras 3/93 HD:40. Consultado 21 feb. 2017. Disponible en [http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1993\\_03.pdf](http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_03.pdf)
34. Leal G., I; Chirinos, E; Leal, M; Morán, H; Barrera, W. 2003. Caracterización fisicoquímica de la vinaza del Agave cocui y su posible uso agroindustrial. Multiciencias 3:12. Consultado 24 mayo. 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/904/90430202.pdf>
35. Monteiro Fernandes, APM. 2008. Tecnologías utilizadas en el tratamiento y disposición de la vinaza. Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICANA). Consultado 28 mar. 2017. Disponible en <http://www.cengicana.org/en/mapas-zona-canera/func-startdown/276/>
36. Navarro Blaya, S; Navarro García, G. 2003. Química agrícola. 2 ed. España, Mundi-Prensa. 487 p.
37. Orozco Godínez, VJ. 2014. Caracterización de abonos sometidos a tres tiempos de compostaje, diagnóstico y servicios realizados en la planta de tratamiento de residuos sólidos. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 90 p. Consultado 7 feb. 2016. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2685/1/VICTOR%20JOSU%C3%89%20OROZCO%20GOD%C3%8DNEZ.pdf>
38. Pérez, O; López, A; Hernández, F; Ralda, G. 2009. Evaluación de las aplicaciones continuadas de vinaza en el cultivo de caña de azúcar y su efecto en un suelo Andisol de Guatemala. Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICANA). p. 173-181. Consultado 18

feb. 2017. Disponible en <http://www.cengicana.org/es/mapas-zona-canera/func-startdown/187/>

39. Pineda Ruiz, E; Chico Lamas, Y; Vidal Díaz, ML; Becerra de Armas, E; Acosta Hernández, F; Fernández Denis, I; Lugo Ruiz, I. 2015. Uso alternativo de la vinaza en la fertilización de la caña de azúcar, efectos sobre el cultivo y el suelo. CAGRICOLA 42(1):31-36. Consultado 28 ene. 2017. Disponible en <http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/html/v42n1/body/cag05115.html>
40. Porta Casanellas, J; López Acevedo, M; Roquero de laburu, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3 ed. España, Mundi-Prensa. 941 p.
41. PPI; PPC; FAR. 1988. Manual de fertilidad de los suelos. Potash & Phosphate Institute Potash & Phosphate Institute of Canada Foundation for Agronomic Research. 1 ed. 85 p.
42. Quiroz Guerrero, I; Pérez Vázquez, A. 2013. Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4:1069-1075. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342013000900019&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000900019&nrm=iso)
43. Rincón Acelas, IR. 2008. Cinética de la degradación. Tesis M. Eng. Ambiental. México, Universidad Nacional Autónoma de México. 149 p. Consultado 12 jun. 2017. Disponible en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2503/1/rinconacelas.pdf>
44. Robles González, VS; Castillejos, FV. 2009. Vinazas mezcaleras: un problema de contaminación ambiental. Tesis Ing. Alimentos. Oaxaca, México, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Instituto de Agroindustrias. 20 p. Consultado 27 ene. 2017. Disponible en <http://www.utm.mx/~mtello/Extensos/extenso080109.pdf>
45. Román, P; Martínez, MM; Pantoja, A. 2013. Manual de compostaje del agricultor. Roma, Italia, FAO. 112 p. Consultado 20 feb. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
46. Romero, HG; Rueda, LR; Marín, CMA; Cruz, MA. 2015. Manejo de composta para reducir el uso de fertilizantes químicos en caña de azúcar. Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. Consultado 29 mar. 2017. Disponible en [http://www.lamolina.edu.pe/Eventos/agronomia/2015/Latinoamericano\\_suelos/C4/C4-Gaspar%20Romero-R-Extenso-COMPOSTA%20Ca%C3%B1a%20de%20Azucar-Puebla-Mexico.pdf](http://www.lamolina.edu.pe/Eventos/agronomia/2015/Latinoamericano_suelos/C4/C4-Gaspar%20Romero-R-Extenso-COMPOSTA%20Ca%C3%B1a%20de%20Azucar-Puebla-Mexico.pdf)
47. SIB. 2011. Sector Azucarero. SIB:18. Consultado 31 may. 2017. Disponible en [http://www.sib.gob.gt/c/document\\_library/get\\_file?folderId=471455&name=DLFE-9610.pdf](http://www.sib.gob.gt/c/document_library/get_file?folderId=471455&name=DLFE-9610.pdf)

48. Subirós, JF; Molina, E. 1992. Efecto de la aplicación de vinazas en la producción de caña de azúcar y en las características químicas de un inceptisolde Guanacaste, Costa Rica. Revista Agronomía Costarricense 16(1):56-60. Consultado 29 ene. 2017. Disponible en [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v16n01\\_055.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v16n01_055.pdf)
49. Undurraga Díaz, P. s.f. Conceptos de fertilidad fosfatada en suelos volcánicos. Chile, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Consultado 31 mar. 2017. Disponible en <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR25013.pdf>
50. Zérega M, L. 1993. Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. Venezuela, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola (INIA). 11 p. Consultado 29 mar. 2017. Disponible en [http://www.sian.inia.gob.ve/revistas\\_ci/canadeazucar/cana1102/texto/manejo.htm\(SIB, 2011 #57\)](http://www.sian.inia.gob.ve/revistas_ci/canadeazucar/cana1102/texto/manejo.htm(SIB, 2011 #57))

## 2.9. ANEXOS

El cuadro 29.A., muestra los coeficientes de correlación de las variables del análisis químico de suelos.

Cuadro 29.A. Coeficientes de correlación en análisis químico de suelos.

Variable (1)	Variable (2)	Pearson	p-valor
Vinaza	pH	0.9765	0.000032
Vinaza	C.E.	0.992577	0.000001
Vinaza	Cu	1	0
Vinaza	Fe	0.719405	0.04426
Vinaza	Mn	0.906848	0.001882
Vinaza	CIC	0.866199	0.005404
Vinaza	Ca	0.709299	0.048804
Vinaza	Mg	0.944911	0.000401
Vinaza	Na	0.989743	0.000003
Vinaza	K	0.990687	0.000002
Vinaza	MO	0.714286	0.046528
Vinaza	N	1	0
Vinaza	Daño de hojas	0.867493	0.005254
Compost	P	0.991921	0.000001
Compost	Zn	0.958385	0.000175
Compost	CIC	0.704792	0.050917
Compost	Ca	0.802819	0.016444
Compost	MO	0.729883	0.039829
pH	C.E.	0.946305	0.000372
pH	Cu	0.9765	0.000032
pH	Mn	0.796411	0.018006
pH	CIC	0.93835	0.000559
pH	Ca	0.825117	0.011679
pH	Mg	0.964753	0.000107
pH	Na	0.942016	0.000466
pH	K	0.994123	0.000001
pH	MO	0.803449	0.016295
pH	N	0.9765	0.000032

pH	Daño de hojas	0.933887	0.000687
C.E.	Cu	0.992577	0.000001
C.E.	Fe	0.786374	0.020635
C.E.	Mn	0.947241	0.000353
C.E.	CIC	0.799546	0.017231
C.E.	Mg	0.922844	0.001083
C.E.	Na	0.995205	0
C.E.	K	0.971241	0.000058
C.E.	N	0.992577	0.000001
C.E.	Daño de hojas	0.815755	0.013555
P	Zn	0.934966	0.000655
P	Ca	0.773378	0.024376
Cu	Fe	0.719405	0.04426
Cu	Mn	0.906848	0.001882
Cu	CIC	0.866199	0.005404
Cu	Ca	0.709299	0.048804
Cu	Mg	0.944911	0.000401
Cu	Na	0.989743	0.000003
Cu	K	0.990687	0.000002
Cu	MO	0.714286	0.046528
Cu	N	1	0
Cu	Daño de hojas	0.867493	0.005254
Zn	CIC	0.713024	0.047098
Zn	Ca	0.73721	0.036898
Zn	MO	0.801784	0.01669
Fe	Mn	0.928979	0.000849
Fe	Na	0.780213	0.02236
Fe	N	0.719405	0.04426
Mn	Mg	0.790593	0.019502
Mn	Na	0.949469	0.00031
Mn	K	0.847949	0.007817
Mn	N	0.906848	0.001882
CIC	Ca	0.898381	0.002428
CIC	Mg	0.870864	0.004876
CIC	Na	0.80016	0.017081

CIC	K	0.908059	0.001811
CIC	MO	0.935495	0.000639
CIC	N	0.866199	0.005404
CIC	Daño de hojas	0.924772	0.001005
Ca	Mg	0.7298	0.039863
Ca	K	0.759477	0.028813
Ca	MO	0.866921	0.00532
Ca	N	0.709299	0.048804
Ca	Daño de hojas	0.812466	0.014256
Mg	Na	0.927426	0.000904
Mg	K	0.970151	0.000065
Mg	MO	0.755929	0.03002
Mg	N	0.944911	0.000401
Mg	Daño de hojas	0.960769	0.000147
Na	K	0.965669	0.000099
Na	N	0.989743	0.000003
Na	Daño de hojas	0.82698	0.011327
K	MO	0.759098	0.028941
K	N	0.990687	0.000002
K	Daño de hojas	0.917556	0.001316
MO	N	0.714286	0.046528
MO	Daño de hojas	0.867493	0.005254
N	Daño de hojas	0.867493	0.005254

El cuadro 30. A. muestra los coeficientes de correlación de las variables del análisis foliar de la biomasa seca del cultivo de sorgo (*Sorghum spp.*).

Cuadro 30.A. Coeficientes de correlación en el análisis foliar.

Variable (1)	Variable (2)	Pearson	p-valor
Vinaza	pH	0.9765	0.000032
Vinaza	C.E.	0.992577	0.000001
Vinaza	N	0.860344	0.006116
Vinaza	P	0.911685	0.00161
Vinaza	K	0.969192	0.000071

Vinaza	Ca	-0.797772	0.017667
Vinaza	Mg	-0.880752	0.003869
Vinaza	S	0.770915	0.025128
Vinaza	Cu	1	0
Vinaza	Zn	0.796478	0.017989
Vinaza	Mn	0.963716	0.000116
Vinaza	B	-0.707949	0.049432
Vinaza	Daño de hojas	0.867493	0.005254
Compost	B	-0.866131	0.005412
pH	C.E.	0.946305	0.000372
pH	N	0.79979	0.017171
pH	P	0.966327	0.000093
pH	K	0.913507	0.001515
pH	Ca	-0.70157	0.052461
pH	Mg	-0.948856	0.000322
pH	Na	0.425066	0.2938
pH	Cu	0.9765	0.000032
pH	Zn	0.704744	0.05094
pH	Mn	0.902191	0.002171
pH	B	-0.832307	0.010356
Ph	Daño de hojas	0.933887	0.000687
C.E.	N	0.899696	0.002337
C.E.	P	0.873186	0.004626
C.E.	K	0.989255	0.000003
C.E.	Ca	-0.819577	0.012768
C.E.	Mg	-0.823222	0.012045
C.E.	S	0.83568	0.00977
C.E.	Cu	0.992577	0.000001
C.E.	Zn	0.850425	0.007456
C.E.	Mn	0.979321	0.000022
C.E.	Daño de hojas	0.815755	0.013555
N	P	0.756445	0.029842
N	K	0.942705	0.00045
N	Ca	-0.727162	0.040952
N	S	0.939816	0.000521
N	Cu	0.860344	0.006116



N	Zn	0.940793	0.000496
N	Mn	0.90439	0.002031
P	K	0.847796	0.007839
P	Mg	-0.936796	0.000602
P	Cu	0.911685	0.00161
P	Mn	0.835987	0.009718
P	B	-0.85214	0.007212
P	Daño de hojas	0.917329	0.001326
K	Ca	-0.784216	0.021229
K	Mg	-0.766132	0.026631
K	S	0.885951	0.003399
K	Cu	0.969192	0.000071
K	Zn	0.908592	0.001781
K	Mn	0.973697	0.000045
K	Daño de hojas	0.775558	0.023721
Ca	S	-0.805471	0.015823
Ca	Na	-0.911092	0.001642
Ca	Cu	-0.797772	0.017667
Ca	Zn	-0.689923	0.058275
Ca	Mn	-0.882324	0.003723
Mg	Cu	-0.880752	0.003869
Mg	Mn	-0.73486	0.037823
Mg	B	0.914024	0.001488
Mg	Daño de hojas	-0.982842	0.000012
S	Na	0.787653	0.020287
S	Cu	0.770915	0.025128
S	Zn	0.961827	0.000135
S	Fe	0.720243	0.043895
S	Mn	0.889839	0.003072
Na	Mn	0.731346	0.039233
Cu	Zn	0.796478	0.017989
Cu	Mn	0.963716	0.000116
Cu	B	-0.707949	0.049432
Cu	Daño de hojas	0.867493	0.005254
Zn	Fe	0.741664	0.035182
Zn	Mn	0.891169	0.002965

Mn	Daño de hojas	0.712206	0.04747
B	Daño de hojas	-0.863874	0.00568

**CAPÍTULO III**

**SERVICIOS PROFESIONALES REALIZADOS  
PROFESSIONAL SERVICES PERFORMED**

### 3.1. PRESENTACIÓN

Los servicios como parte del Ejercicio Profesional Supervisado fueron realizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” de la Facultad de Agronomía, ubicado en el edificio (UVIGER) a un costado del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA) del municipio de Guatemala, Guatemala.

El primer servicio consistió en brindar apoyo para la determinación de la CIC en suelos (método de Peech), de N en suelos, compost, foliares y fertilizantes (método Kjeldahl) preparación del acetato de amonio pH 7 1N, de cloruro de sodio (NaCl) pH 2, de rojo de metilo, y de ácido bórico al 3 %

El segundo servicio fue una capacitación a estudiantes de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en técnicas de muestreo de suelos en los campos de la Facultad de Agronomía.

### **3.2. APOYO EN LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DEL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, USAC.**

Las distintas actividades fueron ejecutadas en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” de la FAUSAC.

#### **3.2.1. MARCO REFERENCIAL**

##### **A. Ubicación Geográfica**

Los servicios como parte del Ejercicio Profesional Supervisado fueron realizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” de la Facultad de Agronomía, ubicado en el edificio (UVIGER) a un costado del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA) del municipio de Guatemala, Guatemala. Las coordenadas son 14° 35'11" latitud norte 90° 35'58" longitud oeste, a una altitud de 1,502 m.s.n.m. (De La Cruz 1982).

### **3.2.2. OBJETIVOS**

#### **A. General**

Apoyar en la parte de análisis químicos que se les realizan a las muestras de suelo, tejido vegetal, que son llevados al laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo”; en donde estas son provenientes de diferentes regiones del país.

#### **B. Específicos**

1. Determinar a nivel de laboratorio las propiedades químicas de CIC, y Nt de en los suelos que son ingresados para análisis en el laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo de la Facultad de Agronomía.
2. Determinar a nivel de laboratorio el Nt de las muestras foliares o materiales orgánicos que son ingresados para análisis en el laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo de la Facultad de Agronomía.

### **3.2.3. METODOLOGÍA**

#### **A. Determinación de la CIC en suelos (método de Peech)**

##### **a. Extracción de bases (Ca, K, Mg y Na)**

1. Se colocaron balones de aforo con capacidad para 100 mL cada uno con embudo y papel filtro.
2. Se pesaron 5 g. de suelo donde fueron colocados en tubos de centrifuga.
3. Se aplicaron 30 mL de acetato de amonio pH 7 a cada tubo de centrifuga que contenía la cantidad de suelo pesado luego se taparon los tubos y se agitaron durante 10 minutos.
4. Posteriormente se centrifugaron los tubos por 6 minutos a 1500 revoluciones por minuto.
5. Al terminar de centrifugar se vertió el sobrenadante de cada muestra de suelo en los balones de aforo de 100 mL. El procedimiento se repitió 3 veces.
6. Finalmente se aforó los balones con agua destilada.

##### **b. Lavado de acetato**

1. Posteriormente de haber extraído las bases se procedió al lavado de acetato donde se aplicaron 30 mL de alcohol etílico a cada tubo que contenía muestra de suelo.
2. Luego se agitaron durante 5 minutos los tubos que contenían la muestra de suelo y el alcohol etílico.
3. Posteriormente se centrifugaron los tubos por 6 minutos a 1500 revoluciones por minuto.
4. Finalmente se repitió el procedimiento 3 veces.

**c. Metodología para la obtención de CIC**

1. Se colocaron balones de aforo con capacidad de 100 mL cada uno con embudo y papel filtro.
2. Se aplicaron 30 mL de NaCl pH2 a cada tubo de centrifuga que contenía la muestra de suelo, luego se taparon los tubos y se pusieron a agitar durante 5 minutos.
3. Posteriormente los tubos se centrifugaron por 6 minutos a 1500 revoluciones por minuto.
4. Al terminar de centrifugar, el sobrenadante de las muestras de suelo se vertió dentro de los balones de aforo de 100 mL. El procedimiento se repitió 3 veces.
5. Finalmente se aforaron los balones con agua destilada.

**d. Destilación**

1. Se agitó cada balón de la extracción de CIC.
2. Se colocó una rejilla con tubos de destilación.
3. Posteriormente se tomó una alícuota de 10 mL de la solución de cada balón con una pipeta volumétrica de 10 mL y se desechó.
4. Luego se tomó nuevamente un alícuota 10 mL de la solución de cada balón con una pipeta volumétrica de 10 mL y se aplicó a cada tubo de destilación.
5. Se colocaron Erlenmeyer con 50 mL de ácido bórico al 3 %.
6. Se aplicaron 6 gotas de rojo de metilo a cada Erlenmeyer donde cada Erlenmeyer tomó un color rojo.
7. Posteriormente se limpió el sistema del destilador, y se conectó una de las mangueras del equipo de destilación en un recipiente con NaOH relación 1:1 y la otra manguera a una llave de agua.
8. Luego se colocó el primer tubo con muestra dentro del destilador y se colocó el Erlenmeyer con ácido bórico y se puso a funcionar el sistema.
9. Al final del proceso el Erlenmeyer con ácido bórico cambio su color de rojo a verde.



10. Luego se sacó el tubo con una toalla y se colocó en un lavatrastos debido a que este se calentó demasiado.
11. Trabajar cada muestra de igual manera hasta terminar.
12. Al terminar todas las muestras se limpia el sistema colocando la manguera que estaba con NaOH a un recipiente con agua poniendo a funcionar el sistema dos veces.

#### **e. Titulación**

1. Se llevaron los erlenmeyer que se utilizaron en la destilación al área de titulación
2. Posteriormente se lavó la bureta con agua destilada y con un poco de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) grado titular.
3. Se llevó la bureta a 50 mL con ácido sulfúrico grado titular.
4. Se anotó en el cuaderno de apuntes la Normalidad del ácido a utilizar.
5. Se aplicó gota a gota el ácido a cada erlenmeyer hasta que este viraba su color de verde a rojo.
6. Anotar el gasto de ácido en el cuaderno conforme al correlativo.

#### **B. Preparación del acetato de amonio pH 7 1N**

Para la preparación de 18 L de Acetato de Amonio se realizó la siguiente metodología:

1. Se aplicó agua destilada en un recipiente de vidrio de 18L hasta llevarlo a la mitad.
2. Posteriormente se llevó el recipiente a la campana extractora de gases y se aplicó 1026 mL de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) seguidamente se aplicó 1260 mL de Amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) cuidadosamente.
3. Se aplicó agua destilada al recipiente hasta llegar casi al volumen requerido.
4. Posteriormente se dejó reposar el recipiente durante la noche.

5. Se llevó a volumen la solución con agua destilada donde se tapó y se agito el recipiente.
6. Se midió el pH, si el pH fue de 7, la solución era correcta, si el pH estaba arriba de 7, el pH de la solución se debía bajar aplicando ácido acético. Si el pH estaba debajo de 7, el pH de la solución se debía subir aplicando Amoniaco.

### **C. Preparación de cloruro de sodio (NaCl) pH 2**

Para la preparación de 18 L de Cloruro de Sodio se realizó la siguiente metodología:

1. Se aplicó agua destilada en un recipiente de vidrio de 18 L hasta llevarlo a la mitad.
2. Se llevó el recipiente a la campana extractora de gases y se aplicó 1800 g de Cloruro de Sodio (NaCl). Luego se tapó el recipiente y se agitó.
3. Se aplicó agua destilada hasta llegar casi al volumen requerido donde se tapó el recipiente y se agitó.
4. Finalmente se llevó a volumen la solución con agua destilada donde se tapó el recipiente y se agitó bien.
5. Se midió el pH en el potenciómetro. Si el pH era de 7, la solución era correcta. Si el pH estaba arriba de 7, el pH de la solución se debía bajar aplicando ácido clorhídrico (HCl). Si el pH estaba debajo de 7, el pH de la solución se debía subir aplicando Hidróxido de Sodio (NaOH).

### **D. Preparación de rojo de metilo (mezcla indicadora)**

En un balón de aforo de 100 mL se aplicaron 0.5 g de verde de bromokresol + 0.1 g de rojo de metilo donde finalmente se aforó con etanol.

### **E. Preparación de ácido bórico al 3 %**

A cada litro de agua destilada se le aplicó 30 g de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) y se agitó.

### **F. Determinación de N en suelos, compost, foliares y fertilizantes (método Kjeldahl)**

1. Si la extracción se realizaba a partir de suelo o compost, se debía tamizar el suelo con el tamiz más fino que se tenía y se pesaba 0.25 g. de suelo.
2. Si la extracción se realizaba a partir de material vegetal, esta se debía secar, moler, y pesar 0.25 g. de muestra.
3. Si la extracción era a partir de una solución, esta se debía realizar a partir de una alícuota de 10 mL. De la solución.
4. Si la extracción se realizaba de un fertilizante, antes debe se debía conocer el porcentaje de N según la formulación para poder realizar la extracción. A continuación, en el cuadro 31, se muestra la metodología que se debía seguir según la concentración del N.
5. Luego de pesar o tomar la alícuota, se debía proceder a colocar la muestra en tubos para destilar y se aplicaba una medida de mezcla de sulfatos.
6. Luego se aplicaban 4 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) grado reactivo y se tapaba los tubos con papel aluminio y se les hacía un orificio con agujero.
7. Posteriormente se ponían en el digestor los tubos por un tiempo de dos horas con la campana extractora de gases encendida.
8. Luego se sacaba los tubos del digestor sin sacarlos de la campana por un tiempo de media hora.
9. Después se aplicaba aproximadamente 3 mL de agua destilada a los tubos y se ponían a destilar.
10. Finalmente se procedía a la titulación la cual era la misma que la de la CIC.

Cuadro 31. Metodología de N total en fertilizantes.

% N	Pesar	Disolver	Alícuota a Tomar
0 – 15	1 g	250 mL	10 mL
15 – 30	1 g	500 mL	10 mL
30 – 50	1 g	500 mL	5 mL

Fuente: Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” (2016)

### **3.3. CAPACITACIÓN A ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, EN TÉCNICAS DE MUESTREO DE SUELOS EN LOS CAMPOS DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA.**

#### **3.3.1. OBJETIVOS**

##### **A. General**

Capacitar a los estudiantes de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la universidad de San Carlos de Guatemala, en técnicas de muestreo como parte de uno de los servicios que fueron realizados en el ejercicio profesional supervisado.

##### **B. Específicos**

1. Exponer la metodología y principios del muestreo de suelos a los estudiantes de química de la facultad de ciencias químicas y farmacia de la universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Explicar de cómo obtener una muestra significativa o una muestra que represente en forma precisa el estado de fertilidad del lugar, área o lote donde fue tomada.

### **3.3.2. METODOLOGÍA**

1. Se Delimitó el área a muestrear por su uso y sus condiciones homogéneas, ejemplo pastos vs. Bosque, pendiente vs plano, material parental vs coluvio, manejo fertilizado vs no fertilizado.
2. Una vez delimitado el terreno se procedió a muestrear en zigzag donde se tomó como base los vértices.
3. En cada punto que trabajo se quitó la capa de hojarasca, plantas y raicillas posteriormente con el uso de pala se hizo un agujero en v, luego se tomó una porción de las paredes del agujero con la pala y se colocó en una cubeta y así se obtuvieron 10 sub muestras en donde se homogenizó el total de sub muestras.
4. El suelo se desmenuzó el suelo con la mano.
5. Las profundidades del muestreo fueron de 0 a 20 cm.
6. El peso de la muestra fue aproximadamente de 1 kg.
7. La muestra se puso a secar a temperatura ambiente y a los dos días se envió la muestra al laboratorio.

### **3.3.3. RESULTADOS**

Se desarrolló una práctica de muestreo de suelos con cinco estudiantes del último año de la carrera de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala como apoyo en el curso de química de suelos impartido por el licenciado Cristian Farfán, la práctica se fue realizada en los campos del Centro Experimental Docente de Agronomía, en donde se trabajó en dos fases.

## **A. Fase teórica**

A los estudiantes de Ciencias Químicas y Farmacia se les explico la importancia que tiene el muestreo de suelos para un análisis químico de suelos, y se les enseñó la importancia que tienen las herramientas que se utilizan para tomar la muestra de suelo, como lo es el uso de barrenos helicoidales y palas para hacer poder tomar la sub muestra, en donde se demostró que dependiendo la textura del suelo así debe ser la herramienta que usar.

Dentro de los temas de importancia que se les enseñó a los estudiantes fue de cuando se debe realizar un muestreo de suelos, el porqué de un muestreo de suelos y como debe limitarse el área para realizar un muestreo de suelo en donde se hizo énfasis en los factores como pendiente, uso de la tierra, historial del terreno o del lugar y la cantidad máxima de área que se debe muestrear, la cual conforma un máximo de 10 Ha. por muestra, compuesta de 10 a 20 sub muestras, para que posteriormente se homogenicen las sub muestras para sacar una libra que representa las 10 Ha. Máximas, si las condiciones del terreno son homogéneas porque si las condiciones del terreno son heterogéneas, lo que hace que cambian en cuanto a pendiente, coloración del suelo, uso de la tierra, si es fertilizado o no el terreno, si se le aplica materiales orgánicos o no, entonces es ahí donde debe realizarse otro muestreo para esa área.

## **B. Fase práctica**

Los estudiantes tomaron palas, machetes, una bolsa, una cubeta y se les explico cómo se debían tomar los puntos para obtener las sub muestras donde se les indico que una de las mejores formas de hacerlo es en forma de zigzag. Luego de haber recibido las indicaciones de cómo se debía hacer el muestreo de suelos, los estudiantes procedieron a tomar las sub muestras en zigzag, se hizo un agujero a 20 cm de profundidad usando la pala como herramienta principal, luego se tomó una de las caras del agujero con ayuda de la pala y posteriormente con un machete se quitaron los bordes de la pala. Las sub muestras fueron recolectadas en una cubeta para que posteriormente fueran homogenizadas y así obtener una muestra aproximadamente de 1 kg. de suelo.

### 3.3.4. CONCLUSIONES

1. Se les dio una práctica de muestreo de suelos a los estudiantes de la carrera de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia como parte de mis servicios, compartiendo parte de mis conocimientos en su formación académica específicamente en el curso de química de suelos en donde los estudiantes comprendieron la importancia del muestreo de suelos para un análisis químico del mismo.
2. Al exponer la metodología y principios del muestreo de suelos a los estudiantes de química de la facultad de ciencias químicas y farmacia de la universidad de San Carlos de Guatemala comprendieron sobre los factores que se deben tomar en cuenta para el muestreo de suelos como color del suelo, textura, historial, pendiente y las diversas herramientas que se utilizan como barrenos, palas y demás herramientas mencionadas como parte de la metodología.
3. Los estudiantes comprendieron que una muestra significativa de suelo depende tanto de las condiciones homogéneas de un suelo y el área máxima a muestrear la cual es de 10 Ha.



### 3.4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bertsch Hernández, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Costa Rica, ACCS. 157 p.
2. De la Cruz S, JR. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.
3. Navarro Blaya, S; Navarro García, G. 2003. Química agrícola. 2 ed. España, Mundi-Prensa. 487 p.
4. Porta Casanellas, J; López Acevedo, M; Roquero de laburu, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3 ed. España, Mundi-Prensa. 941 p.

### 3.5. ANEXOS



Figura 18.A. Explicación teórica sobre el muestreo de suelos



Figura 19.A. Toma de sub muestras



Figura 20.A. Toma de sub muestras de suelo



Figura 21.A. Homogenización de la muestra



Figura 22.A. Estudiantes de Química y Farmacia que realizaron el muestreo