

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**CARACTERIZACIÓN DEL EFECTO QUE PRODUCE LA APLICACIÓN DE VINAZA
TRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN ENTISOL Y UN VERTISOL,
PROCEDENTES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS
REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA “SALVADOR
CASTILLO”**

FELIX ROCAEL MARTÍNEZ GÓMEZ

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**CARACTERIZACIÓN DEL EFECTO QUE PRODUCE LA APLICACIÓN DE VINAZA
TRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN ENTISOL Y UN VERTISOL,
PROCEDENTES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS
REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA “SALVADOR
CASTILLO”**

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

POR

FELIX ROCAEL MARTÍNEZ GÓMEZ

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

EN

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

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámbara
VOCAL SEGUNDO	M. A. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	M. Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	P. Agr. Walfer Yasmany Godoy Santos
VOCAL QUINTO	P. C. Neydi Yassmine Juracán Morales
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, noviembre de 2017

Guatemala, noviembre de 2017

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

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN DEL EFECTO QUE PRODUCE LA APLICACIÓN DE VINAZA TRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN ENTISOL Y UN VERTISOL, PROCEDENTES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA “SALVADOR CASTILLO”**, 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”

FELIX ROCAEL MARTÍNEZ GÓMEZ

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

Por darme la oportunidad de vivir, tener salud y sabiduría.

MI PADRE

Quien con su ejemplo me formo para asumir retos como éste, y me supo inculcar la dedicación y la perseverancia.

MI MADRE

Alicia, por ser la fuente de mi inspiración y quién con su ejemplo me enseñó que luchando en esta vida todo se puede.

MIS HERMANOS

Gilbert, Kevin y Christian, por estar aportando siempre buenas cosas y por lo que representan para mi vida.

MIS SOBRINOS

Alicia y Sebán, por ser nuevas bendiciones en mi vida.

MIS ABUELOS

Por tantos consejos y enseñanzas compartidas. Dios los tenga en su gloria "Irene y Género".

MI DEMÁS FAMILIA

Por su cariño y consejos brindados durante mi vida. Especialmente a mi tío Pedro.

LABORATORIO

SALVADOR CASTILLO

Dr. Anibal Sacbajá, Ing. Agr. Celena Carías, Ing. Norvin Ramos, Don Ranferí Ampudia, Romael Alfaro, Don Género, Dillan Tepeu y Caleb Chinchilla.

MIS AMIGOS

José Arturo Cruz, Luis Fernando Centes Carrillo, José Luis Castillo García, Josué Mazate, Victor Media y Oscar Solares.

AGRADECIMIENTOS

A:

MIS CASAS DE ESTUDIO Escuela “HUNAPU”; colegio “La Salle”, Escuela Nacional Central de Agricultura “ENCA”, Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria “ERIS”, por forjarme como profesional.

MI ASESOR: Dr. Anibal Sacbajá Galindo, por ser amigo, maestro, padrino durante mi etapa de estudiante y de EPS. Gracias por tanto consejo brindado.

MI SUPERVISOR: Dr. Tomás Padilla Cámara, por el apoyo y aporte de conocimientos durante la realización de la presente investigación.

MI EVALUADOR: Ing. Agr. Pedro Admira, por las sugerencias para la elaboración de la presente investigación.

Dr. MARVIN SALGUERO Por todo el apoyo que me brindó durante mi etapa de auxiliar en la subárea de suelos.

SUBÁREA DE SUELOS Dr. Iván Dimitri Santos, Dr. Isaac Herrera, Ing. Agr, Hugo Tobías, Ing. Agr. Guillermo Santos, Señora Brenda y Orlando.

MIS DEMÁS AMIGOS Con los que tuve la oportunidad de compartir aulas y mis experiencias como auxiliar.

TABLA GENERAL

	PÁGINA
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
RESUMEN	x
CAPÍTULO I	1
DIAGNÓSTICO DE LA COMERCIALIZACIÓN DE LOS MICRONUTRIENTES UTILIZADOS EN LA AGRICULTURA DE GUATEMALA PARA EL AÑO 2014	1
1.1 PRESENTACIÓN	2
1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA	3
1.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y DIVISÓN POLÍTICA.....	3
1.2.2 DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA E HIDROLÓGICA.....	4
1.2.3 DESCRIPCIÓN BIOFÍSICA	4
1.2.4 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS	6
1.3 OBJETIVOS	8
1.3.1 GENERAL.....	8
1.3.2 ESPECÍFICOS.....	8
1.4 METODOLOGÍA	9
1.4.1 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	9
1.4.2 FASE DE GABINTE	9
1.5 RESULTADOS	10
1.5.1 EMPRESAS QUE SE ENCUENTRAN REGISTRADAS EN LA UNIDAD DE NORMAS Y REGULACIONES PARA COMERCIALIZAR FERTILIZANTES QUE DENTRO DE SU COMPOSICIÓN CONTIENEN MICRONUTRIENTES.....	10
1.5.2 PROCEDENCIA DE LOS FERTILIZANTES QUE CONTIENEN MICRONUTRIENTES.....	13

1.5.3 CLASIFICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES QUE DENTRO DE SU COMPOSICIÓN CONTIENEN MICRONUTRIENTES POR SU PRESENTACIÓN.....	14
1.5.4 RANGO DE CONCENTRACIONES DE LOS MICRONUTRIENTES EN LOS FERTILIZANTES.....	17
1.6 CONCLUSIONES	19
1.7 RECOMENDACIONES	20
1.8 BIBLIOGRAFÍA	21
1.9 ANEXOS	22
CAPÍTULO II	26
“CARACTERIZACIÓN DEL EFECTO QUE PRODUCE LA APLICACIÓN DE VINAZA TRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN ENTISOL Y UN VERTISOL, PROCEDENTES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA”	26
2.1 PRESENTACIÓN	27
2.2 MARCO CONCEPTUAL	28
2.2.1 Marco Referencial	28
2.2.2 Marco Conceptual	32
2.3 OBJETIVOS	42
2.3.1 Objetivo General	42
2.3.2 Objetivos Específicos.....	42
2.4 HIPOTESIS	43
2.5 METODOLOGIA	44
2.5.1 Metodología realizada en el ensayo.....	44
2.5.2 Fase de laboratorio (I).....	45
2.5.3 Fase de invernadero (II).....	49
2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53

	PÁGINA
2.6.1 Fase de laboratorio.....	53
2.6.2 Prueba biológica.....	71
2.7 CONCLUSIONES	76
2.8 RECOMENDACIONES	77
2.9 BIBLIOGRAFÍA	78
2.9 ANEXOS.....	81
CAPÍTULO III.....	82
SERVICIOS PROFESIONALES REALIZADOS.....	82
3.1 PRESENTACIÓN.....	83
3.2 REALIZACIÓN DE ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS PARA MUESTRAS DE SUELO EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA “SALVADOR CASTILLO” DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, USAC, GUATEMALA	84
3.2.1 MARCO REFERENCIAL	84
3.2.2 OBJETIVOS.....	84
3.2.3 METODOLOGÍA	85
3.2.4 RESULTADOS.....	90
3.2.5 CONCLUSIONES.....	94
3.3 REALIZACIÓN DE ANÁLISIS VEGETAL EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA “SALVADOR CASTILLO” DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, USAC, GUATEMALA.	95
3.3.1 OBJETIVOS.....	95
3.3.2 METODOLOGÍA.....	96
3.3.3 RESULTADOS	97
3.3.4 CONCLUSIONES.....	99
3.3.5 RECOMENDACIONES	99

3.4	CAPACITACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS A PRODUCTORES DE LA FINCA “EL TRIUNFO”, MUNICIPIO DE CHAMPERICO DEL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU.	100
3.4.1	OBJETIVOS	100
3.4.2	METODOLOGÍA	101
3.4.2.2	Fase (II) realización de muestreo de suelos	102
3.4.3	RESULTADOS	102
3.4.4	CONCLUSIONES	104
3.5	BIBLIOGRAFÍA	105

TABLA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1: Ubicación satelital de la República de Guatemala.	3
Figura 2: Número de empresas segmentadas por actividad económica en Guatemala.....	6
Figura 3: Porcentaje de la población ocupada por actividad económica en Guatemala.....	7
Figura 4: Distribución porcentual de la comercialización de fertilizantes que incluyen micronutrientes dentro de sus formulaciones.....	11
Figura 5: Cantidad de fertilizantes que contienen Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Boro (B), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl) y Níquel (Ni).	12
Figura 6: Porcentaje de fertilizantes que se importan por país extranjero.....	13
Figura 7: Distribución porcentual por micronutriente que son importados para su comercialización a nivel nacional.	14
Figura 8: Distribución porcentual por presentación (sólida y líquida) de fertilizantes que incluyen dentro de su composición micronutrientes.....	15
Figura 9: Distribución porcentual de fertilizantes que incluyen dentro de su composición micronutrientes en presentación sólida.	16
Figura 10: Distribución porcentual de fertilizantes que incluyen dentro de su composición micronutrientes en presentación líquida.	16
Figura 11: Ubicación del Centro Experimental Docente de Agronomía.	29
Figura 12: Vinaza tratada producida en el Ingenio Magdalena.	33
Figura 13: Aplicación de vinaza en pantes del cultivo de Caña de Azúcar.	40
Figura 14: Unidad experimental de la fase de laboratorio.	48
Figura 15: Unidad Experimental de la fase de invernadero.....	51
Figura 16: Comportamiento del pH a los 106 días después de la aplicación de vinaza tratada en un Entisol y en un Vertisol.	58

Figura 17:	Comportamiento de la C.E a los 106 días después de la aplicación de la vinaza tratada en un Entisol y en un Vertisol.	61
Figura 18:	Cambios generados en la materia orgánica (%) por la aplicación de vinaza tratada al Entisol y al Vertisol.	63
Figura 19:	Comportamiento lineal del K ⁺ en el Entisol y Vertisol debido a las aplicaciones de vinaza tratada.	66
Figura 20:	Comportamiento del rendimiento de materia seca aérea (gramos) de sorgo debida a la aplicación de vinaza tratada en el Entisol y en el Vertisol.	72
Figura 21A:	Producción de materia seca debido a la aplicación de vinaza tratada en el Entisol.	81
Figura 22A:	Producción de materia seca debida a la aplicación de vinaza tratada en el Vertisol.	81
Figura 23:	Capacitación a los productores de la finca “El Triunfo”. a) Registro de asistencia de productores. b) Presentación de productores de la finca.	102
Figura 24:	Realización de muestreos de suelos en la finca “El Triunfo”. a) zona de producción de mango. b) recorrido de zonas de producción. c) Materiales y equipo utilizados en el muestro de suelos. d) muestreo de suelos en el cultivo de mango (Mangifera indica L.).	103

TABLA DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1:	Concentraciones de fertilizantes que dentro de su composición solo incluyen un micronutriente y se encuentran en presentación sólida. 17
Cuadro 2:	Concentraciones de fertilizantes que dentro de su composición solo incluyen un micronutriente y se encuentran en presentación líquida. 18
Cuadro 3:	Empresas y fertilizantes en los cuales se encuentran los micronutrientes en mayor concentración dentro de sus formulaciones. 18
Cuadro 4A:	Empresas comercializadoras de fertilizantes que se encuentran con registro vigente de la URN del MAGA. 22
Cuadro 5:	Análisis químico y físico de los suelos utilizados en la investigación. 31
Cuadro 6:	Caracterización de las vinazas. 34
Cuadro 7:	Compuestos orgánicos de Vinaza. 35
Cuadro 8:	Principales ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio. 37
Cuadro 9:	Principales ventajas y desventajas del tratamiento aerobio. 38
Cuadro 10:	Metodologías utilizadas para la determinación de las propiedades químicas de la vinaza tratada utilizada en la presente investigación. 46
Cuadro 11:	Metodologías utilizadas para la determinación de las propiedades químicas de suelos. 46
Cuadro 12:	Tratamientos y niveles de vinaza tratada (m ³ /ha) utilizados en la fase de laboratorio para el Entisol y el Vertisol. 47
Cuadro 13:	Tratamientos, niveles de vinaza tratada (m ³ /ha) y volúmenes (cm ³) utilizados en la fase de invernadero para el Entisol y el Vertisol. 50
Cuadro 14:	Resultados del análisis químico de la vinaza tratada procedente del Ingenio Magdalena. 53

Cuadro 15:	Aportes de NPK de acuerdo a los niveles evaluados de vinaza tratada.....	54
Cuadro 16:	Valores de pH medidos a los 21, 42 y 106 días después de la aplicación de diferentes niveles de vinaza tratada en el Entisol y en el Vertisol.	56
Cuadro 17:	Valores de C.E (dS/m) medidos a los 21, 42 y 106 días después de la aplicación de diferentes niveles de vinaza tratada al Entisol y al Vertisol.....	59
Cuadro 18:	Valores de materia orgánica (%) como consecuencia de la aplicación de vinaza tratada en un Entisol y en un Vertisol determinados a los 106 días de su aplicación.	62
Cuadro 19:	Resultados de las bases intercambiables (Cmol ⁺ /Kg), porcentaje de saturación de bases y capacidad de intercambio catiónico obtenidos a los 106 días después de la aplicación de vinaza tratada en los suelos bajo estudio.	64
Cuadro 20:	Resultados de las relaciones catiónicas Mg/K, Ca/K y (Ca+Mg)/K por la aplicación de vinaza tratada en un Entisol y en un Vertisol.....	65
Cuadro 21:	Porcentaje de saturación de Calcio (CaI), Magnesio (MgI), sodio (NaI) y potasio (KI) generados por la aplicación de vinaza tratada.....	68
Cuadro 22:	Cambios generados en la disponibilidad de micronutrientes por la aplicación de vinaza tratada a un Entisol y a un Vertisol.	69
Cuadro 23:	Respuesta en la producción de materia seca de sorgo debida a la aplicación de vinaza tratada en el Entisol y en el Vertisol.....	71
Cuadro 24:	Concentración de nutrientes en materia seca de sorgo (<i>Sorghum halepense</i>) en el suelo Entisol ocasionados por la aplicación de vinaza tratada.	73
Cuadro 25:	Concentración de nutrientes en materia seca de Sorgo (<i>Sorghum halepense</i>) en el suelo Vertisol ocasionados por la aplicación de vinaza tratada.	74
Cuadro 26:	Metodologías empleadas en el laboratorio “Salvador Castillo”, para la determinación de las propiedades físicas y químicas de las muestras de suelo.....	85

PÁGINA

Cuadro 27:	Porcentajes de arcilla, limo, arena y clase textural de suelos.	90
Cuadro 28:	Resultados de pH, conductividad eléctrica (C.E) y porcentaje de materia orgánica (% M.O) de las diferentes muestra de la finca "San Pedro".....	91
Cuadro 29:	Contenidos de Ca, Mg, Na y K en Cmol ⁽⁺⁾ /Kg, presentes en los diferentes lotes de banano analizados.....	93
Cuadro 30:	Contenido de macronutrientes (%) en muestras vegetales de caña de azúcar.....	97
Cuadro 31:	Contenido de micronutrientes y Na (mg/Kg de materia seca) en muestras vegetales de caña de azúcar.....	98
Cuadro 32:	Temas impartidos en la capacitación de muestreo de suelo.....	101

TRABAJO DE GRADUACIÓN

CARACTERIZACIÓN DEL EFECTO QUE PRODUCE LA APLICACIÓN DE VINAZA TRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN ENTISOL Y UN VERTISOL, PROCEDENTES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA “SALVADOR CASTILLO”

RESUMEN

El Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía (EPSA) se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo”, en el período comprendido de febrero a noviembre de 2014. El laboratorio se dedica al análisis de muestras de suelo provenientes de todo el país y evalúa propiedades químicas como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), bases intercambiables (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+), materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt), macro y micro elementos disponibles, y propiedades físicas como textura, densidad aparente y retención de humedad a 33 kPa y 1,500 kPa. Además, se realizan análisis de tejido vegetal, de aguas con fines agrícolas y de fertilizantes.

Se realizó el diagnóstico sobre la comercialización de los micronutrientes utilizados en la agricultura de Guatemala para el año 2014. Producto del diagnóstico se pudo determinar que existen a nivel nacional 117 empresas que se dedican a la comercialización de fertilizantes y que cuentan con registro vigente por la Unidad de Normas y Regulaciones (URN) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), de las cuales 85 comercializan fertilizantes que dentro de su composición contienen micronutrientes; representando un 72.5 % del total de empresas que comercializan fertilizantes. El mercado nacional cuenta con un total de 1,617 fertilizantes de los cuales hay 683 fertilizantes que dentro de su composición incluyen micronutrientes. Del total de fertilizantes que se comercializan a nivel nacional el 71 % son importados y los países con mayor contribución es Estados Unidos (14 %), México (14 %) y España (12 %).

Los fertilizantes con micronutrientes se encuentran en presentaciones sólidas y líquidas; existiendo en el mercado una predominancia de fertilizantes sólidos (54 %). Las concentraciones de los micronutrientes varían en función de la presentación de los fertilizantes (sólida y líquida); los fertilizantes sólidos es en donde se encuentran las mayores concentraciones de los micronutrientes.

La investigación consistió en la caracterización del efecto que produce la aplicación de diferentes dosis de vinaza tratada sobre las propiedades químicas de un Entisol y de un Vertisol, procedentes de la Costa Sur de Guatemala. El estudio se realizó en dos fases: a) Caracterización de la vinaza tratada originada en la planta destiladora del Ingenio Magdalena y experimento a nivel de laboratorio con los órdenes Entisol y Vertisol; y 2) Experimento a nivel de invernadero evaluando el desarrollo de sorgo en los suelos tratados con vinaza. Los resultados indican que la vinaza tratada tiene un pH 8.2, conductividad eléctrica de 5.09 dS/m y los nutrientes que tiene en mayor concentración es el Potasio (0.85 %) y el Sodio (800 mg/L). Todos los niveles aplicados de vinaza tratada produjeron aumentos en el pH, C.E, M.O, bases intercambiables (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ K^+) y contenido de micronutrientes; los aumentos fueron mayores en el Entisol que en el Vertisol en relación a las dosis de 0 m³/ha a 900m³/ha. La producción de materia seca de sorgo en el Entisol tuvo un comportamiento cuadrático, con un nivel óptimo de 571 m³/ha, mientras que, en el Vertisol se generó un comportamiento lineal negativo; a medida que se incrementó la dosis aplicada de vinaza tratada la producción de materia seca disminuyó.

Los servicios realizados en el Laboratorio de suelo, planta y agua “Salvador Castillo” fueron: 1) realización de análisis físicos y químicos para muestras de suelo; 2) realización de análisis de tejido vegetal para muestras del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y 3) Capacitación y muestreo de suelos a productores de la finca “El Triunfo”, municipio de Champerico del departamento de Retalhuleu.



CAPÍTULO I.

**DIAGNÓSTICO DE LA COMERCIALIZACIÓN DE LOS MICRONUTRIENTES
UTILIZADOS EN LA AGRICULTURA DE GUATEMALA PARA EL AÑO 2014.**

1.1 PRESENTACIÓN

Como parte de la primera fase del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), se realizó el diagnóstico sobre la comercialización de los micronutrientes utilizados en la agricultura de Guatemala, con el fin de conocer la importancia que tienen estos dentro del sector nacional. En la república guatemalteca el 39.9 % de empresas se dedican principalmente al comercio, y el 32.30 % de la población tiene como actividad económica la agricultura (Juárez Suyén, 2015).

Los cultivos agrícolas en Guatemala ocupan una extensión territorial del 47.97 % y generan un 38 % de la tasa de empleos del sector nacional (Corporación para el Desarrollo, la Innovación, Soluciones Estratégicas (AKIANTO, 2012). Sumado a lo anterior se puede agregar que la mayor parte de producción generada en Guatemala depende directamente de los fertilizantes como insumo de nutrición vegetal.

Los objetivos del presente estudio fueron: 1) determinar la cantidad de empresas que se dedican a la comercialización de fertilizantes que dentro de sus formulaciones incluyen micronutrientes con registro vigente por la Unidad de Normas y Regulaciones (UNR) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA); 2) Determinar la procedencia de los fertilizantes que contienen micronutrientes y que se comercializan a nivel nacional; 3) Clasificar de acuerdo al tipo de presentación los fertilizantes que tienen dentro de su composición micronutrientes y 4) Caracterizar los rangos de las concentraciones de los micronutrientes contenidos en los fertilizantes.

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA

1.2.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA Y DIVISIÓN POLÍTICA

La república de Guatemala se encuentra localizada en la parte norte del istmo centroamericano (Figura 1); 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 Km². La división político administrativa, comprende 8 regiones, 22 departamentos y 331 municipios (INE, 2004).

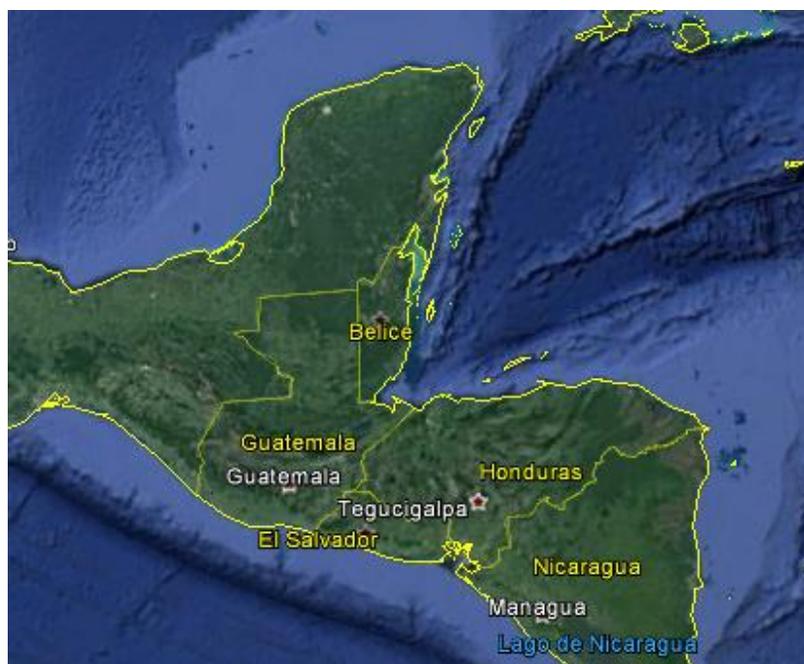


Figura 1: Ubicación satelital de la República de Guatemala.

Fuente: (Morales, 2012)

1.2.2 DESCRIPCION CLIMÁTICA E HIDROLOGICA

El país tiene diferentes pisos altitudinales que conduce la variabilidad de climas, fisiografía y suelos, los cuales constituyen los factores importantes en la diversidad de hábitats y ecosistemas, por ello el tipo de variación de vegetación y fauna; lo que explica la variabilidad de cultivos que pueden producirse y las diferentes formas biológicas susceptibles a ser aprovechadas. Entre las altitudes de 915 a 2,440 m s.n.m, se determina la zona en la que se concentra la mayor parte de la población, la cual convive en un clima cálido tropical, cuya temperatura tiene un promedio anual de 20 °C, marcándose dos estaciones por la presencia de lluvias; de mayo a octubre la estación lluviosa, siendo los meses de junio y septiembre los más marcados, presentando una canícula en los meses de julio y agosto que son meses húmedos, y la estación seca en los meses de abril a noviembre. La variación de las lluvias en la república de Guatemala oscila entre 500 mm a 5,600 mm para la región seca de oriente, en los departamentos de Jalapa, Jutiapa, Chiquimula y Zacapa y para la zona norte y occidente los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz, Baja Verapaz, respectivamente. El promedio anual de precipitación pluvial es aproximadamente, en la ciudad de Guatemala, de 2000 mm (Morales, 2012).

1.2.3 DESCRIPCIÓN BIOFÍSICA

A. Fisiografía

La república de Guatemala cuenta con 11 regiones fisiográficas. Según el orden cronológico en su clasificación de mayor a menor antigüedad es la siguiente: Tierras Altas Cristalinas, Montañas Mayas, Tierras Altas Sedimentarias, Cinturón Plegado del Lacadón, Plataforma de Yucatán, Tierras Altas Volcánicas, Pendiente Volcánica Reciente, Llanura costera del Pacífico, Planicie Interior de Petén, Depresión de Izabal, y Depresión del Motagua (MAGA, DIGEGR, 2001).

B. Geología

La geología de la república de Guatemala está dada por el tipo de roca, periodo, orígenes, y otras características que permiten mostrar la era en que inicio la formación, la composición y la distribución en el territorio nacional. Las principales formaciones geológicas a nivel nacional son: Paleozoico, Jurásico Cretásico, Aluviones Cuaternarios, Terciario Superior Oligoceno, Paleoceno Eoceno, Pérmico, Cretácico Terciario, Cretácico, Cuaternario, Terciario, Rocas plutónica sin dividir, Rocas ultrabásicas de edad desconocida, y Paleozoico (MAGA, DIGEGR, 2001).

C. Suelos

La república de Guatemala cuenta con 168 series de suelos. En estas series se encuentran cinco tipos especiales, los Suelos de los Valles, Suelos Aluviales, Lava Volcánica, Arena Playa de Mar, y Cimas Volcánicas (Simmos, Tárano, & Pinto, 1959). A continuación se detallan algunas de las principales series de Guatemala en el cuadro 1:

D. Cultivos

Los cultivos de mayor impacto económico en el sector agrícola de la república de Guatemala son: el banano (*Musa spp.*), palma de aceite (*Elaeis guineensis*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), hule (*Hevea brasiliensis*), piña (*Ananas comosus*), mango (*Mangifera indica*), papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum esculentum*), chile (*Capsicum spp.*), granos básicos como maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris*), cultivo de hortalizas de exportación como arveja china (*Pisum sativum*), ejote francés (*Phaseolus vulgaris*), brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), (AKIANTO, 2012).

1.2.4 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

A. Social

La población Guatemala para finales del año 2015 alcanzó una cifra de 17.154,812 personas; de las cuales 8.378,742 son hombres (48.84 %) y 8.776,070 son mujeres (51.16 %). Del total de la población, las personas menores de edad fueron 6.951,836 y la cantidad de personas mayores llegan a los 10.202,976 (Hernández, 2016).

B. Económico

En la república de Guatemala hasta el año 2011 el 99.0 % de las empresas registradas en el Directorio Nacional Estadístico de Empresas (DINESE), se catalogaron como empresas pequeñas, mientras que las empresas catalogadas como medianas y grandes ocuparon tan solo el 1.0 % (INE, 2012).

Del total de empresas el 39.90 % se dedica principalmente al comercio. La figura 2 detalla el número de empresas sectorizadas por actividad económica y las principales son el comercio y las actividades inmobiliarias (INE, 2012).



Figura 2: Número de empresas segmentadas por actividad económica en Guatemala.

Por otra parte los productos minerales, maquinaria, aparatos, y los productos químicos representan la mayoría de las importaciones para la república de Guatemala. La importación de productos químicos registró la inversión de 2,281.24 millones de dólares y la exportación de productos vegetales es la actividad económica más fuerte generando ingresos de 2,326.3 millones de dólares. El principal importador es el país de Estados Unidos. La agricultura representa el 32.30 % en lo que se refiere a la composición de la población ocupada por actividad económica como lo detalla la figura 3.



Figura 3: Porcentaje de la población ocupada por actividad económica en Guatemala.

La agricultura representa la actividad económica más fuerte de la república de Guatemala. Esta actividad genera el comercio de grandes cantidad de agroquímicos como de fertilizantes que son de importancia para para el aumento de la producción por área de los cultivos agrícolas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

- A. Conocer la situación actual de la comercialización de los micronutrientes utilizados en la agricultura de Guatemala.

1.3.2 ESPECÍFICOS

- A. Determinar la cantidad de empresas que se dedican a la comercialización de fertilizantes que dentro de sus formulaciones incluyen micronutrientes que cuentan con registro vigente por la Unidad de Normas y Regulaciones (UNR) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).
- B. Determinar la procedencia de los fertilizantes que contienen micronutrientes que son utilizados en el agro-guatemalteco.
- C. Clasificar de acuerdo a sus presentaciones (sólidas y líquidas) los fertilizantes que tiene dentro de su composición micronutrientes.
- D. Determinar los rangos de las concentraciones de los fertilizantes que contienen micronutrientes.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

La información recopilada para generar y realizar el presente diagnóstico se obtuvo a través de fuentes secundarias. La metodología para recabar la información de las fuentes secundarias se detalla a continuación:

1.4.1.1 Fuentes secundarias

La información secundaria sobre las empresas que se dedican a la comercialización de agroquímicos en Guatemala se obtuvo del departamento de la Unidad de Normas y Regulaciones (URN) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). La información se solicitó por medio de una carta dirigida al Ing. Agr. Luis Armando Menéndez Godoy.

1.4.2 FASE DE GABINTE

Esta fase consistió en analizar la información recolectada, agruparla y presentarla en cuadros y diagramas para la interpretación de los resultados.

1.5 RESULTADOS

1.5.1 EMPRESAS QUE SE ENCUENTRAN REGISTRADAS EN LA UNIDAD DE NORMAS Y REGULACIONES PARA COMERCIALIZAR FERTILIZANTES QUE DENTRO DE SU COMPOSICIÓN CONTIENEN MICRONUTRIENTES.

Según la Unidad de Normas y Regulaciones (URN) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), la comercialización de agroquímicos en Guatemala es realizada por 976 empresas. Del total de las empresas encargadas de comercializar agroquímicos el 31.05 % no cuentan con registro vigente, mientras que, el 68.95 % si cuenta con registro vigente para poder comercializar agroquímicos (Juárez Suyén, 2015).

Del total de las empresas que cuentan con registro vigente por URN existen 117 empresas que se dedican a la comercialización de fertilizantes, lo que representa un 17.38%. También, se puede mencionar que existen 85 empresas a nivel nacional que comercializan fertilizantes y que dentro de sus formulaciones contienen micronutrientes, lo que representan un 72.65 % del total de las empresas que distribuyen fertilizantes. En el cuadro 4A se detallan las empresas que comercializan fertilizantes y que dentro de su composición incluyen micronutrientes.

La totalidad de productos con registro vigente es de 1,617; de esa totalidad 683 productos contienen dentro de su composición micronutrientes. En la figura 4, se representa la distribución porcentual de los fertilizantes que dentro de su composición incluyen micronutrientes como los fertilizantes que no los incluyen:

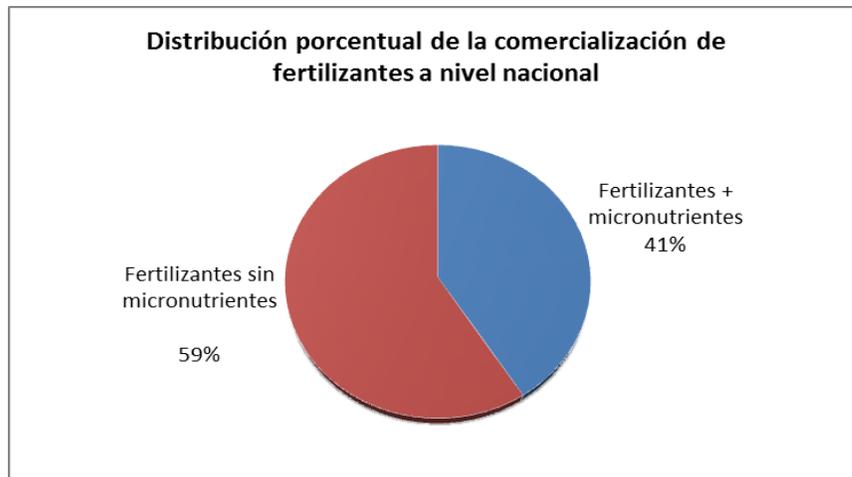


Figura 4: Distribución porcentual de la comercialización de fertilizantes que incluyen micronutrientes dentro de sus formulaciones.

En la figura 4, se puede observar que de la totalidad de fertilizantes comercializados, el 59 % no incluye dentro de sus formulaciones micronutrientes y el 41 % si incluye dentro de sus formulaciones micronutrientes. De esto se pueden mencionar que la disposición a nivel nacional de productos que contienen microelementos es menor que la cantidad de productos que no los incluyen dentro de su composición.

Los micronutrientes que se comercializan en Guatemala son: Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Boro (B), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl) y Níquel (Ni). En la figura 5 se detalla la cantidad de productos que contienen cada micronutriente:

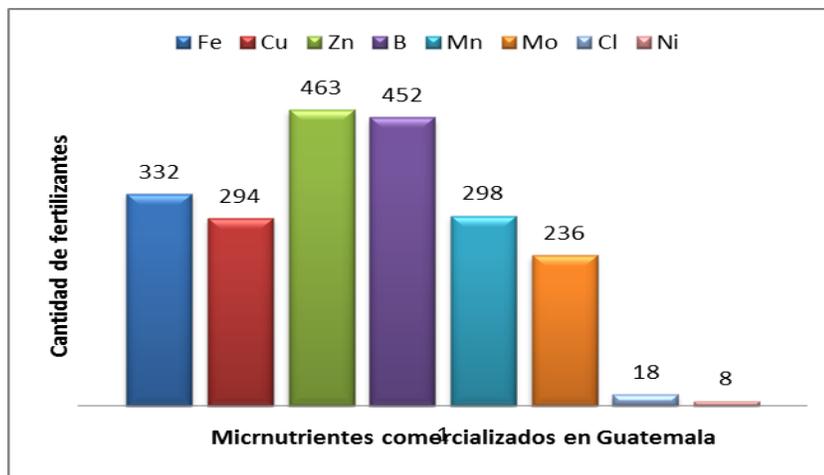


Figura 5: Cantidad de fertilizantes que contienen Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Boro (B), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl) y Níquel (Ni).

Como se puede observar en la figura 5, el micronutriente que se encuentra en mayor cantidad dentro del total de fertilizantes a nivel nacional es el Zinc, seguido del Boro y Hierro. Cada uno de estos micronutrientes se encuentra en 463, 452 y 332 productos respectivamente. Cabe indicar que las cantidades antes mencionadas no hacen referencia a fertilizantes que solo incluyen un micronutriente dentro de su composición.

La cantidad de fertilizantes que incluyen solo un micronutriente dentro de su composición y se encuentran en el mercado nacional son las siguientes: 32 Fe, 23 Cu, 84 Zn, 111 B, 7 Mn, 5 Mo, 0 Cl y 0 Ni. El boro es el micronutriente que se encuentra en una mayor cantidad de presentaciones de forma individual, seguida del Zn y el Fe; se puede indicar también, que no se encuentran productos que contienen Ni y Cl como elementos principales, estos se encuentran como iones acompañantes en la composición de los fertilizantes, ejemplo KCl.

El número de productos antes descritos son importantes a nivel nacional debido a que podrían ser utilizados para la realización de correcciones de forma individual, tanto en suelo como en planta. Los productos restantes podrían ser utilizados como complemento a la nutrición de los cultivos.

1.5.2 PROCEDENCIA DE LOS FERTILIZANTES QUE CONTIENEN MICRONUTRIENTES

Los fertilizantes comercializados a nivel nacional que contienen micronutrientes son importados de 20 países. En la figura 6 se detalla la distribución porcentual de los países importadores de fertilizantes que se comercializan en el mercado nacional:

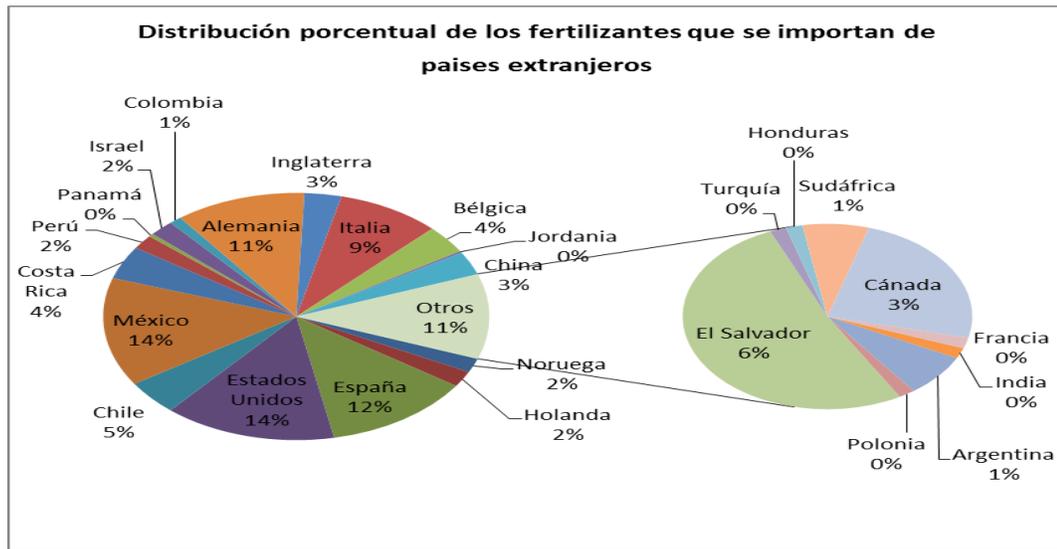


Figura 6: Porcentaje de fertilizantes que se importan por país extranjero.

En la figura 6 se puede observar que el 71 % de los fertilizantes que se comercializan a nivel nacional son importados, siendo los principales países: Estados Unidos (14 %), seguido de México (14 %) y España (12 %).

El 29 % restante del total de fertilizantes (equivalente a 200 productos) son formulados y fabricados nivel nacional; de los cuales 76 productos contienen un micronutriente y 134 productos contienen varios micronutrientes dentro de su composición. Las cantidades de productos que contienen un micronutriente son las siguientes: 45 de B, 4 de Fe, 3 de Cu, 20 de Zn, 3 de Mn y 1 de Mo.

En la figura 7 se detalla la distribución porcentual de los productos importados que contienen un solo micronutriente:

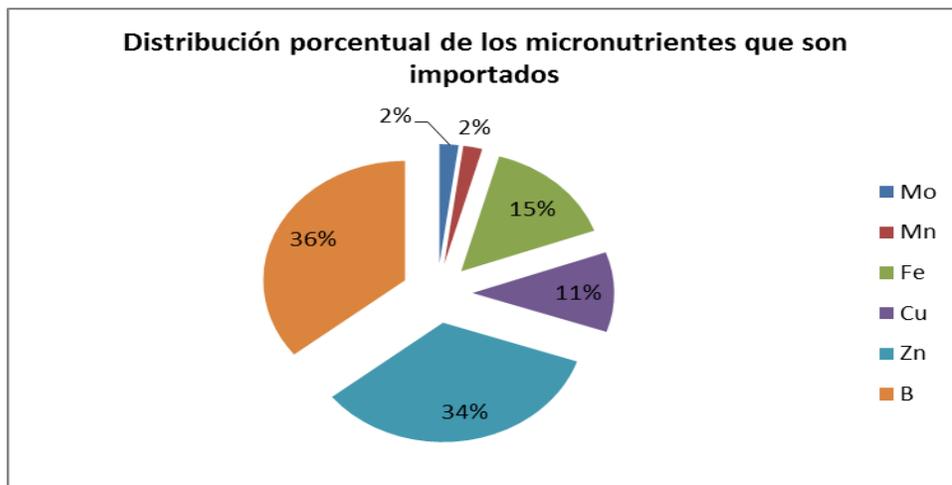


Figura 7: Distribución porcentual por micronutriente que son importados para su comercialización a nivel nacional.

En la figura 7 se puede observar que el micronutriente que se importa en mayor cantidad para su uso a nivel nacional es el Boro, Zinc y Fe representando el 36 % (174 productos), 34 % (165 productos) y el 15 % (73 productos) de los fertilizantes.

1.5.3 CLASIFICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES QUE DENTRO DE SU COMPOSICION CONTIENEN MICRONUTRIENTES POR SU PRESENTACIÓN

De acuerdo a la totalidad de fertilizantes que incluyen dentro de su formulación micronutrientes (683) y que se encuentra en el mercado nacional se puede mencionar que estos se encuentran en presentaciones sólidas y líquidas.

En la figura 8 se presenta la distribución porcentual por presentación de los fertilizantes que dentro de su composición incluyen micronutrientes:

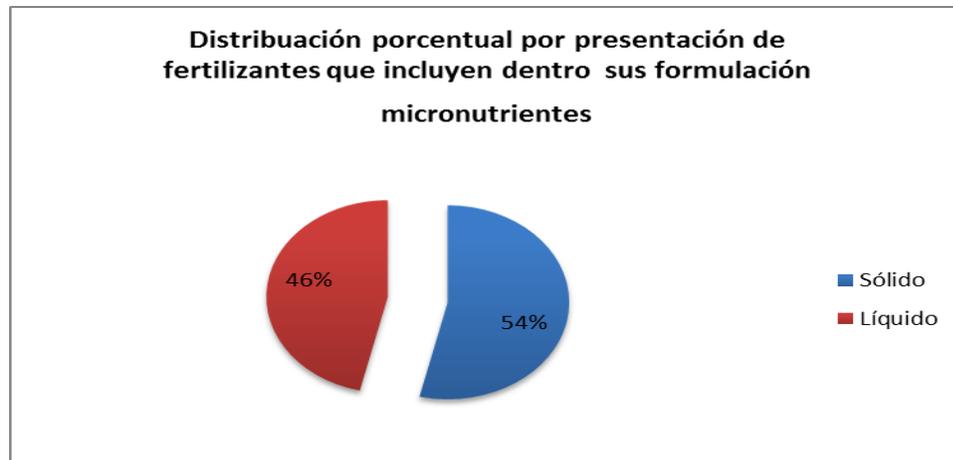


Figura 8: Distribución porcentual por presentación (sólida y líquida) de fertilizantes que incluyen dentro de su composición micronutrientes.

Se puede observar que el 54% del total de los fertilizantes que incluyen dentro de su composición micronutrientes su presentación es en estado sólido, mientras que la presentación en forma líquida representa el 46 %. Los porcentajes anteriores podrían interpretarse de la manera siguiente: los productos sólidos se deberían aplicar al suelo y los productos líquidos al tejido vegetal, sin embargo, estas presentaciones se pueden aplicar tanto en el suelo como en el tejido vegetal, a menos que el producto especifique la forma de aplicarlo.

En las figuras 9 y 10 se detallan las distribuciones porcentuales por presentación sólida y líquida para cada micronutriente contenido de forma individual en los fertilizantes y que se comercializan en el territorio nacional. El grupo de fertilizantes compuestos hace referencia al grupo de los productos que incluyen dentro de su composición a dos o más micronutrientes.

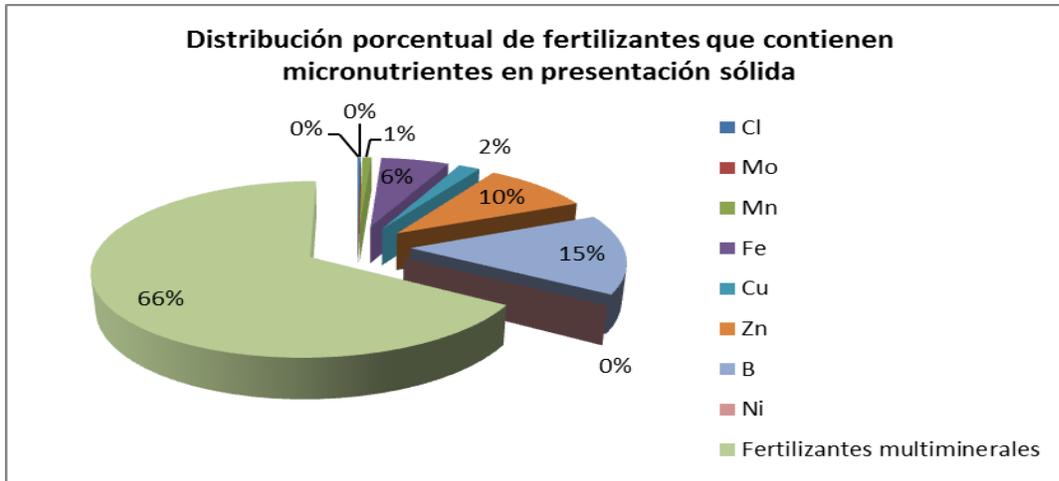


Figura 9: Distribución porcentual de fertilizantes que incluyen dentro de su composición micronutrientes en presentación sólida.

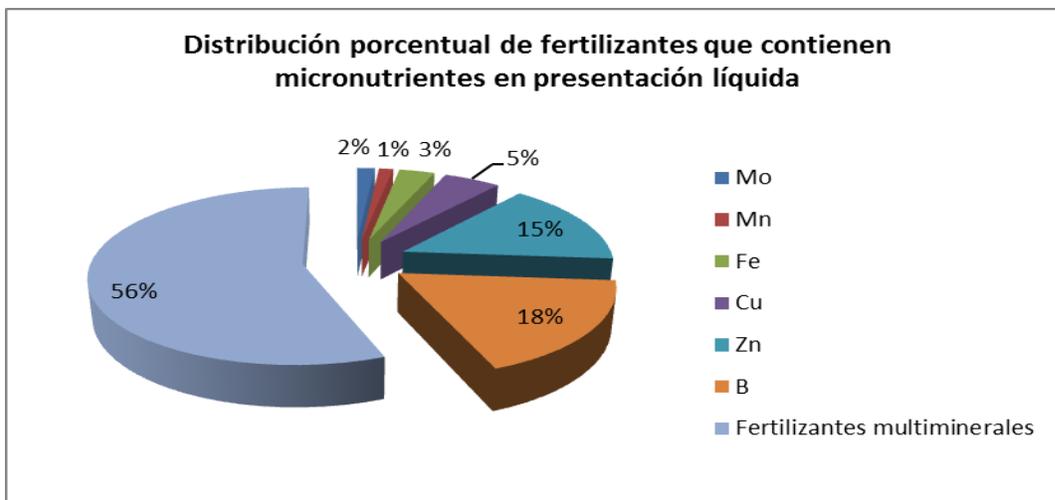


Figura 10: Distribución porcentual de fertilizantes que incluyen dentro de su composición micronutrientes en presentación líquida.

En las figuras 9 y 10 se puede observar que la mayor cantidad de fertilizantes son los productos que contiene dos o más micronutrientes debido a que estos representan el 66 % y 56 % de las presentaciones sólidas y líquidas. El porcentaje restante de cada presentación hace referencia a los productos que contiene solo un micronutriente dentro de su composición.

Del total de fertilizantes que contienen micronutrientes, Guatemala formula 132 productos en presentación sólida y 68 en presentación líquida.

1.5.4 RANGO DE CONCENTRACIONES DE LOS MICRONUTRIENTES EN LOS FERTILIZANTES

Los fertilizantes que incluyen micronutrientes y que se comercializan a nivel nacional son distribuidos por 85 empresas y proveen 683 fertilizantes de diferente composición y concentración. En el cuadro 4 se detallan los nombres de las empresas y los fertilizantes, su composición y concentración de cada micronutriente.

En el cuadro 1 y 2 se detallan los rangos de las concentraciones de micronutrientes para los fertilizantes que incluyen solo un elemento dentro de su composición y que se encuentran en presentación sólida y líquida:

Cuadro 1: Concentraciones de fertilizantes que dentro de su composición solo incluyen un micronutriente y se encuentran en presentación sólida.

Micronutriente	Concentración (%)	
	Mínima	Máxima
Fe	6.00	22.00
Cu	2.00	15.00
Zn	3.00	80.27
B	8	46.00
Mn	12.50	22.00

Cuadro 2: Concentraciones de fertilizantes que dentro de su composición solo incluyen un micronutriente y se encuentran en presentación líquida.

Micronutriente	Concentración (%)	
	Mínima	Máxima
Fe	6.00	15.00
Cu	5.00	8.00
Zn	5.00	75.00
B	7.20	45.00
Mn	5.00	22.00
Mo	4.00	10.00

Se puede observar en los cuadro 1 y 2 que la concentración de cada micronutriente en los fertilizantes varía de acuerdo a la presentación en la que se encuentre. En las presentaciones solidas los micronutrientes se encuentran en mayor concentración, a excepción del Mo que solo se encuentra en presentación de forma líquida.

En el cuadro 3 se describen las características de los fertilizantes que proveen las mayores concentraciones de los micronutrientes a nivel nacional.

Cuadro 3: Empresas y fertilizantes en los cuales se encuentran los micronutrientes en mayor concentración dentro de sus formulaciones.

Empresa	Fertilizante	Micronutriente
Disagro de Guatemala, S.A.	Tiger Fe 22%	Fe
Agropecuaria Popoyán, S.A.	Grogreen Copper E-15	Cu
Tecnología Industrial de Granulados, S.A.	Óxido de Zinc	Zn
Nutrinsagro, S.A.	Solubor	B
Enlace Agropecuario, S.A.	Multifruito Mn	Mn
AtlanticaAgricola de Guatemala, S.A.	Kelik Molibdeno	Mo

1.6 CONCLUSIONES

1. Las empresas que comercializan fertilizantes y que cuentan con registro vigente por la Unidad de Normas y Regulaciones del MAGA son 117 representando un 17.43 % de total de las empresas que distribuyen agroquímicos a nivel nacional, mientras que de esa cantidad se encuentran son 85 empresas que comercializan fertilizantes con micronutrientes y representan un 72.65 %. La cantidad de fertilizantes en el mercado nacional es de 1,617 de ese total 683 tienen dentro de su composición micronutrientes.
2. Los fertilizantes que contienen micronutrientes y que son comercializados a nivel nacional son importados de 20 países, representando un 71 %; Guatemala es el país que provee mayor cantidad de fertilizantes (201), seguida de Estados Unidos (69), México (67) y España (69).
3. A nivel nacional los fertilizantes que incluyen micronutrientes se encuentran en presentaciones líquidas y sólidas. Los fertilizantes que se encuentran en forma sólida representan el 54 %, los de presentación líquida el 46 %.
4. Las concentraciones de los micronutrientes en los fertilizantes varían de acuerdo al tipo de presentación (líquida y sólida). Las concentraciones más altas de los micronutrientes se encuentran en los fertilizantes de presentación sólida a nivel nacional.

1.7 RECOMENDACIONES

1. Promover a nivel nacional la formulación de fertilizantes a base de Cobre, Manganeso, Molibdeno, Cloro y Niquel debido a que los productos que se encuentran en mayor cantidad están a base de Boro, Zinc y Hierro.
2. Generar información sobre la situación actual de los micronutrientes en los suelos de Guatemala.

1.8 BIBLIOGRAFÍA

1. AKIANTO. (2012). *Impacto social y económico del sector agrícola guatemalteco sobre la economía nacional*. Recuperado el 15 de Agosto de 2017, de Corporación para el Desarrollo, la Innovación y Soluciones Estratégicas: <http://agrequima.com.gt/site/wp-content/uploads/2017/01/160512vff.pdf>
2. Hernández, M. (2016). *Población supera los 17.1 millones*. Recuperado el 19 de 02 de 2016, de Prensa Libre, Guatemala: <http://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/poblacion-supera-los-171-millones>
3. INE. (2004). *Censo nacional agropecuario: características generales de las fincas censales y productoras y productores*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística, tomo 1, 1 CD.
4. INE. (2012). *Caracterización estadística de Guatemala*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, de Instituto Nacional de Estadística: <http://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/02/26/5eTCcFIHERnaNveUmm3iabXHakgXtw0C.pdf>
5. Juárez Suyén, L. E. (2015). *Determinación de ácidos húmicos y fúlvicos de la materia orgánica y su relación sobre las propiedades físicas y químicas en los suelos Andisoles del departamento de Chimaltenango, Guatemala, Centroamérica (Tesis Ing. Agr.)*. Guatemala: USAC, Facultad de Agronomía .
6. MAGA, DIGEGR. (2001). *Base de datos digital de la república de Guatemala a escala 1:25,000*. Obtenido de Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Dirección de Información Geográfica Estratégica y Gestión de Riesgos: http://www.sigmaga.com.gt/pdfs_sigmaga/005%20%20Base%20Digital%20250000.pdf
7. Morales, J. I. (2012). *Evaluación del descenso del nivel freático en la parte norte del acuífero metropolitano en el valle de Guatemala (Tesis MSc.)*. Guatemala: USAC, Escuelal Regional de Ingeniería Sanitaria.
8. Simmos, C. H., Tárano, J. M., & Pinto, J. H. (1959). *Clasificación de reconocimiento de suelos de la república de Guatemala. (Trad. Pedro Tirano Sulsona)*. Guatemala: Instituto Agropecuario Nacional. p 775-783.



1.9 ANEXOS

Cuadro 4A: Empresas comercializadoras de fertilizantes que se encuentran con registro vigente de la URN del MAGA.

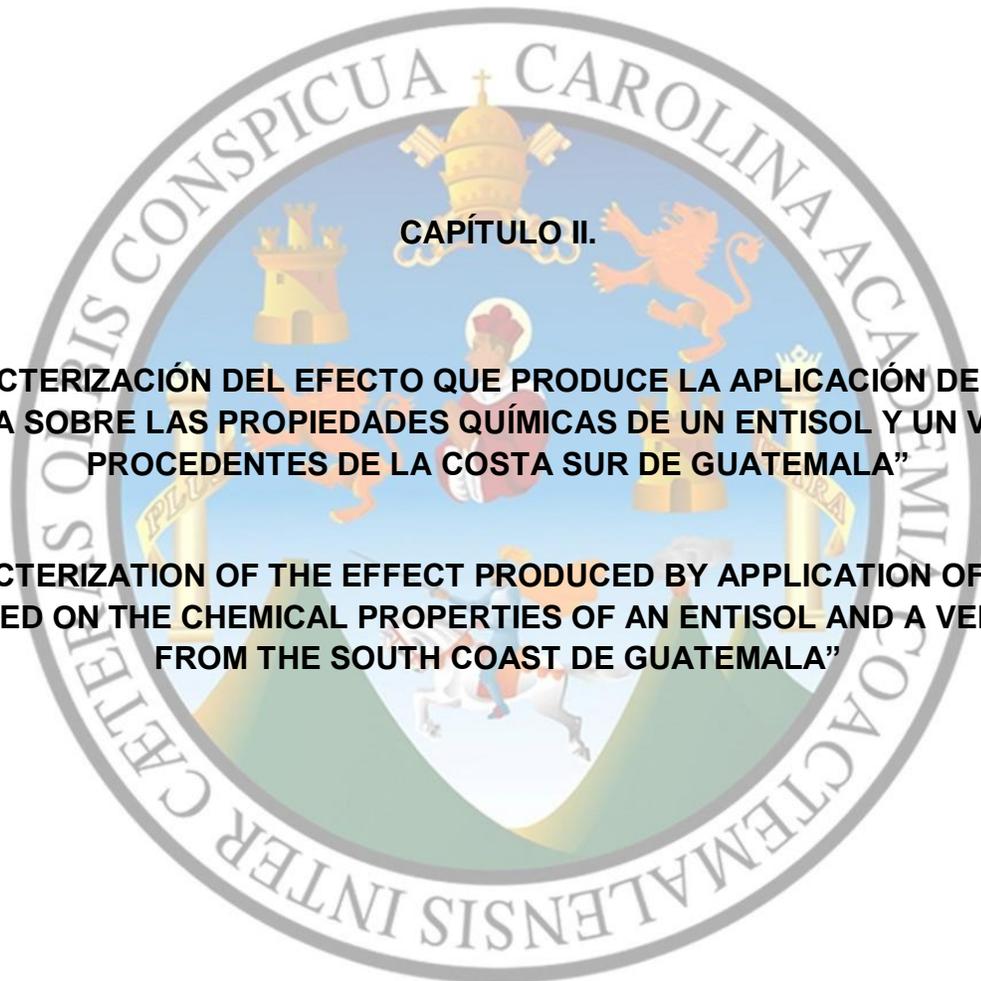
No.	NOMBRE DE LA EMPRESA	TF*	TFM**
1	4-AGRO, S.A.	12	6
2	ADMINISTRACION PROFESIONAL DE SERVICIOS S.A.	2	1
3	AGRIAVANCES, S.A.	2	1
4	AG BIO TECH, S.A.	2	2
5	AGRICOLA COMERCIAL AGRICOM	10	3
6	AGRIPRO	3	2
7	AGROCAP, S.A.	5	3
8	AGRO INSUMOS, S.A.	1	0
9	AGROBASSY Y COMPAÑIA LIMITADA	1	0
10	AGROCENTRO, S. A.	6	4
11	AGROINDUSTRIAL N.R. Y ASOCIADOS, S.A.	9	7
12	AGRO-CHILE, S. A.	7	4
13	AGROFARMERS, S.A.	16	13
14	AGROFORTRESS, S. A.	1	1
15	AGROINSUMOS BIONATURALES, S.A.	1	0
16	AGROINSUMOS DE CENTRO AMERICA	2	0
17	AGROMIL GUATEMALA, S.A.	1	0
18	AGROPECUARIA POPOYAN, S.A.	41	24
19	AGROPECUARIA SOSTENIBLE	1	0
20	AGRORED	14	8
21	AGROSAK, S.A.	1	0
22	ALPHA QUIMICOS, S.A.	38	31
23	ARMENIA LORENA S.A.	1	0
24	ARYSTA LIFESCIENCE DE GUATEMALA, S.A.	40	18
25	ASESORÍA Y CONSULTORÍA AGRÍCOLA PROFESIONAL	1	1
26	ATLANTICA AGRICOLA DE GUATEMALA, S.A.	22	13
27	AVANCES AGRICOLAS DE GUATEMALA, S.A.	5	0
28	AYCO FARMS GUATEMALA, S. A.	10	5
29	BASF DE GUATEMALA, S.A.	39	31
30	BIOEST GUATEMALA, S.A.	4	2
31	BIOEXPORT, S. A	3	2

TF= Total de fertilizantes por empresa; TFM= Total de fertilizantes con micronutrientes

32	BIOPROCESOS DE GUATEMALA, S.A.	13	7
33	BIOSKA, S. A.	6	1
34	BIOSOL, S. A.	1	1
35	BRENNTAG GUATEMALA, S.A.	27	10
36	CALERA SAN MIGUEL, S.A.	1	0
37	CALIDAD, S.A.	2	0
38	CARBORGANICOS GUATEMALTECOS, S.A.	10	2
39	COMERCIAL AGRICOLA SAN ANTONIO	31	18
40	COMERCIALIZADORA LAS TEJAS, S.A.	1	0
41	CORPORACIÓN FERZA, S.A.	6	2
42	CORPORACION J.C.O. AGROINDUSTRIAL, S.A.	8	4
43	CORTAZAR, S. A.	46	6
44	COSMOCEL	13	5
45	COSTA SOL, S.A.	1	0
46	DESARROLLOS QUIMICOS GUATEMALTECOS, S.A.	51	17
47	DESARROLLOS QUIMICOS Y AGRICOLAS, S. A.	10	8
48	DISAGRO DE GUATEMALA, S.A.	163	58
49	DISTRIBUIDORA AGRÍCOLA GUATEMALTECA, S.A.	1	0
50	DISTRIBUIDORA DE QUIMICOS AGRICOLAS, S.A.	6	2
51	DISTRIBUIDORA BERPOR	6	5
52	DUWEST GUATEMALA, S.A.	16	7
53	EMPRESA CENTROAMERICANA DE SERVICIOS, S.A.	2	2
54	EMPRESA DE GASA SOLIDA, S.A.	1	0
55	ENLACE AGROPECUARIO, S.A. (ENLASA)	83	42
56	ESTONIA, S.A.	9	6
57	EUROCOMM, S.A.	15	6
58	EXPORTADORA ENLASA, S. A.	1	0
59	FERTICA GUATEMALA, S.A.	36	6
60	FERTILIZANTES MAYA, S.A. (MAYAFERT)	98	18
61	FITOQUIMICOS Y FERTILIZANTES ESPECIALES, S. A.	65	47
62	FORMULASA	1	0
63	FPC GROUP, S.A.	1	1
64	FUTURECO BIOSCIENCE, S.A.	14	6
65	GLOBALAGRA DE GUATEMALA, S. A.	7	5
66	GREEN CORE, S.A.	5	5
67	GREENCORP GUATEMALA, S.A.	7	5
68	GREENLIFE	18	13
69	GRUPO DE ASESORÍA INDUSTRIAL, COMERCIAL Y AGRÍCOLA, S. A.	4	1
70	GRUPO FERT, S. A.	14	2
71	HIGH Q INTERNATIONAL, S. A.	6	1
72	INDUPARTS, S. A.	1	1

73	INGENIO MAGDALENA, S.A.	3	0
74	INSUMOS MODERNOS, S.A.	10	1
75	LA CORNETA, S. A.	1	1
76	LA FUTURA, S.A.	2	1
77	LABIAGRO, S.A.	1	1
78	M.C. INDUSTRIAL	1	1
79	MARKETING ARM GUATEMALA, S.A.	3	3
80	NIKIMA, S. A.	1	0
81	NITRATOS DE GUATEMALA, S.A.	3	0
82	NOVEDADES E INNOVADORA AGROQUIMICOS, S.A.	12	3
83	NUTRIENTES Y FERTILIZANTES, S.A.	1	1
84	NUTRIENTES Y NITRATOS QUETZAL, S.A.	5	0
85	NUTRINSAGRO, S.A.	84	11
86	NUTRIVE, S.A.	3	2
87	PALMAS DEL IXCAN, LIMITADA	1	0
88	POPOYAN LC, S.A.	1	0
89	PROMOCIONES AGRICOLAS INDUSTRIALES Y COMERCIALES, S.A.	3	3
90	PROVEEDORES DE AGROQUIMICOS DE GUATEMALA, S. A.	5	3
91	QUIMICAS STOLLER DE CENTROAMERICA, S.A.	23	15
92	QUIMICOS DE CALIDAD S.A.	2	1
93	QUIMICOS Y LUBRICANTES, S.A. (QUILUBRISA)	5	0
94	RAINBOW AGROSCIENCES (GUATEMALA) S.A.	1	0
95	REGISTROS PONCE	3	2
96	SEMILLAS DEL CAMPO, S.A.	2	0
97	SEMILLAS E INSUMOS AGROPECUARIOS, S. A.	13	5
98	SEMILLAS MEJORADAS DE CENTRO AMÉRICA, S.A. (SEMECA)	1	1
99	SERVICIOS Y CONSULTORÍAS AGRÍCOLAS (SECAGRO)	2	1
100	SOLUCIONES AGRICOLAS DE GUATEMALA, S.A.	6	3
101	SOLUCIONES ANALITICAS, S. A.	1	0
102	SUPLIDORA AGRICULTURA INTEGRADA, S.A.	6	6
102	STANDARD FRUIT DE GUATEMALA, S.A.	3	1
103	TECNICA CIENTÍFICA DE GUATEMALA, S. A.	1	0
104	TECNICA UNIVERSAL, S. A.	55	28
105	TECNOLOGÍA INDUSTRIAL DE GRANULADOS, S.A.	18	9
106	TECNOLOGIA VEGETAL, S.A.	8	6
107	TEUTON, S. A.	13	0
108	TIGSA FERTILIZANTES, S. A.	10	2
109	TIGSA PACIFICO, S.A.	33	7
110	TIKAL AGROSOLUTIONS	20	10
111	TRANSFERTIL DE CENTROAMERICA, S.A.	8	6
112	TROPICULTIVOS, S.A.	1	0

113	VÍA BOTANICA, S.A.	3	1
114	VISTA VOLCANES, S. A.	5	0
115	YARA GUATEMALA, S.A.	72	18
116	WESTRADE GUATEMALA, S.A.	53	28
117	ZELL CHEMIE GUATEMALA, S. A.	1	0
TOTAL DE FERTILIZANTES		1617	683



CAPÍTULO II.

“CARACTERIZACIÓN DEL EFECTO QUE PRODUCE LA APLICACIÓN DE VINAZA TRATADA SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN ENTISOL Y UN VERTISOL, PROCEDENTES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA”

“CHARACTERIZATION OF THE EFFECT PRODUCED BY APPLICATION OF VINAASSE TREATED ON THE CHEMICAL PROPERTIES OF AN ENTISOL AND A VERTISOL, FROM THE SOUTH COAST DE GUATEMALA”

2.1 PRESENTACIÓN

Entre los factores que afectan la productividad de la caña de azúcar está la fertilización. Sin embargo, en los últimos años los fertilizantes minerales han sufrido significativos incrementos en sus costos; a tal efecto, surge la necesidad de buscar vías alternas que permitan el suministro al suelo de los elementos nutritivos en una forma más económica.

Los residuos de la agroindustria azucarera y alcoholera (bagazo, cachaza y vinaza) incorporados al suelo aportan cantidades apreciables de materia orgánica y nutrimentos como Potasio, Calcio, Magnesio, Nitrógeno y Hierro (Berrocal, 1987).

Diversos trabajos de investigación realizados en otros países, especialmente en Brasil, revelan que la vinaza incrementa la productividad de la caña de azúcar, evidenciándose con ello que una de sus grandes ventajas es que bajo condiciones racionales de manejo, puede sustituir parcial o totalmente la fertilización mineral (COPERSUCAR, 1986). Sin embargo, los trabajos de investigación referidos provienen de regiones que presentan condiciones topográficas, climáticas y edáficas completamente diferentes a las áreas donde se cultiva la caña de azúcar en Guatemala.

Bajo este contexto y según la experiencia acumulada en otros países en los últimos años en la utilización de la vinaza como fertilizante, se hace imperante realizar estudios referentes a analizar y evaluar bajo condiciones actuales la utilización de la vinaza por medio del establecimiento de ensayos que permitan, por una parte, eliminar el efecto contaminante de la vinaza, a través de su utilización como fertilizante y por la otra, aumentar la producción de la caña de azúcar, sin afectar su calidad y sin ocasionar deterioro al suelo (COPERSUCAR, 1986).

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Marco referencial

2.2.1.1 Descripción del área experimental

La investigación se realizó en el laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo” y en un invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, que se encuentra ubicado en el Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA).

2.2.1.2 Ubicación geográfica del área experimental

El campo del CEDA de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, están situados al sur de la capital de Guatemala (zona 12); se ubica geográficamente en las coordenadas 14°35′11″ norte y 90°35′58″ oeste, y una altitud media de 1,502 m s.n.m. (FAUSAC, 2014).

2.2.1.3 Clima y zonas de vida

Según el mapa de zonas de vida a nivel de reconocimiento de república de Guatemala, a escala 1:600,000; publicado por el Instituto Nacional Forestal, la ciudad de Guatemala se encuentra dentro de la zona de vida: bosque húmedo subtropical templado (Bh – st).

- Precipitación media anual: 1,216.2 mm en 110 días, en los meses de mayo a octubre.
- Temperatura media anual: 18.3 °C.
- Humedad relativa (media): 79 %
- Insolación promedio: 6.65 h/día
- Radiación: 0.33 cal/cm² min.

2.2.1.4 Hidrología

El área de estudio se encuentra dentro de la cuenca del río Michatoya, en la subcuenca del río Villalobos. En las cuencas que integran el valle de Guatemala, el régimen de las

aguas superficiales, por la naturaleza geomorfológica de los cauces y, en particular por las grandes pendientes desarrolladas, es típicamente torrencial. Sin embargo, en las partes bajas del río Michatoya, las formaciones aluviales de poca pendiente dan a las aguas un régimen más tranquilo (FAUSAC, 2014).



Fuente: FAUSAC, 2014

Figura 11: Ubicación del Centro Experimental Docente de Agronomía.

2.2.1.5 Descripción general del área donde se obtuvieron las muestras de suelo

A. Ubicación del área

Los suelos que se utilizaron en la presente investigación se obtuvieron de fincas del Ingenio Magdalena. El Vertisol se obtuvo de la finca Malta y el Entisol se obtuvo de la finca Esperancita.

B. Características de los suelos utilizados en la investigación

En el cuadro 5 se describen las características de los órdenes de suelo que se utilizaron en la investigación:

a. Entisol

Son los suelos menos evolucionados presentes en la región, con horizonte AC, y ocupan un 16 por ciento del área. Los mismos se encuentran en los valles y explayamientos aluviales en forma de fajas angostas en las partes medias y bajas con ampliaciones en el litoral en la planicie costera. Tienen poca evolución y poca evidencia de desarrollo de horizontes genéticos. En su mayoría son suelos permeables de texturas gruesas y arenosas. El subsuelo de los Entisoles generalmente es arenoso y son suelos que presentan déficit de agua en el verano (Espinosa, 2010).

b. Vertisol

Los Vertisoles ocupan una mínima extensión en el área (0.5 %) y son suelos más evolucionados de perfil ABC. Se caracterizan por su alto contenido de arcilla especialmente montmorillonita. (Espinosa, 2010).

Los Vertisoles son suelos arcillosos en todo el perfil y se caracterizan por los altos contenidos de arcillas tipo 2:1. Los mismos tienen la particularidad de contraerse y comprimirse dependiendo del contenido de humedad. Estos suelos generalmente presentan un drenaje moderado a imperfecto por lo que en la práctica son suelos más difíciles de laborear (CENGICAÑA, 1996).

Estos suelos presentan un pH ligeramente ácido en la superficie con moderados contenidos de materia orgánica, ricos en Ca y Mg, moderados en K y bajos en P (Alfaro, 1996).

c. Características físicas y químicas de los suelos utilizados

La profundidad de muestreo realizada fue a un estrato de 0 a 0.2 m para los dos órdenes. Posteriormente se realizó el análisis físico-químico de las muestras, obteniendo los siguientes resultados:

Cuadro 5: Análisis químico y físico de los suelos utilizados en la investigación.

Prueba	Unidades	Rango Medio	Suelo Vertisol	Suelo Entisol
C.E.	dS/m		0.374	0.406
pH	Unidad	6.0-6.5	6.9	6.6
CIC	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	20-25	22.1	20.8
M.O	%	4-5	1.91	3.13
P	mg/kg	12-16	5.17	30.79
Cu⁺⁺	mg/kg	2-4	2.5	1.0
Zn⁺⁺	mg/kg	4-6	7.0	3.5
Fe⁺⁺	mg/kg	10-15	8.0	7.5
Mn⁺⁺	mg/kg	10-15	130	59
Ca⁺⁺	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	4-8	9.48	9.48
Mg⁺⁺	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	1.5-2	4.2	4.14
Na⁺	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	----	0.47	0.17
K⁺	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	0.27-0.38	1.12	1.05
Saturación de bases (SB %)	%	75-90	69.90	71.35
Dap	kg/m ³		1290	1080
Arcilla	%		54.1	16.3
Limo	%		21.29	32.17
Arena	%		24.61	51.53
Clase textural			Arcilloso	Franco arenoso

2.2.2 Marco Conceptual

2.2.2.1 Producción de alcohol en Guatemala

La caña de azúcar se siembra en Guatemala en 235,000 hectáreas de terrenos planos de la costa sur y algunas pequeñas regiones en el oriente y nororiente del país. El rendimiento promedio es de 100 T/ha de caña. Se muelen alrededor de 20 millones de T/año de caña, con un rendimiento promedio de 0.1 T de azúcar/ T de caña molida. Con la cantidad de caña que se siembra actualmente en Guatemala podrían producirse anualmente entre 360 millones de galones de etanol, si no se produjera azúcar, y 55 millones de galones si solo se procesara la melaza. La capacidad instalada actual para producir etanol a partir de melaza es de aproximadamente 40 millones de galones anuales en cinco destilerías aledañas a ingenios azucareros (Espinosa, 2010).

2.2.2.2 Subproductos generados de la agroindustria azucarera

En los ingenios azucareros se llevan a cabo diversos procesos industriales en los cuales se generan cantidades considerables de residuos o subproductos (Bautista Zuñiga F. D., 1998). El aprovechamiento de una tonelada de caña produce aproximadamente 330 kg de bagazo, 30 kg de cachaza y 800 L de vinaza (Berrocal, 1987).

La producción de alcohol produce un residuo final líquido, comúnmente llamado vinaza, el cual ha constituido desde hace mucho tiempo un grave problema debido a su elevado poder de contaminación, ocasionado principalmente por su gran contenido orgánico.

Los residuos de la agroindustria azucarera y alcoholera (bagazo, cachaza y vinaza) incorporados al suelo aportan cantidades apreciables de materia orgánica y nutrientes como Potasio, Calcio, Fósforo, Nitrógeno, Hierro, etc. (Berrocal, 1987).

2.2.2.3 Descripción de la Vinaza

La vinaza es un subproducto del proceso de fermentación y destilación del alcohol; puede considerarse esencialmente un líquido orgánico natural debido a que sus características se originan esencialmente del tipo de materia prima usada, la melaza o la miel final, y la actividad de la levadura *Saccharomyces cerevisia* (Aguilar Loe, 2001). En la figura 12 se presenta la vinaza obtenida en la planta destiladora del Ingenio Magdalena.



Figura 12: Vinaza tratada producida en el Ingenio Magdalena.

La vinaza está formada por cuatro componentes principales (Aguilar Loe, 2001):

- Carga orgánica
- Elementos inorgánicos
- Pigmentos café-oscuros
- Agua

La combinación de los elementos de la vinaza le confiere características particulares; la alta carga orgánica y la gran cantidad de pigmentos mantienen la alta demanda biológica de oxígeno (76.1 g/L), en tanto que los elementos inorgánicos y orgánicos están relacionados con la alta conductividad eléctrica. Es importante mencionar, sin embargo, que la conductividad eléctrica esta modelada por la temperatura; la vinaza con una temperatura de 41 °C presenta una conductividad eléctrica de 10.18 dS/cm (Aguilar Loe, 2001).

La composición y concentración de la vinaza depende fuertemente del material usado para la fermentación, así como de los procesos de extracción de azúcar, la propia fermentación y la destilación (Montenegro Gómez, 2008).

El Potasio inorgánico, es el elemento presente en mayor cantidad en las vinazas. También contiene micronutrientes esenciales como Cobre y Zinc (Korndorfer, 2004). La composición de la vinaza en relación a su contenido de Potasio tienen que ver mucho con su contenido en el suelo en donde se cultiva caña, es decir, en suelos en donde el contenido de potasio es bajo los contenidos de potasio presentes en las vinazas originadas son bajos, todo lo contrario ocurre cuando los contenidos de potasio son altos en el suelo se producen vinazas con altos contenidos de Potasio (Pérez O. , 2015).

La vinaza presenta un color pardo claro y en la medida que está expuesta al aire se oxida, oscureciéndose. En el cuadro 6 se describe la composición química de tres tipos de vinaza, que difieren en el tipo de tratamiento empleado.

Cuadro 6: Caracterización de las vinazas.

Parámetros	Unidades	Vinazas		
		VC	VA	VAA
pH		4.44	8.73	8.93
C.E	dS/m	29.3	19.5	19.1
Ca ²⁺	mol ⁽⁺⁾ /L	45.7	9.6	1.7
Mg ²⁺	mol ⁽⁺⁾ /L	46.0	46.0	29.5
Na ⁺	mol ⁽⁺⁾ /L	0.44	0.70	0.6
K ⁺	mol ⁽⁺⁾ /L	10.1	3.9	3.8
Cl ⁻	mol ⁽⁺⁾ /L	112.8	---	27
SO ₄ ⁼	mol ⁽⁺⁾ /L	31.2	---	---
CO ₃ ⁼	mol ⁽⁺⁾ /L	---	0.6	0.6
HCO ₃ ⁻	mol ⁽⁺⁾ /L	---	2.5	7.3
Zn	mg/L	60.0	62.4	49.6

Fuente: Bautista Zuñiga F. D., 1998

VC=vinaza cruda; VA=vinaza tratada aerobiamente; VAA= vinaza tratada aerobia-
anaerobiamente

Las vinazas están compuestas por un 93% de agua, 3% de compuestos inorgánicos (Potasio, Calcio, Sulfatos, Cloruros, Nitrógeno, Fósforo, etc.), y un 5% de compuestos orgánicos que se volatilizan al ser calentados a 65°C (Korndorfer, 2004).

La vinaza es rica en materia orgánica, en algunos casos hasta 17 kg/ha, lo que es suficiente para que los microorganismos edáficos se desarrollen y mineralicen dichos compuestos. El contenido nutrimental está en niveles apropiados para estimular la actividad microbiana en el suelo, lo que aunado al contenido de carbono orgánico, permite que este subproducto agroindustrial pueda considerarse como un potencial mejorador de la productividad de suelo (Aguilar Loe, 2001).

Todas las vinazas contienen restos de azúcar y alcohol de los procesos de fermentación alcohólica y destilación. Con excepción de algunos compuestos minoritarios de las vinazas de melaza, la mayor parte de los compuestos orgánicos presentes son biodegradables en condiciones anaerobias. En el cuadro 7 se describe la composición orgánica de la vinaza.

Cuadro 7: Compuestos orgánicos de Vinaza.

Compuestos	Concentración
2, 3 butanodiol	0.01
2-metil-1,3 butanodiol	0.20
Glicerol	2.70
Sorbitol	1.40
Ácido láctico	1.30
Ácido málico	0.23
Acido aspártico	0.05
Ácido cítrico	0.80
Sacarosa	0.20
Fructofuranosa	0.50

Fuente: Aguilar Loe, 2001

2.2.2.4 Tipos de vinaza

El tipo de vinaza depende directamente del proceso de obtención de alcohol y tratamiento que se realice para separar el alcohol de la melaza ya fermentada y para disponer la misma vinaza (García, 2005). En el cuadro 6 se caracterizan tres tipos de vinazas de acuerdo a su tipo de tratamiento, en las cuales se puede observar que su pH como su contenido de nutrientes son diferentes debido al tipo de tratamiento realizado.

La composición de la vinaza varía de acuerdo con el material usado para la elaboración del alcohol, cuando éste se elabora a partir de la melaza se genera vinaza de mayores contenidos de materia orgánica y de elementos mayores y menores que cuando procede de jugo o de la mezcla de jugo y melaza (García, 2005).

A. Tratamientos de vinazas

a. Tratamiento anaerobio

El objetivo de este proceso es la separación de la M.O del agua por la vía anaerobia, con microorganismos que pueden crecer y desarrollarse en un medio carente de oxígeno molecular libre en solución y que en su lugar las reacciones bioquímicas empleen compuestos inorgánicos como aceptores de electrones.

Los organismos convierten la materia orgánica soluble genéricamente en tres etapas: 1) hidrólisis y fermentación de polímeros a CO_2 y H_2 ; 2) transformación de los ácidos grasos a ácido acético y 3) producción de CH_4 . La producción de metano bajo estas condiciones llega a ser importante y puede considerarse a este gas como un producto con valor intrínseco.

Los microorganismos que intervienen en la degradación de la MO son: bacterias metanogénicas, bacterias sulfatorreductoras, bacterias fermentativas y bacterias propiónicas y butíricas.

Recientemente, el uso de los procesos de depuración de aguas residuales industriales bajo condiciones anaerobiosis se ha incrementado, debido a su bajo costo en comparación con los procesos aerobios y que se puede trabajar con altas cargas orgánicas. En el cuadro 8 se detallan las ventajas y desventajas del tratamiento aerobio:

Cuadro 8: Principales ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio.

Ventajas	Desventajas
Baja producción de sólidos	Las bacterias son muy sensibles
Funciona para altas cargas	El arranque del proceso sin inóculo es extremadamente lento
El lodo puede reutilizarse	
Producción de metano	El lodo y el efluente requieren pos-tratamiento.
Bajo requerimiento de nutrientes	
Bajo costo energético	

Fuente: Bautista Zuñiga F. D., 1998

b. Tratamiento aerobio

En estos procesos se incorpora oxígeno al agua residual, con el fin de favorecer el crecimiento de organismos aerobios y la degradación (oxidación) de la materia orgánica, pasando de la fase soluble a la fase sólida (biomasa) y a la gaseosa (CO₂).

La incorporación de oxígeno al medio debe ser superior a dos miligramos por litro, para que este elemento no se convierta en un factor limitante del crecimiento de los microorganismos aerobios. La biodegradación aerobia de la MO consiste en la formación de compuestos minerales como: CO₂, SO₄⁻², NO₃⁻¹, principalmente.

Los microorganismos que intervienen en este proceso son las bacterias y hongos. Cabe destacar que conforme la estructura comunitaria es más compleja, el nivel depurativo logrado por los tratamientos biológicos es mayor.

En el cuadro 9 se detallan las ventajas y desventajas del tratamiento aerobio:

Cuadro 9: Principales ventajas y desventajas del tratamiento aerobio.

Ventajas	Desventajas
La velocidad del proceso	Requiere aeración (energía)
Se puede tratar grandes volúmenes	Alta producción de sólidos biológicos que deben
No requiere pos-tratamiento	Funciona para bajas cargas orgánicas (ya que la

Fuente: Bautista Zuñiga F. D., 1998

2.2.2.5 Usos de la vinaza

Se utiliza en la alimentación animal, en la producción de gas metano y como enmienda en la fertilización de suelos. En algunos ingenios las vinazas son vertidas a la red de drenaje para su posterior utilización como agua de riego o fertirriego en el cultivo de caña de azúcar (Quiroz Guerrero, 2013).

Su uso directo como alimento en cerdos en crecimiento y engorde, mediante su concentración hasta 600 brix. Se sustituyó hasta 15% el grano de sorgo por vinaza concentrada sin afectar ningún indicador del comportamiento con respecto al tratamiento control (García, 2005).

La vinaza suele ser considerada como un valioso mejorador /fertilizante orgánico natural del suelo. En general, la adición de materia orgánica a los suelos tiene efectos positivos en su estructura; en suelos de textura fina incrementa la cantidad del espacio poroso disponible para el crecimiento radicular, y la entrada de agua y aire al interior del suelo. En los suelos de textura gruesa, los residuos orgánicos tal como el que contiene la vinaza, pueden contribuir a incrementar la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Además, en algunas ocasiones y circunstancias, el agua contenida en la vinaza puede constituir un recurso valioso para la actividad biológica del suelo (Aguilar Loe, 2001).

La vinaza contiene varios nutrimentos esenciales para el desarrollo de las plantas, principalmente potasio, en niveles variables. La proporción entre estos nutrimentos no se asemeja a la de un fertilizante formulado, pero la densidad de la vinaza (1050 Kg/m³) y el nivel de nutrimentos, posibilitan la combinación o adición de otros materiales fertilizantes para proveer los nutrimentos requeridos por las plantas cultivadas. Es importante destacar que la composición y proporción nutrimental de la vinaza, aunado a su contenido de materia orgánica, prácticamente permite considerarla como una solución nutrimental rica para estimular la actividad de los microorganismos del suelo (Aguilar Loe, 2001).

La importancia del uso de este subproducto en la recuperación de suelos afectados por una alta saturación de sodio, con destacada rapidez y eficiencia en el proceso (Camargo, 1893).

Si el suelo es sódico estas sales de calcio solubles pueden desplazar el sodio del complejo intercambio iónico, y si tienen buen drenaje el sodio se puede lixiviar. En suelos ácidos-alumínicos puede desplazar el aluminio del complejo iónico. Los ácidos orgánicos que contienen las vinazas y sus aminoácidos al reaccionar con el calcio producen sales que son solubles en agua; estos ácidos, además, son de carácter quelatante y el producto, en total, contiene polímeros floculantes de la vinaza, que lo hacen muy apto para la enmienda de suelos ácidos y básicos (Camargo, 1893).

Debido a su riqueza en minerales se han realizado diferentes ensayos en el cultivo de la caña de azúcar en diferentes países como Cuba, Colombia y Brasil; pero a pesar de obtenerse mejoras en el rendimiento su uso ha estado limitado al tipo de suelo y lo relacionado con el bajo pH limita su empleo y no guarda relación con los grandes volúmenes que se producen diariamente (Camargo, 1893).

El bajo contenido de sólidos totales que fluctúa entre 8 y 10 % también ha reducido su empleo cuando se trata de transportarlo (Montenegro Gómez, 2008).



Fuente: García, 2005

Figura 13: Aplicación de vinaza en pantes del cultivo de Caña de Azúcar.

También ha sido objeto de ensayos con resultados promisorios en la digestión anaerobia en plantas para producir biogás y que puede utilizarse como fuente de energía en la caldera de la propia destilería, con un ahorro significativo del combustible convencional; el lodo residual puede emplearse como alimento animal o como bio-fertilizante. Esta tecnología tiene el inconveniente que la inversión inicial es costosa, aunque se recupera en el tiempo si se emplea eficientemente el biogás y el lodo producido (Montenegro Gómez, 2008).

2.2.2.5 Antecedentes del uso de vinazas

En estudios con vinaza cruda y fertilizante mineral en el rendimiento de maíz; la vinaza mejoro algunas propiedades químicas del suelo, como pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de K, Ca y Mg; modifico la relación Ca/Mg, $(Ca+Mg)/K$, y el porcentaje de bases y en menor proporción: el N, P, materia orgánica, Fe, % de saturación de Mg y K. A la vez, disminuyo el contenido Al, Zn y Mn; mientras que en el análisis de suelo con aplicación de fertilizante mineral no se obtuvo el mismo efecto (García, 2005).

El aumento de los cationes intercambiables ocurre en diferentes tipos de suelos. En consecuencia se provoca una alteración en el porcentaje de saturación de bases. El K, Ca y Mg, sufren aumento en la lixiviación debido al aumento de las dosis de vinaza y que el Mg fue proporcionalmente más lixiviado que el Ca (Nunes, 1982).

La aplicación de vinaza cruda causó la elevación del pH, de 4.4 a 6.0, efecto observado después de los primeros días de incubación, durando los 66 días en que fue realizado el experimento. Tal aumento ha sido atribuido a las condiciones anaeróbicas locales y temporales (disminución del potencial redox) y el aumento de la saturación de bases y de la actividad microbiológica (Korndorfer, 2004).

En un suelo tratado con vinaza, el potencial redox y el pH varían: aumenta el pH y disminuye el potencial redox (reacciones de reducción). En condiciones de anaerobiosis los compuestos orgánicos liberan electrones (Korndorfer, 2004). El proceso de reducción inducido por la vinaza consume protones (iones H^+), principal responsable del aumento en el pH del suelo.

Con relación a la salinidad, se han observado que la distribución en dosis bajas de vinazas ($100 \text{ m}^3/\text{ha}$) por aplicación, en suelo Oxisol arcilloso, no alcanzó valores peligrosos de C.E (índice pluviométrico de $1,400 \text{ mm}$ al año). La inadecuada aplicación de vinaza puede contribuir al aumento de los elementos químicos en la solución del suelo, especialmente el potasio y sodio que contribuyen al aumento de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (Camargo, 1893).

La mayoría de las investigaciones sobre las vinazas se han realizado en suelos agrícolas de buena calidad como los Vertisoles, los cuales tienen una gran capacidad amortiguadora. Por ello se piensa que los suelos degradados son los más adecuados para la aplicación de vinaza (Bautista Zuñiga F. D., 1998). En algunos estudios en los que la vinaza se aplica al suelo no se han encontrado resultados que demuestren las bondades esperadas, probablemente por el empleo de aplicaciones aisladas que no alcanzan a ejercer efectos favorables (Subiros, 1992).

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

- A. Generar información sobre el efecto químico que produce la aplicación de diez diferentes dosis de vinaza tratada a un Entisol y a un Vertisol, procedentes de la Costa Sur de Guatemala y cultivados con caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

2.3.2 Objetivos específicos

- A. Caracterizar las propiedades químicas (pH, conductividad eléctrica, contenido de nutrientes y nitrógeno total) de la vinaza tratada producida por las plantas destiladoras del Ingenio Magdalena.
- B. Determinar el efecto de la aplicación de diez diferentes dosis de vinaza tratada sobre el pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, porcentaje de saturación de bases y contenido de micronutrientes en un Entisol y en un Vertisol.
- C. Evaluar la respuesta en el desarrollo (peso de materia seca y contenido de nutrientes) de plantas de sorgo forrajero (*Sorghum halepense*) debido a la aplicación de diez diferentes niveles de vinaza tratada.

2.4 HIPOTESIS

1. Al aplicar dosis crecientes de vinaza tratada al Entisol y al Vertisol se producen incrementos proporcionales en el pH, la conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables y contenido de micronutrientes”
2. A medida que se incrementan los niveles aplicados de vinaza tratada al Entisol y al Vertisol se provoca mayor producción de materia seca en plantas de sorgo.

2.5 METODOLOGIA

El presente estudio se realizó en dos fases, de acuerdo a los objetivos propuestos. Cada una de las fases se describe a continuación:

2.5.1 Metodología realizada en el ensayo

2.5.1.1 Selección de los suelos utilizados

Se determinó por parte del Ingenio Magdalena realizar este estudio para los órdenes de suelo Entisol y Vertisol. El Entisol fue recolectado de la Fca. Malta, La Gomera, Escuintla, mientras que, el Vertisol se obtuvo de la Fca. Esperancita, La Máquina, Retalhuleu.

2.5.1.2 Muestreo de suelos

El muestreo de suelos para las dos fincas fue realizado por el departamento de investigación del Ingenio Magdalena; los cuales se realizaron con fines de fertilidad a una profundidad de la capa arable comprendida entre 0 a 0.2 m. La cantidad de suelo asignada para la investigación fue de 300 kg.

2.5.1.3 Preparación de las muestras de suelo

Los suelos se secaron al aire durante 15 días; seguidamente se homogenizaron y tamizaron, con un tamiz de 2 mm. Luego se analizaron las propiedades físicas y químicas con las metodologías propuestas en el laboratorio "Salvador Castillo" de la Facultad de Agronomía.

2.5.2 Fase de laboratorio (I)

Esta fase se realizó a nivel de laboratorio; la cual consistió primero en caracterizar la composición química de la vinaza tratada producida por las plantas destiladoras del Ingenio Magdalena.

Posteriormente, se determinó el efecto químico que se produce al aplicar diez dosis diferentes de vinaza tratada aun Entisol y a un Vertisol. Esta actividad se llevó acabo en recipientes plásticos con un contenido de 0.1 kg de suelo a los que se les aplico el nivel de vinaza tratada calculado para cada tratamiento (cuadro 6). Después de realizar las aplicaciones, se dejó un periodo de incubación de 15 días (tiempo para que la vinaza reaccionara en los suelos). Transcurrido el tiempo, se cuantificaron las propiedades químicas de cada tratamiento (pH, C.E, M.O, CIC, Bases intercambiables y contenido de micronutrientes).

2.5.2.1 Metodología utilizada en los análisis de suelos y vinaza

Para la caracterización de la vinaza tratada, determinación de las propiedades químicas de los suelos se emplearon las diferentes metodologías utilizadas en el laboratorio “Salvador Castillo” de la Facultad de Agronomía. En los cuadros 10 y 11, se detallan las metodologías empleadas:

Cuadro 10: Metodologías utilizadas para la determinación de las propiedades químicas de la vinaza tratada utilizada en la presente investigación.

Variables	Métodos	Referencia
pH	Potenciómetro	M. L. Jackson
Conductividad Eléctrica	Conductímetro	M. L. Jackson
Nitrógeno Total	Micro-Kjeldahl	M. L. Jackson
Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro, Cobre y Zinc.	Absorción atómica	M. L. Jackson
Fósforo	Colorimetría	M. L. Jackson

Cuadro 11: Metodologías utilizadas para la determinación de las propiedades químicas de suelos.

Variables	Método	Lectura
Densidad aparente	Cilindro de volumen conocido	M. L. Jackson
Textura	Hidrómetro de Boyoucoucous	M. L. Jackson
pH	Suspensión de suelo y agua (1:2.5); potenciómetro.	M. L. Jackson
M.O	Walkley y Black modificado	M. L. Jackson
CIC	Peech (acetato de amonio y cloruro de sodio).	M. L. Jackson
C.E	Suspensión de suelo y agua (1:5); conductivímetro.	M. L. Jackson
Bases intercambiables (Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ y K ⁺)	Lavados con Acetato de amonio y cuantificación por absorción atómica	M. L. Jackson
Elementos menores (Mn, Fe, Zn y Cu)	Mehlich I (absorción atómica).	M. L. Jackson

2.5.2.2 Descripción de tratamientos

Los niveles de vinaza tratada utilizados se definieron con el objetivo de realizar un análisis exploratorio de los posibles cambios químicos que se produjeran en niveles bajos y altos en ambos suelos. Los volúmenes que se aplicaron de vinaza tratada para el Entisol fueron calculados con una densidad de 1080 kg/m³, mientras que para el Vertisol se utilizó una densidad de 1290 kg/m³; en ambos casos se utilizó una profundidad de 0 a 0.2m. En el cuadro 12 se detallan los tratamientos, niveles y volúmenes aplicados de vinaza tratada para cada suelo.

Cuadro 12: Tratamientos y niveles de vinaza tratada (m³/ha) utilizados en la fase de laboratorio para el Entisol y el Vertisol.

Tratamiento	Nivel vinaza (m³/ha)	Volumen aplicado Entisol (cm³)	Volumen aplicado Vertisol (cm³)
1	0	0	0
2	50	2.31	1.94
3	100	4.62	3.88
4	150	6.92	5.82
5	200	9.24	7.76
6	300	13.86	11.64
7	400	18.48	15.52
8	500	23.1	19.4
9	700	32.34	27.16
10	900	41.5	34.92

2.5.2.3 Descripción de la unidad experimental

La unidad experimental que se utilizó en la fase de laboratorio fueron 0.1 kg de suelo contenidos en recipientes de 150 cm³ de capacidad. En la figura 14 se detalla la unidad experimental que se utilizó en la fase de laboratorio.



Figura 14: Unidad experimental de la fase de laboratorio.

2.5.2.4 Variables respuesta

A. Caracterización de la vinaza tratada

Las propiedades químicas que se determinaron fueron pH (Escala 0-14), conductividad eléctrica (dS/m), contenido de P (mg/L), K (%), Ca (%), Mg (%), Cu (mg/L), Zn (mg/L), Fe (mg/L), Mn (mg/L), Na (mg/L), S (mg/L), B (mg/L) y Nitrógeno total (%).

B. Propiedades químicas de los suelos

Para las variables pH y conductividad eléctrica se realizaron tres lecturas a los 21, 42 y 106 días después de realizar la aplicación de vinaza tratada, mientras que para el caso de las bases intercambiables (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+), capacidad de intercambio catiónico, % de materia orgánica y contenido de micronutrientes solo se realizó una lectura a los 106 días después de la aplicación.

2.5.2.5 Análisis de información

Los datos de pH, C.E, M.O, CIC, bases intercambiables y contenido de micronutrientes se analizaron por regresión lineal y correlación debido a que en esta fase no se realizaron repeticiones y solo se analizó el comportamiento generado de las variables por la aplicación de vinaza tratada.

A continuación se detalla el modelo estadístico que se utilizó:

$$\hat{y}_i = \alpha \pm \beta x_i$$

Donde Y_i : Variable dependiente (pH, C.E, M.O, Bases intercambiables, CIC).

α : Coeficiente de posición o intercepto, indica la posición en la cual la recta corta el eje Y.

β : Coeficiente de regresión lineal o coeficiente angular de la regresión.

X: variable independiente (Nivel de vinaza tratada en m³/ha).

2.5.3 Fase de invernadero (II)

La segunda fase se realizó a nivel de Invernadero bajo la modalidad de una prueba biológica. En esta fase se evaluó el efecto que produce la aplicación de diez diferentes dosis de vinaza tratada sobre el desarrollo de sorgo forrajero en un Entisol y en un Vertisol; esta fase se desarrolló en macetas con un contenido de suelo de 2.5 kg.

2.5.3.1 Descripción de tratamientos

En el cuadro 13 se describen los tratamientos, niveles y volúmenes de vinaza tratada que se aplicaron por maceta para cada orden de suelo. El cálculo del volumen que se aplicó de vinaza tratada para cada maceta fue determinado de la misma forma que en la fase de laboratorio.

Cuadro 13: Tratamientos, niveles de vinaza tratada (m³/ha) y volúmenes (cm³) utilizados en la fase de invernadero para el Entisol y el Vertisol.

Tratamiento	Nivel de vinaza (m³ /ha)	Volumen aplicado Entisol (cc)	Volumen aplicado Vertisol (cc)
1	0	0	0
2	50	57.7	48.5
3	100	115.5	97.0
4	150	173.0	145.5
5	200	231.0	194.0
6	300	346.5	291.0
7	400	462.0	388.0
8	500	577.5	485.0
9	700	808.5	679.0
10	900	1037.5	873.0

2.5.3.2 Establecimiento y manejo del cultivo

Previo a sembrar las semillas de sorgo en las macetas, se realizaron las aplicaciones de los volúmenes de vinaza tratada según los tratamientos propuestos para cada orden (cuadro 10); se realizó una aplicación en la que se adicionó el volumen total de vinaza. Se dejó un periodo de incubación de 15 días.

En cada maceta se sembraron 20 semillas de sorgo y posteriormente se dejaron 10 plantas por maceta para tener homogeneidad en el ensayo.

El control de la humedad en las macetas se llevó a cabo por diferencia de peso, manteniendo las mismas a capacidad de campo.

2.5.3.3 Descripción de unidad experimental

La unidad experimental que se utilizó fue una maceta con 10 plantas de sorgo. En la figura 15 se esquematiza la unidad experimental de la fase de invernadero.

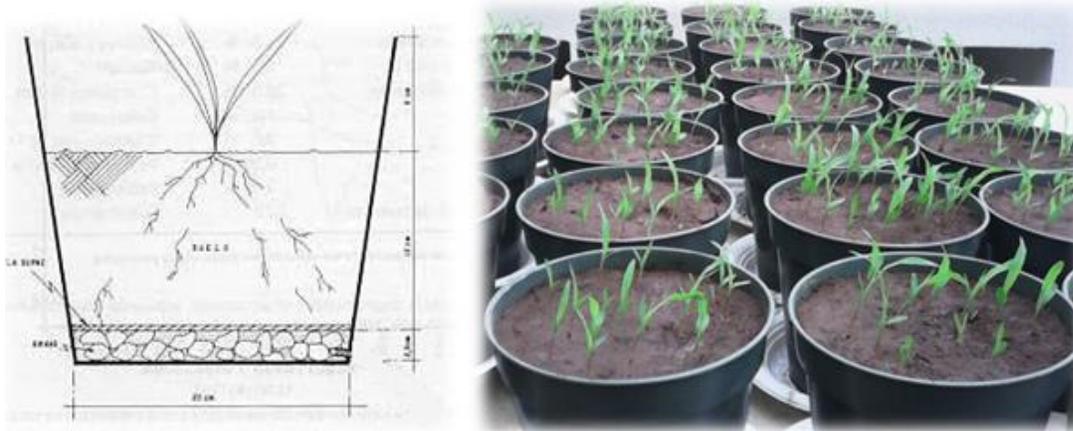


Figura 15: Unidad Experimental de la fase de invernadero.

2.5.3.4 Variables respuesta

A. Materia seca (g) por planta de sorgo

Para la medición de esta variable se cortaron las 10 plantas de cada unidad experimental, desde la inserción del cuello. Posteriormente, las plantas se colocaron en bolsas de papel manila con su respectiva identificación y se dejaron en el horno durante 2 días a 60 °C, posteriormente se pesó en una balanza analítica la materia seca de cada unidad experimental.

B. Concentración de nutrientes en materia seca de sorgo

Las variables que se midieron fue N, P, K, Ca y Mg expresados en porcentaje en base seca y para el caso del Na, Cu, Zn y Mn se expresaron en mg Kg. La metodología utilizada fue de la de combustión seca; la cual consistió en someter la muestra a un horno de alta temperatura (450°C durante 5 horas), las cenizas se recuperaron con HCl 1N.

La cuantificación de K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Fe y Mn se realizaron por medio de espectrofotometría de absorción atómica, para el N se usó la metodología de semi-micro Kjendahl y el P por colorimetría.

2.5.3.5 Análisis de información

La interpretación de la variable materia seca se realizó por regresión y correlación lineal debido a que solo se analizó el comportamiento generado en la materia seca (g/planta) y el contenido de micronutrientes a nivel de planta (mm/kg de materia seca) ocasionado por la aplicación de diferentes niveles de vinaza tratada en un Entisol y en un Vertisol.

2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información se organizó por orden de suelo; para cada uno de éstos, se elaboró un cuadro con la información correspondiente a cada una de las propiedades químicas que se les determinaron, también se realizaron cuadros adicionales y graficas que apoyan los resultados referentes a los análisis estadísticos y a las interpretaciones realizadas.

2.6.1 Fase de laboratorio

2.6.1.1 Caracterización de vinaza tratada

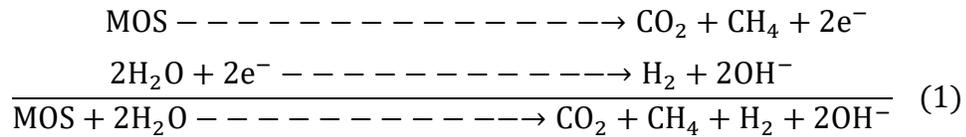
En el cuadro 14 se presenta la composición química de la vinaza tratada; utilizada como objeto de estudio en la presente investigación:

Cuadro 14: Resultados del análisis químico de la vinaza tratada procedente del Ingenio Magdalena.

pH	C.E	P	%			mg/L						%
	dS/m	mg/L	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	S	N.T
8.2	5.09	33.30	0.87	0.03	0.03	0.2	0.2	3.90	0.0	800.0	73.0	0.12

Según el valor del pH (8.2), la enmienda utilizada es de reacción medianamente alcalina, lo cual indica la posibilidad que su aplicación al suelo provoque incrementos en los valores del pH.

El valor de su pH se debe posiblemente a las siguientes razones: 1) el tratamiento anaeróbico eleva el pH de las vinazas crudas, debido a la actividad microbiana que al descomponer la materia orgánica disuelta forma dióxido de carbono con lo que presenta un aumento de iones OH^- . Otra fuente de iones OH^- es la reacción de óxido-reducción que se presenta cuando el agua es aceptor de electrones:



Donde: MOS = materia orgánica soluble

Fuente: Bautista Zuñiga F. D., 1998

2) La adición de NaOH para neutralizar el ácido sulfúrico y poder realizar una recirculación de las vinazas crudas con la finalidad de extraer más alcohol y aumentar el rendimiento del mismo y bajar la carga orgánica presente.

De acuerdo al valor de su conductividad eléctrica (5.09 dS/m) su aplicación al suelo provocaría altos riesgos de salinización (Richards, 1990). El alto valor de su C.E se debe a la participación de todos los iones presentes en la vinaza tratada; se sabe que los iones H^+ y OH^- son los que presentan mayor conductividad eléctrica y movilidad iónica; es decir, que el valor de la C.E no se debe solamente a los iones y cationes, sino que también influye el contenido de materia orgánica disuelta (Bautista Zuñiga F. D., 2000).

El aporte de N, P y K por cada litro de vinaza tratada aplicada al suelo es de 1,200 mg de Nitrógeno, 33.3 mg de Fósforo y 8,700 mg de Potasio. En el cuadro 15 se describen los aportes de NPK por cada nivel utilizado en la investigación:

Cuadro 15: Aportes de NPK de acuerdo a los niveles evaluados de vinaza tratada.

Nutriente (kg/ha)	Nivel aplicado de vinaza (m ³ /ha)								
	50	100	150	200	300	400	500	700	900
N	60	120	180	240	360	480	600	840	1080
P	1.66	3.33	4.99	6.66	9.99	13.32	16.65	23.31	29.97
K	435	870	1305	1740	2610	3480	4350	6090	7830

Se puede observar que el K^+ es el macronutriente aportado en mayor cantidad por la vinaza tratada. Los requerimientos nutricionales para el cultivo de caña es de 2.2 kg de K por cada tonelada de caña para la variedad CP72-2086 (Pérez O. , 2000). Si se aportara todo el K por medio de la vinaza para producir 100 T/ha de caña, se tendrían que utilizar volúmenes comprendidos entre 25 m³/ha a 29 m³/ha.

El Nitrógeno representa el 0.12 % de la composición de la vinaza tratada; si se suplieran las necesidades nutricionales de N para el cultivo de caña se tendría que utilizar un volumen aproximado de 900 m³/ha para la variedad CP72-2086 para poder producir 100 toneladas de azúcar comercial (Pérez O. , 2000).

El contenido de Fósforo en la vinaza tratada representa el 0.003 % de su composición; si se utilizara para suplir las demandas del cultivo de caña, ningún nivel estaría en la capacidad de llenar los requerimientos de fósforo (40 kg/100 T, de azúcar comercial).

El contenido de Na^+ presente en la vinaza tratada no constituye un riesgo de sodicidad para el suelo, debido a que su concentración (0.034 meq/L) es menor que la concentración de calcio y magnesio (0.396 meq/L).

No se encontraron cantidades importantes de Cu^{++} , Zn^{++} y Mn^{++} en el análisis químico de la vinaza tratada y su aplicación al suelo no provocaría contaminación por metales pesados debido que los límites máximos permisibles para el cobre es de 4 mg/L y para el zinc es de 10 mg/L (NOM-001-SEMARNAT-1996, 1996).

2.6.1.2 Propiedades químicas de los suelos

A. Potencial de Hidrogeno (pH)

En el cuadro No. 16 se detallan los resultados de pH para el Entisol y el Vertisol; provocados por la adición de diferentes niveles de vinaza tratada.

Cuadro 16: Valores de pH medidos a los 21, 42 y 106 días después de la aplicación de diferentes niveles de vinaza tratada en el Entisol y en el Vertisol.

		Nivel de vinaza tratada aplicado en m ³ /ha									
Orden	Días	0	50	100	150	200	300	400	500	700	900
Entisol	21	6.33	6.40	6.50	6.60	6.67	6.97	7.33	7.53	8.03	8.27
	42	6.37	6.40	6.53	6.60	6.70	6.93	7.27	7.43	7.93	8.13
	106	6.30	6.40	6.50	6.50	6.60	6.80	7.10	7.30	7.80	8.00
Vertisol	21	6.83	6.93	6.97	7.10	7.17	7.33	7.50	7.70	7.77	8.13
	42	6.93	6.93	7.00	7.07	7.17	7.30	7.47	7.60	7.93	8.10
	106	6.70	6.70	6.90	6.90	7.00	7.20	7.30	7.50	7.80	8.00

Se puede observar que todos los niveles de vinaza tratada aplicados provocaron incrementos en el pH de ambos suelos. Para el Entisol, el valor del pH vario de 6.33 a 8.27 unidades entre el tratamiento testigo y el tratamiento 10 (900 m³/ha), a los 21 días después de la aplicación de la vinaza tratada y para el Vertisol, el valor vario de 6.83 a 8.13 unidades entre los tratamientos antes mencionados. El incremento del valor del pH en ambos suelos se pudo deber a las siguientes razones:

- La oxidación de la materia orgánica en condiciones reductoras y a la actividad microbiana, se forma dióxido de carbono, metano y se aumenta los iones OH⁻. Por ello, es posible que la reacción oxido-reducción que se presenta cuando el agua es el aceptor de electrones (ecuación 1). En campo pueden presentarse condiciones reductoras por el uso de la vinaza, por la compactación y saturación de los suelos.

- Otra posible causa es la precipitación de los óxidos de Fe y Al “activos” ya que sus especies químicas son dependientes del pH (Bautista Zuñiga F. D., 1998).
- El potencial redox y pH que varían de acuerdo a lo siguiente: aumenta el pH y disminuye el potencial redox (reacciones de reducción). En condiciones de anaerobiosis los compuestos orgánicos liberan electrones (Korndorfer, 2004).

La dinámica del pH como resultado de la adición de vinaza tratada al Entisol y al Vertisol se ajusta a un modelo lineal. A continuación se detallan las ecuaciones que describen el comportamiento del pH a los 21, 42 y 106 días después de la aplicación en ambos suelos:

Suelo Entisol

$$pH_{21 \text{ días}} = 0.0023X + 6.291 \quad (2) \quad R^2 = 0,98$$

$$pH_{42 \text{ días}} = 0.0020x + 6.264 \quad (3) \quad R^2 = 0,98$$

$$pH_{106 \text{ días}} = 0.0021x + 6.325 \quad (4) \quad R^2 = 0,98$$

Suelo Vertisol

$$pH_{21 \text{ días}} = 0.0014x + 6.875 \quad (5) \quad R^2 = 0,98$$

$$pH_{42 \text{ días}} = 0.0014x + 6.886 \quad (6) \quad R^2 = 0,99$$

$$pH_{106 \text{ días}} = 0.0015x + 6.700 \quad (7) \quad R^2 = 0,98$$

Donde X es el nivel de vinaza tratada aplicado en m^3/ha .

En el Entisol la aplicación de vinaza aumento en 0.0021 unidades por cada m^3 que se le adicione, mientras que, en el Vertisol el incremento fue de 0.0015 unidades.

Respecto a la resistencia al cambio de pH (capacidad buffer); el Entisol tuvo menos resistencia al cambio de pH que el Vertisol. Se menciona que los suelos con valores mayores de CIC tienen mayores contenidos de H^+ intercambiable que son los responsables de restablecer los equilibrios en los cambios de pH (Foth, 1997).

La figura 16 esquematiza el comportamiento del pH que se produjo por la aplicación de vinaza tratada en los dos suelos evaluados.

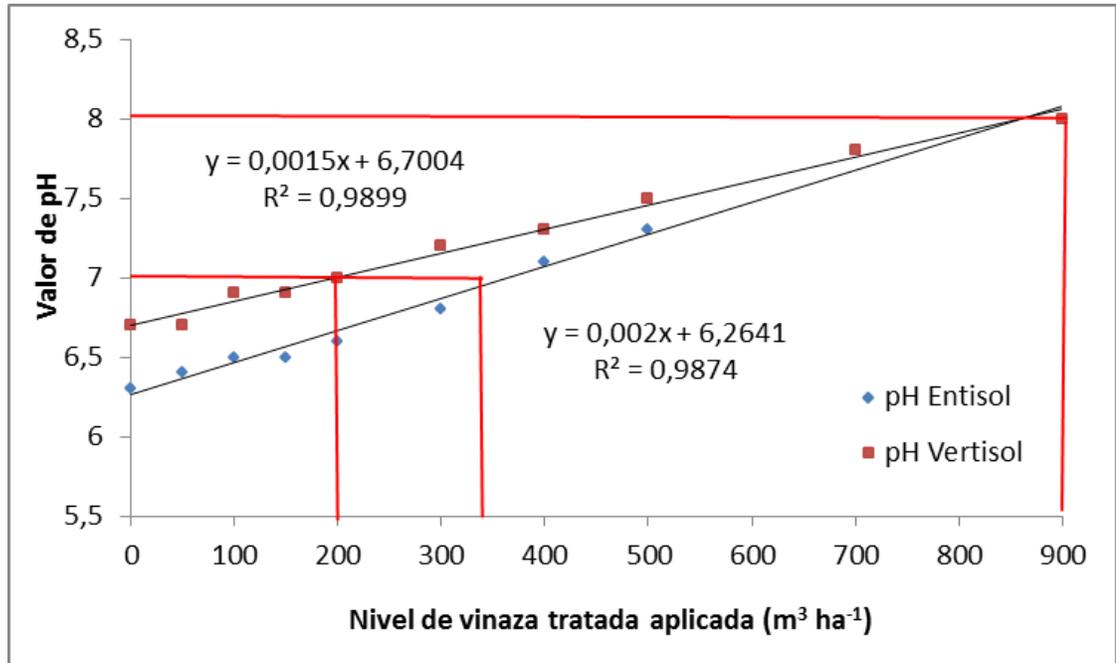


Figura 16: Comportamiento del pH a los 106 días después de la aplicación de vinaza tratada en un Entisol y en un Vertisol

Si se quisiera tomar el valor de pH 7 como un indicador de las cantidades de vinaza a aplicar para cada suelo, para el Entisol se necesitaría aplicar un nivel de 322 m³/ha y para el Vertisol un nivel de 200 m³/ha.

Se han encontrado resultados similares en cuanto a un incremento del pH en el tiempo (4 semanas) en suelos del orden Acrisol en donde se aplicó vinaza tratada de condiciones anaerobias y de condiciones aerobias-anaerobias (Bautista Zuñiga F. D., 2000).

B. Conductividad Eléctrica (C.E)

Los cambios generados en la C.E debido a las aplicaciones de vinaza tratada se detallan en el cuadro 17.

Cuadro 17: Valores de C.E (dS/m) medidos a los 21, 42 y 106 días después de la aplicación de diferentes niveles de vinaza tratada al Entisol y al Vertisol.

		Nivel de vinaza tratada aplicado (m ³ /ha)									
Orden	Días	0	50	100	150	200	300	400	500	700	900
Entisol	21	0.62	0.83	1.02	1.26	1.47	1.91	2.18	2.71	3.28	4.42
	42	0.57	0.77	0.94	1.21	1.39	2.04	2.24	2.72	3.23	4.48
	106	0.66	0.82	1.11	1.31	1.28	1.76	2.4	2.83	3.49	4.48
Vertisol	21	0.4	0.53	0.67	0.77	0.97	1.36	1.61	2.17	2.56	3.81
	42	0.34	0.43	0.67	0.72	0.90	1.15	1.53	2.11	2.69	3.46
	106	0.37	0.52	0.66	0.85	0.99	1.3	1.7	2.2	2.63	3.75

Todos los niveles aplicados de vinaza tratada al Entisol y al Vertisol provocaron que el valor inicial de la C.E incrementara; los incrementos fueron mayores en el Entisol que en el Vertisol independiente del nivel y del tiempo de lectura.

A los 21 días después de la aplicación de la vinaza tratada al Entisol, la C.E aumento de 0.62 dS/m cuando no se adiciono vinaza a 4.42 dS/m cuando se adicionaron 900 m³/ha; provocando un incremento de 6.1 veces el valor inicial de la C.E. Para el Vertisol, la C.E vario de 0.4 dS/m a 3.81 dS/m; el incremento para este suelo fue de 8.5 veces el valor inicial de la C.E.

En ambos suelos, la C.E aumentó significativamente con una tendencia lineal. Este comportamiento se puede deber a los niveles aplicados, así como a la composición de la vinaza y a que no hubieron lixiviados de sales; las cuales permanecieron en la fase acuosa como lo indica Bautista Zuñiga F. D., 2000.

En la Figura 17 se detalla el comportamiento lineal generado en el Entisol debido a las aplicaciones de vinaza tratada. Para el Entisol a continuación se detallan las ecuaciones que describen el comportamiento a los 21, 42 y 106 días después de realizar las aplicaciones:

$$C.E_{21 \text{ dias}} = 0,0041x + 0,627 \quad (8) \quad R^2 = 0,99$$

$$C.E_{42 \text{ dias}} = 0,0042x + 0,578 \quad (9) \quad R^2 = 0,98$$

$$C.E_{106 \text{ dias}} = 0,0042x + 0,613 \quad (10) \quad R^2 = 0,99$$

A continuación se detallan las ecuaciones que describen el comportamiento de la C. E para el Vertisol para los diferentes tiempos de lectura:

$$C.E_{21 \text{ dias}} = 0,0036x + 0,2948 \quad (11) \quad R^2 = 0,99$$

$$C.E_{42 \text{ dias}} = 0,0035x + 0,2389 \quad (12) \quad R^2 = 0,99$$

$$C.E_{106 \text{ dias}} = 0,0036x + 0,2840 \quad (13) \quad R^2 = 0,98$$

Donde X es la cantidad de vinaza aplicada en m³/ha.

De acuerdo a la similitud de las pendientes, se puede mencionar que la C.E cambia muy poco en función del tiempo, lo cual hace suponer que el comportamiento de los iones en la fase líquida y sólida del suelo se mantiene estable.

Se puede observar en la figura 17, que el valor de la C.E para el Entisol sobrepasó los 4 dS/m; límite definido para clasificar a un suelo como salino (Richards L. , Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos., 1990). El nivel de vinaza tratada de 803 m³/ha provocó que la C.E llegara a dicho valor, debido a esto no se recomendaría aplicar niveles iguales o mayores a este.

En el Vertisol, ningún nivel de vinaza provocó que el valor de la C.E llegara a 4 dS/m. Por tal razón, este suelo soporta mayores volúmenes de aplicación sin llegar a salinizarse.

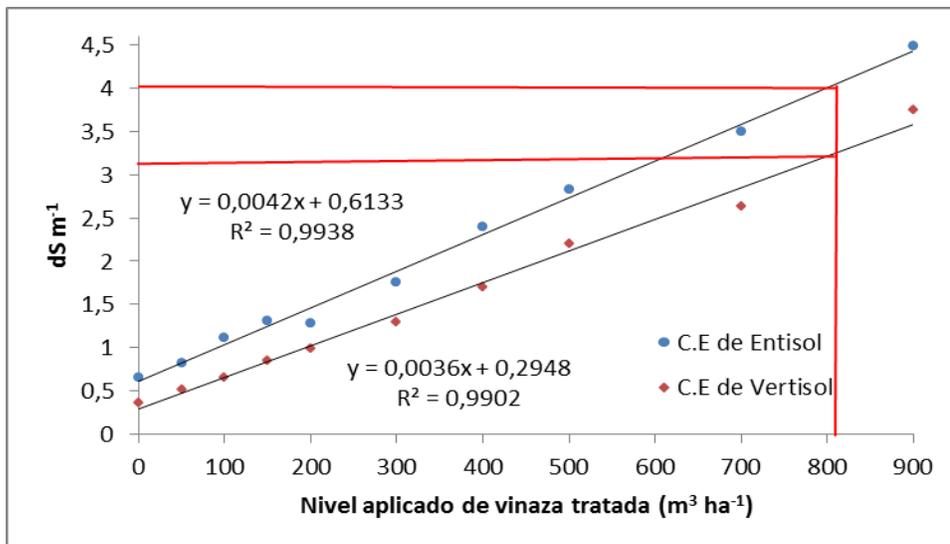


Figura 17: Comportamiento de la C.E a los 106 días después de la aplicación de la vinaza tratada en un Entisol y en un Vertisol.

La diferencia del incremento generado en la C.E entre los órdenes puede ser explicado en parte por la mayor CIC del Vertisol (22.1 Cmol⁺/kg) con respecto al Entisol (20.8 Cmol⁺/kg); lo cual permite una mayor adsorción de los iones en los minerales arcillosos dominantes en el suelo y al material humificado (Fassbender & Bornemisza, 1987).

C. Materia Orgánica (%)

En el cuadro No. 18 se detallan los resultados obtenidos de M.O (%) de los suelos como consecuencia de la adición de vinaza tratada.

Cuadro 18: Valores de materia orgánica (%) como consecuencia de la aplicación de vinaza tratada en un Entisol y en un Vertisol determinados a los 106 días de su aplicación.

		Nivel aplicado de vinaza tratada (m ³ /ha)									
Orden	Materia	0	50	100	150	200	300	400	500	700	900
Entisol	%	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8
Vertisol	%	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2.1	2.2	2.2	2.3

Se puede observar que para los dos órdenes de suelo, en niveles debajo de 200 m³/ha no se lograron percibir cambios en el porcentaje de materia orgánica, mientras que, valores mayores al mencionado si percibieron incrementos. El incremento de materia orgánica se debe al contenido de carbono orgánico presente en la vinaza tratada, el cual es de 28g/L (Bautista Zuñiga F. D., 1998).

El incremento en ambos suelos fue de 0.4 unidades en el porcentaje de materia orgánica con respecto al tratamiento de 900 m³/ha y al testigo (0 m³/ha). Dichos comportamientos se detallan en la figura 9 y a continuación se presentan las ecuaciones generadas:

$$\%M.O_{Entisol} = 0.0005X + 2.363 \quad (14) \quad \%M.O_{Vertisol} = 0.0005x + 1.871 \quad (15)$$

Las ecuaciones (14 y 15) muestran las tasas de incremento de la materia orgánica (0.0005 %) para los dos órdenes de suelos evaluados, destacando que para ambos suelos el incremento de materia orgánica fue el mismo.

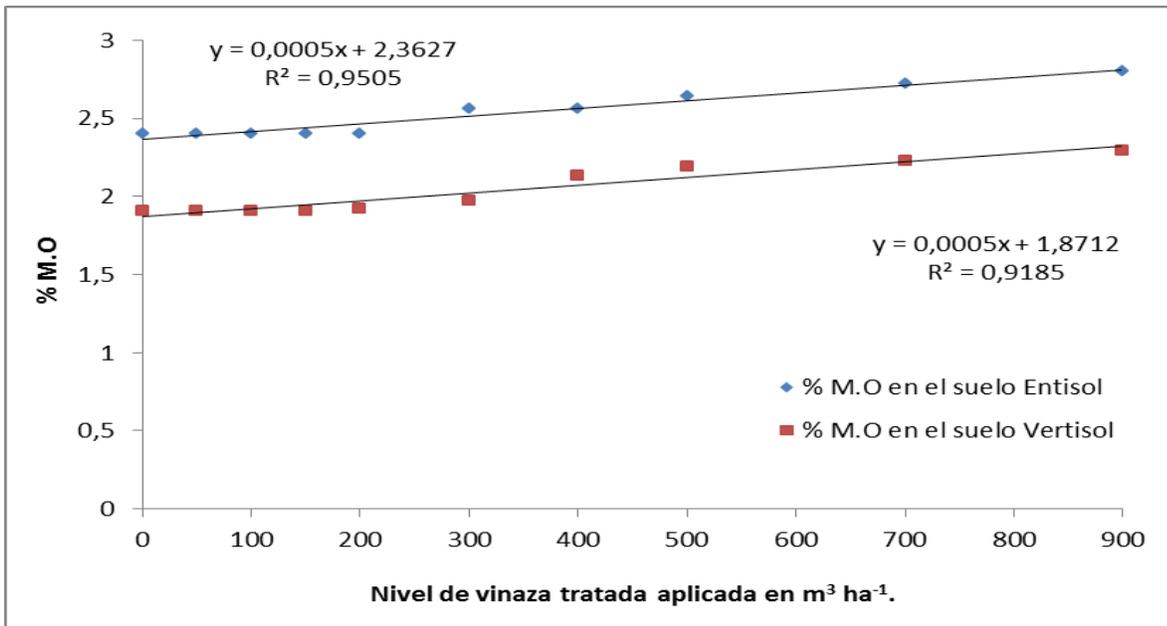


Figura 18: Cambios generados en la materia orgánica (%) por la aplicación de vinaza tratada al Entisol y al Vertisol.

D. Bases intercambiables, porcentaje de saturación de bases y CIC

En el cuadro 19 se presentan los resultados de los cationes intercambiables (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+), el porcentaje de saturación de bases y la capacidad de intercambio catiónico por efecto de la adición de vinaza tratada a un suelo Entisol y a un Vertisol.

Cuadro 19: Resultados de las bases intercambiables (Cmol⁺/Kg), porcentaje de saturación de bases y capacidad de intercambio catiónico obtenidos a los 106 días después de la aplicación de vinaza tratada en los suelos bajo estudio.

		Nivel aplicado de vinaza tratada (m³/ha)									
Orden	Variable química	0	50	100	150	200	300	400	500	700	900
Entisol	Ca⁺⁺	9.48	9.48	9.48	9.48	9.73	9.73	9.73	9.98	9.98	9.98
	Mg⁺⁺	5.14	5.14	5.26	5.3	5.67	5.76	5.8	6.04	6.13	6.18
	Na⁺	0.35	0.39	0.65	0.65	0.65	0.87	1	1.57	1.83	1.87
	K⁺	1.18	1.54	2.1	2.67	3.44	4	4.92	6.56	7.18	9.62
	CIC	20.8	21.2	21.4	21.6	21.6	21.6	21.8	21.8	22.1	22.3
	S.B (%)	77.02	78.07	81.73	83.8	90.23	94.26	98.39	>100	>100	>100
Vertisol	Ca⁺⁺	9.98	9.98	10.23	9.98	9.98	9.98	9.98	10.23	9.98	9.98
	Mg⁺⁺	4.2	4.39	4.44	4.61	4.63	4.69	4.71	4.85	4.89	4.89
	Na⁺	0.57	0.61	0.78	0.74	0.83	0.87	0.96	1.13	1.43	1.7
	K⁺	1.26	1.59	2.23	2.56	3.13	3.85	4.67	5.69	7.69	9.23
	CIC	22.1	22.2	22.2	22.4	22.4	22.4	22.8	22.8	23.2	24
	S.B (%)	72.44	74.64	78.51	79.87	82.9	86.56	89.12	96.05	>100	>100

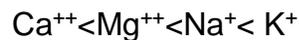
En el cuadro 20 se presentan los resultados de las relaciones catiónicas, por efecto de la adición de vinaza tratada a un suelo Entisol y a un Vertisol.

Cuadro 20: Resultados de las relaciones catiónicas Mg/K, Ca/K y (Ca+Mg)/K por la aplicación de vinaza tratada en un Entisol y en un Vertisol.

		Nivel aplicado de vinaza tratada en m ³ ha ⁻¹ .									
Orden	Relaciones	0	50	100	150	200	300	400	500	700	900
Entisol	Mg/K	4.36	3.34	2.5	1.99	1.65	1.44	1.18	0.92	0.85	0.64
	Ca/K	8.03	6.16	4.51	3.55	2.83	2.43	1.98	1.52	1.39	1.04
	(Ca+Mg)/K	12.39	9.49	7.02	5.54	4.48	3.87	3.16	2.44	2.24	1.68
	Mg/Ca	0.54	0.54	0.55	0.56	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.62
Vertisol	Mg/K	3.33	2.76	1.99	1.8	1.48	1.22	1.01	0.85	0.64	0.53
	Ca/K	7.92	6.28	4.59	3.9	3.19	2.59	2.14	1.8	1.3	1.08
	(Ca+Mg)/K	11.25	9.04	6.58	5.7	4.67	3.81	3.15	2.65	1.93	1.61
	Mg/Ca	0.42	0.44	0.43	0.46	0.46	0.47	0.47	0.47	0.47	0.49

Se puede observar que todas las bases intercambiables y la CIC sufrieron cambios debido a la aplicación de vinaza tratada, lo que también condujo a variaciones en el porcentaje de saturación de bases.

Para ambos suelos, el incremento de las bases intercambiables tuvo el siguiente orden:



Lo anterior responde directamente a la concentración de estos elementos en la vinaza tratada, en donde la concentración de K⁺ es mayor que la de Na⁺.

Los valores de K⁺ variaron entre el tratamiento testigo y el tratamiento 10 de 1.18 Cmol⁽⁺⁾/kg a 9.62 Cmol⁽⁺⁾/kg en el Entisol y en el Vertisol la variación fue de 1.26 Cmol⁽⁺⁾/kg a 9.63 Cmol⁽⁺⁾/kg; condición que puede resultar no conveniente para el suelo desde el punto de vista físico y químico, ya que el potasio en algunos suelos puede actuar de forma similar al sodio como agente dispersante (Aristizabal Arbeloa, 2009).

Además, puede ocasionar desbalances de cationes lo que repercute en la absorción de nutrientes a nivel de planta; esto se puede observar en el cuadro No. 21. La relación Mg/K en el Entisol varió de 4.36 a 0.64, mientras que en el Vertisol, el cambio fue de 3.33 a 0.53 para los niveles de vinaza aplicada comprendidos entre 0 a 900 m³/ha; estos desbalances pueden ocasionar antagonismos entre los elementos en el suelo, lo que puede generar deficiencias de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ por el exceso de potasio que se adiciona.

La dinámica del K⁺ en el Entisol y en el Vertisol debida a la aplicación de diferentes niveles de vinaza tratada se detalla mediante la siguiente ecuación matemática:

$$Y_{Entisol} = 0.0092x + 1.278 \quad (16) \quad R^2 = 0.98 \quad Y_{Vertisol} = 0.0090x + 1.232 \quad (17) \quad R^2 = 0.99$$

La adición de K⁺ a través de la vinaza tratada genero el mismo incremento en ambos suelos debido a que por cada m³ que se adiciono al Entisol el K⁺ incremento en 0.0092 Cmol⁽⁺⁾/kg, mientras que, a aplicar el mismo volumen al Vertisol el incremento en el K⁺ fue de 0.009 Cmol⁽⁺⁾/kg (figura 19).

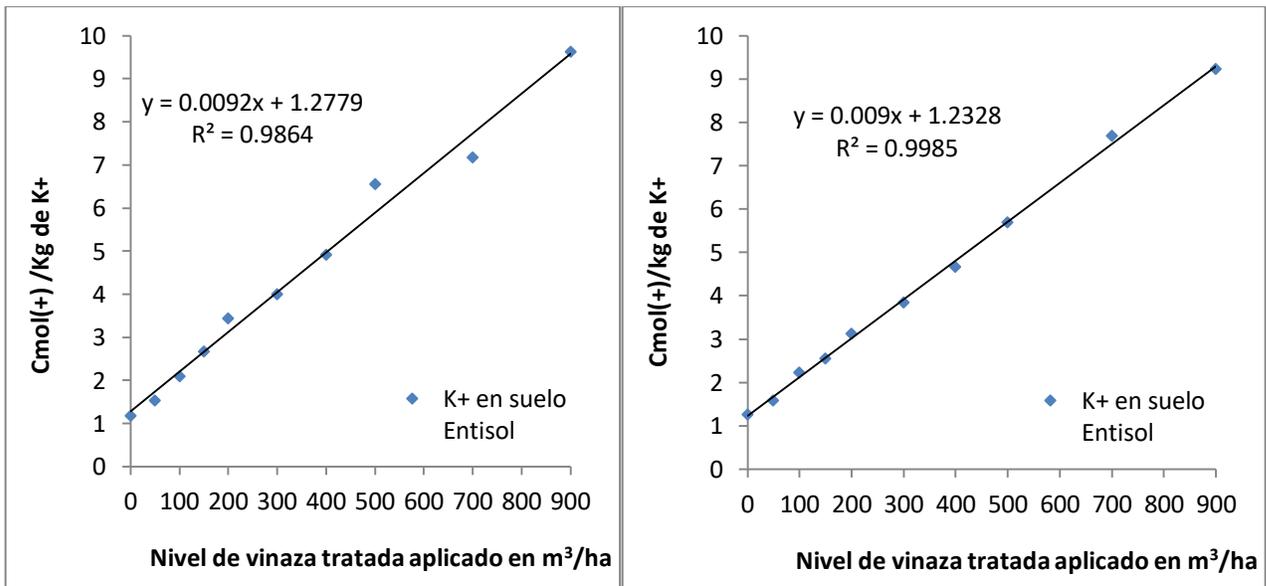


Figura 19: Comportamiento lineal del K⁺ en el Entisol y Vertisol debido a las aplicaciones de vinaza tratada.

En el caso del Ca^{++} fue la base intercambiable que sufrió menor variación en ambos suelos debido a que su concentración era baja en la vinaza; para el Entisol la variación fue $9.48 \text{ Cmol}^+/\text{kg}$ a $9.98 \text{ Cmol}^+/\text{kg}$ entre el testigo y el nivel de $900 \text{ m}^3/\text{ha}$. Para el Vertisol no se detectaron variaciones.

Para el caso del Mg^{++} su comportamiento fue similar a la del Ca^{++} ; las variaciones máximas en los suelos fueron de $1.04 \text{ Cmol}^+/\text{kg}$ en el Entisol y de $0.69 \text{ Cmol}^+/\text{kg}$ en el Vertisol entre el nivel de $0 \text{ m}^3/\text{ha}$ y $900 \text{ m}^3/\text{ha}$. Los modelos que describen los comportamientos del Mg^{++} en los suelos se detallan a continuación:

$$Y_{\text{Entisol}} = 0.0013x + 5.2161 \quad (18) \quad Y_{\text{Vertisol}} = 0.0007x + 4.4009 \quad (19)$$

Para el caso del Na^+ sus incrementos fueron mayores que los del calcio y magnesio, comportamiento que se debe por la mayor concentración de este elemento en la vinaza tratada. Los incrementos máximos ocasionados fueron de $1.52 \text{ Cmol}^+/\text{kg}$ en el Entisol y de $1.13 \text{ Cmol}^+/\text{kg}$ en el Vertisol en entre niveles de $0 \text{ m}^3/\text{ha}$ y $900 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Los modelos que detallan la dinámica del Na^+ en los suelos se describen a continuación:

$$Y_{\text{Entisol}} = 0.0019x + 0.3624 \quad (20) \quad Y_{\text{Vertisol}} = 0.0012x + 0.5607 \quad (21)$$

En relación a la saturación de bases intercambiables individuales el mayor incremento se dio para el catión K^+ seguido del Na^+ para ambos suelos. Las saturaciones de K^+ cambiaron de 5.67% a 43.1% y para el Na^+ de 1.68% a 8.39% en el Entisol. Dichos elementos influyeron a que el complejo de saturación alcanzara valores cercanos al 100% con niveles de $400 \text{ m}^3/\text{ha}$ para el Entisol y para el Vertisol con $500 \text{ m}^3/\text{ha}$ para una profundidad de 0 m a 0.2 m bajo condiciones en la cuales no existieron lixiviaciones.

Cuadro 21: Porcentaje de saturación de Calcio (Cal), Magnesio (Mgl), sodio (Nal) y potasio (KI) generados por la aplicación de vinaza tratada.

		Nivel aplicado de vinaza tratada en m³ ha⁻¹									
Orden	Propiedad Química	0	50	100	150	200	300	400	500	700	900
Entisol	Cal (%)	45.6	44.7	44.3	43.9	45	45	44.6	45.78	45.2	44.8
	Mgl (%)	24.7	24.2	24.58	24.5	26.3	26.7	26.6	27.71	27.7	27.7
	Nal (%)	1.68	1.84	3.037	3.01	3.01	4.03	4.59	7.202	8.28	8.39
	KI (%)	5.67	7.26	9.813	12.4	15.9	18.5	22.6	30.09	32.5	43.1
	S.B (%)	77	78.1	81.73	83.8	90.2	94.3	98.4	>100	>100	>100
Vertisol	Cal (%)	45.2	45	46.08	44.6	44.6	44.6	43.8	44.87	43	41.6
	Mgl (%)	19	19.8	20	20.6	20.7	20.9	20.7	21.27	21.1	20.4
	Nal (%)	2.58	2.75	3.514	3.3	3.71	3.88	4.21	4.956	6.16	7.08
	KI (%)	5.7	7.16	10.05	11.4	14	17.2	20.5	24.96	33.1	38.5
	S.B (%)	72.4	74.6	78.51	79.9	82.9	86.6	89.1	96.05	>100	>100

E. Contenidos de micronutrientes

En el cuadro 22 se presentan los resultados de los micronutrientes (Cu^{++} , Zn^{++} , Fe^{++} y Mn^{++}) como consecuencia de la aplicación de vinaza tratada en el Entisol y a un Vertisol.

Cuadro 22: Cambios generados en la disponibilidad de micronutrientes por la aplicación de vinaza tratada a un Entisol y a un Vertisol.

		Nivel aplicado de vinaza tratada en m ³ /ha.									
Orden	Micronutriente	0	50	100	150	200	300	400	500	700	900
Entisol	Cu⁺⁺	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1	1	1	1
	Zn⁺⁺	5.5	8	7	7.5	7.5	14.5	13.5	15	15.5	20.1
	Fe⁺⁺	5.5	8	7	7.5	7.5	14.5	13.5	15	15.5	20.5
	Mn⁺⁺	59	62	75	73.5	105	110	125	130	135	145
Vertisol	Cu⁺⁺	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	2.5	2	2
	Zn⁺⁺	7	7	7.5	7.5	7.5	8	8	8.5	8	8
	Fe⁺⁺	15	16	18	18.5	18	14.5	14	15	16	18
	Mn⁺⁺	130	135	160	165	190	215	285	350	395	500

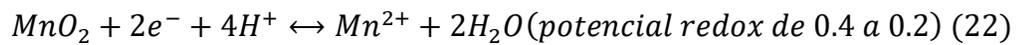
En el Entisol las concentraciones de Cu^{++} extraídos con la solución Mehlich I fueron muy similares para todos los tratamientos evaluados con cierta tendencia a estabilizarse en niveles $> 200 \text{ m}^3/\text{ha}$, lo que pudo haberse debido en gran parte al aumento de los valores de pH y de materia orgánica. El comportamiento del Cu^{++} para el Vertisol fue similar al Entisol.

Para el caso del Zn^{++} la adición de vinaza tratada incremento su disponibilidad en el Entisol desde un valor de 5.5 mg/kg para el nivel de $0 \text{ m}^3/\text{ha}$ a 20.1 mg/kg para el nivel de $900 \text{ m}^3/\text{ha}$. Mientras que en el Vertisol, el comportamiento del Zn^{++} fue diferente; observándose incrementos muy leves en los tratamientos contrastantes, lo que se pudo originar debido a una mayor capacidad de adsorción por parte de los minerales arcillosos del suelo.

En el caso de la Fe^{++} , las concentraciones extraídas con la solución Mehlich I para ambos suelos tuvieron un incremento, siendo mayores en el Entisol. El incremento fue de 15 mg/kg y para el Vertisol fue de 3 mg/kg en entre el tratamiento testigo y el nivel de 900m³/ha.

El Mn^{++} fue el micronutriente en donde se reportaron los incrementos más altos entre el testigo y el nivel de 900 m³/ha para ambos suelos; los valores cambiaron de 59 mg/kg hasta 145 mg/kg, en el Entisol, mientras que para el Vertisol los valores incrementaron de 130 mg/kg a 500 mg/kg.

Los incrementos generados en el Mn^{++} se deben posiblemente a que este elemento tiene mucha participación como aceptador de electrones; esto ocurre en gran medida por la descomposición de la materia orgánica bajo condiciones reductoras. Lo anterior, lo explica la ecuación 22:



Existe una estrecha relación entre los niveles de Fe y Mn presentes: si en los suelos existen o se provocan elevados niveles de Mn con valencias altas, estos oxidan la Fe^{++} a Fe^{+++} , reduciendo su disponibilidad (Fassbender & Bornemisza, 1987). Según lo expuesto anteriormente, los niveles de Mn en ambos suelos pudieron haber ocasionado que la disponibilidad de Fe no fuera alta como la del Mn.

2.6.2 Prueba biológica

2.6.2.1 Rendimiento de biomasa aérea

En el cuadro 23 se presentan los resultados de rendimiento de biomasa aérea expresados en g/planta de sorgo obtenidos a los 65 días después de siembra.

Cuadro 23: Respuesta en la producción de materia seca de sorgo debida a la aplicación de vinaza tratada en el Entisol y en el Vertisol.

Nivel (m ³ vinaza/ha)	Tratamiento	Entisol Materia seca (g)	Vertisol Materia seca (g)
0	T1	11.30	3.53
50	T2	13.93	3.10
100	T3	17.10	3.07
150	T4	19.90	2.63
200	T5	20.80	2.33
300	T6	23.40	1.97
400	T7	23.87	1.80
500	T8	23.63	1.73
700	T9	23.10	1.57
900	T10	20.20	1.40

En el cuadro anterior, se observa el comportamiento de la producción de materia seca generada por las aplicaciones de los diferentes niveles de vinaza tratada en los dos órdenes evaluados. En el orden Entisol se obtuvieron incrementos hasta el nivel de 400 m³/ha, luego la producción se redujo en los niveles posteriores. En el Vertisol el comportamiento de la producción de materia seca fue diferente, se obtuvo una disminución a medida que se incrementaron los niveles aplicados. En la figura 20 se presentan los comportamientos generados en la materia seca para cada orden de suelo.

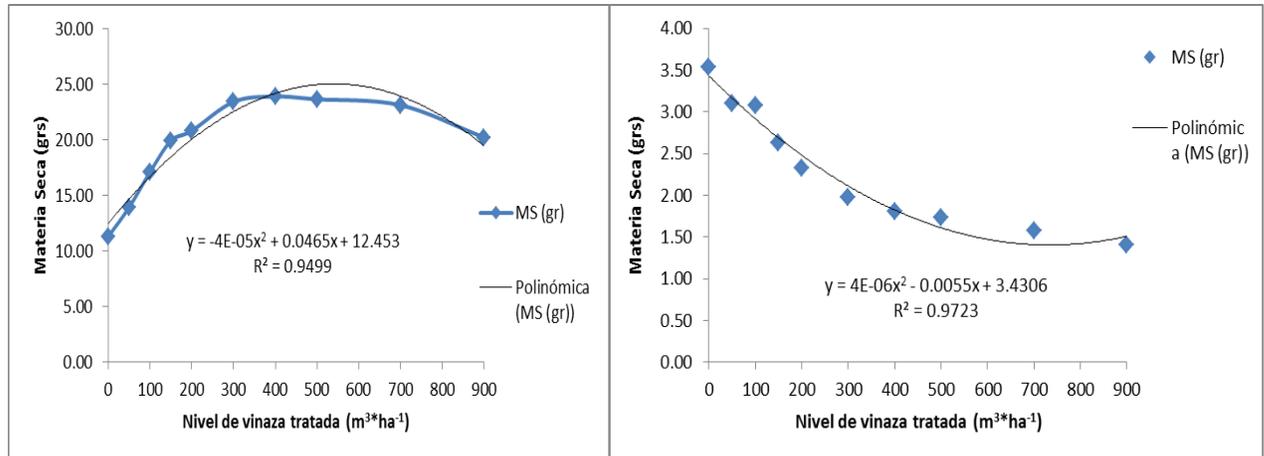


Figura 20: Comportamiento del rendimiento de materia seca aérea (gramos) de sorgo debida a la aplicación de vinaza tratada en el Entisol y en el Vertisol.

Los comportamientos generados de materia seca se describen mediante las siguientes ecuaciones para cada orden de suelo:

$$Y_{Entisol} = -4e^{-05}x^2 + 0.0465x + 12.45 \quad (23) \quad Y_{Vertisol} = -4e^{-06}x^2 + 0.0055x + 3.43 \quad (24)$$

Donde:

Y: es la producción de materia seca (g)

X: es el nivel de vinaza tratada (m³/ha).

Debido a que la producción de materia seca en el Entisol tiene un comportamiento cuadrático se determinó el nivel óptimo que produce el rendimiento más alto mediante la derivación principal de la ecuación (25):

$$0 = -2e^{-05}x + 0.0465 \quad (25)$$

$$x = 572m^3ha^{-1}$$

El nivel que produce el rendimiento más alto de materia seca de sorgo en el Entisol es 572 m³/ha, lo que indica que aplicar volúmenes más altos por hectárea afectaría la producción de materia seca por unidad de área.

2.6.2.2. Concentración de nutrientes en materia seca de Sorgo (*Sorghum halepense*)

En el cuadro 24 y 25 se presentan los resultados del contenido de nutrientes en las plantas de sorgo debido a la aplicación de diferentes niveles de vinaza tratada en el Entisol y en el Vertisol. En estos cuadros se puede observar que no todos los nutrientes tuvieron cambios notables y el comportamiento fue diferente en cada suelo.

Cuadro 24: Concentración de nutrientes en materia seca de sorgo (*Sorghum halepense*) en el suelo Entisol ocasionados por la aplicación de vinaza tratada.

Entisol	m ³ /ha	%					mg/kg				
Identificación	Nivel	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Fe	Mn
Tratamiento 1	0	0.87	0.11	2.19	0.44	0.24	100	5	25	100	25
Tratamiento 2	50	1.04	0.13	4.06	0.50	0.29	100	5	40	130	30
Tratamiento 3	100	0.90	0.15	4.50	0.38	0.27	100	5	35	70	20
Tratamiento 4	150	1.01	0.15	3.44	0.38	0.21	110	5	30	105	30
Tratamiento 5	200	1.13	0.13	4.06	0.38	0.25	120	5	45	125	30
Tratamiento 6	300	1.43	0.14	4.44	0.38	0.25	110	5	45	150	35
Tratamiento 7	400	1.20	0.14	3.81	0.38	0.25	100	5	45	190	50
Tratamiento 8	500	1.61	0.15	3.88	0.38	0.27	110	5	45	215	55
Tratamiento 9	700	2.05	0.16	4.69	0.38	0.29	145	10	55	270	70
Tratamiento 10	900	2.00	0.15	5.31	0.38	0.29	145	10	50	285	85

Cuadro 25: Concentración de nutrientes en materia seca de Sorgo (*Sorghum halepense*) en el suelo Vertisol ocasionados por la aplicación de vinaza tratada.

Vertisol	m ³ /ha	%					mg/Kg				
Identificación	Nivel	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Fe	Mn
Tratamiento 1	0	1.40	0.08	2.88	0.50	0.31	135	15	45	110	70
Tratamiento 2	50	2.03	0.11	2.75	0.63	0.45	155	15	50	150	35
Tratamiento 3	100	2.09	0.14	2.88	0.50	0.39	135	10	40	175	30
Tratamiento 4	150	2.30	0.13	3.19	0.63	0.42	145	10	45	135	30
Tratamiento 5	200	2.39	0.14	2.88	0.56	0.44	165	10	50	115	35
Tratamiento 6	300	2.31	0.12	2.88	0.63	0.44	190	10	50	165	40
Tratamiento 7	400	2.72	0.15	3.38	0.56	0.38	180	5	45	115	35
Tratamiento 8	500	2.74	0.20	3.38	0.56	0.44	225	10	55	120	35
Tratamiento 9	700	2.17	0.14	3.88	0.56	0.39	475	5	45	115	40
Tratamiento 10	900	2.50	0.10	3.63	0.50	0.33	450	5	50	140	55

La concentración de los macronutrientes en el tejido vegetal de sorgo para Entisol aumentó a medida que se incrementaron los niveles de vinaza tratada aplicados. Dándose los valores más altos en el K, seguido del N, P. En el caso del Ca y Mg los incrementos fueron mínimos lo que se puede deber al antagonismo ocasionado por las concentraciones altas de potasio. En el suelo Vertisol el cambio en las concentraciones de los macronutrientes fue similar a la generada en el Entisol.

Para el caso de los micronutrientes en el Entisol todos aumentaron su concentración debido a las aplicaciones crecientes de vinaza tratada; el incremento fue mayor para el Fe, seguido del Mn, Zn y Cu respectivamente. En el Vertisol en el comportamiento generado fue diferente; el Cu y Mn disminuyeron a medida que se incrementaron los niveles aplicados.

El elemento que tuvo mayor relevancia en las plantas de sorgo en el Vertisol fue el Na^+ debido a que a medida que se aplicaron las dosis crecientes de vinaza tratada su valor llegó hasta 450 mg/kg en relación al nivel de 900 m³/ha; posiblemente fue el responsable que la producción de materia seca de sorgo decreciera en relación al aumento de Na^+ y debido a que fue el elemento que presentó mayor coeficiente de correlación (-0.71) con la variable materia seca.

2.7 CONCLUSIONES

1. Los resultados del análisis químico de la caracterización de la vinaza tratada indican que es una enmienda orgánica de reacción ligeramente alcalina (pH de 8.2), tiene una conductividad eléctrica de 5.09 dS/m; la cual puede ocasionar problemas de salinidad, el Potasio es el macronutriente que posee en mayor concentración (0.87 %) y la concentración de micronutrientes que contienen no representan ningún riesgo por metales pesados si se aplicara al suelo.
2. La aplicación de vinaza tratada condujo incrementos en la conductividad eléctrica y en el pH para ambos suelos; en el suelo Entisol niveles \geq de 700 m³/ha elevaron el pH a un valor de 8 y elevaron la conductividad eléctrica a niveles mayores a 4 dS/m, mientras que en el suelo Vertisol ningún tratamiento provoco que la conductividad llegara a un valor de 4 dS/m y niveles \geq 900 m³/ha elevaron el valor del pH a más de 8 unidades. La base intercambiable que aumento en mayor proporción fue el Potasio en ambos suelos; en el Entisol cambio de 1.18 Cmol⁺/Kg a 9.62 Cmol⁺/Kg y en el Vertisol de 1.26 Cmol⁺/Kg a 9.23 Cmol⁺/Kg en relación al nivel de 0 m³/ha y 900m³/ha. La saturación de bases en Entisol llevo a valores mayores a un 100 % desde niveles mayores a 400 m³/ha y en el Vertisol se provocó esto desde niveles a 500 m³/ha.
3. El comportamiento de la materia seca en el suelo Entisol tuvo un efecto cuadrático determinándose que el nivel que produce el máximo rendimiento es de 573 m³/ha, lo que indica que aplicar niveles más altos provocan disminuciones en la producción de materia seca; en el Vertisol a medida que se incrementaron los niveles aplicados de vinaza tratada se provocaron disminuciones en la producción de materia seca.

2.8 RECOMENDACIONES

1. Para determinar los niveles de vinaza tratada que se deben aplicar a los suelos cultivados con caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), ya sea como enmienda o aporte de nutrimentos, se debe tener conocimiento de sus propiedades físicas y químicas así como de la composición de la vinaza que se utilizara y los requerimientos del cultivo sin descuidar las condiciones ambientales de la región, de lo contrario la aplicación de la vinaza podría tener efectos negativos en la fertilidad física, química y biológica de los suelos.

2.9 BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar Loe, J. (2001). *Manual: Aplicación de vinaza al suelo; Lineamientos generales*. México: CEDEFUT.
2. Alfaro, R. A. (1996). Evaluación de la vinaza como fertilizante potásico en la caña de azúcar y su efecto sobre las propiedades químicas de un suelo de Atenas, Alajuela. *Congreso Nacional Agronómico y II Congreso de Suelos; Resúmenes* (pág. 175). San José, Costa Rica: Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar.
3. Aristizabal Arbeloa, A. J. (2009). *Efecto de altas saturaciones de Mg y Ca en las propiedades físicas de un suelo del valle de Cauca (Tesis Ing. Agr.)*. Cauca, Colombia, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrícolas.
4. Bautista Zuñiga, F. D. (2000). Cambios químicos en el suelo por aplicación de materia orgánica soluble tipo vinazas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 16 (3), 89-101.
5. Bautista Zuñiga, F., & Durán de Bazua, M. d. (1998). Análisis del beneficio y riesgo potenciales de la aplicación al suelo de vinazas crudas y tratadas biológicamente. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 14 (1), 13-19.
6. Berrocal, M. (1987). Efecto de los residuos de la industria azúcar-alcoholera, bagazo, cachaza y vinaza, en la producción de caña y azúcar en un vertisol de Guanacaste. *Agronomía Costarricense*, 12 (2), 147-153.
7. Camargo, O. A. (1893). *Características químicas e físicas de solos que receberam vinhaca por longo tempo (Tesis Ing. Agr.)*. Brasil, Campinas, Brasil: Instituto Agronómico.
8. COPERSUCAR. (1986). *Efeitos da aplicacao da vinhaca como fertilizante en cana de açúcar*. Brasil: COPERSUCAR, Boletín Técnico Copersucar, v. 7, 9-14.

9. Espinosa, Rodolfo., Ovando, Claudia. (2010). Producción de etanol. *Memorias de presentación de resultados de investigación, zafra 2009-2010* (págs. 242-273). Guatemala: CENGICAÑA.
10. Fassbender, H., & Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. San José, Costa Rica: IICA.
11. FAUSAC. (2014). *Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA)*. Recuperado el 17 de Julio de 2015, de USAC, Facultad de Agronomía, Centro de Telemática: www.fausac.usac.edu.gt/GPublica/index.php/CEDA
12. Foth, H. D. (1997). El pH del suelo, sus causas, importancia y alteración. En H. D. Foth, *Fundamentos de la ciencia del suelo* (págs. 207-228). México: CECSA.
13. García, Á. (2005). Posibilidades de uso de vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos. *Tecnicaña*, 17 (9).
14. Korndorfer, H. (2004). Conferencia sobre el impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo. *Memorias seminario vinaza, potasio y elementos menores para la agricultura sostenible; Memorias* (pág. 210). Palmira, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
15. Montenegro Gómez, S. (2008). Influencia de la aplicación de vinaza sobre la presencia, actividad y biomasa microbiana del suelo en el cultivo de maíz. *Universidad de Colombia*. , 124.
16. Muños, M. (2010). Perspectivas de los coproductos de la Caña de Azúcar. En CENGICAÑA, *Memoria de presentación de resultados de investigación. Zafra 2009-2010* (págs. 221-248). Guatemala: CENGICAÑA.
17. Nunes, M. R., Velloso, A., & Leal, J. R. (1982). Efeito da vinhaca na lixiviação de nutrientes do solo III: Potasio y magnesio . *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 17, 371-374.

18. Pérez, O. (2000). Nutrición y fertilización. En M. Melgar, A. Meneses, P. O. Orzoco Héctor, & R. Espinosa, *Cultivo de la caña de azúcar en Guatemala* (págs. 149-176). Guatemala : Artemis El Inter.
19. Pérez, O. (23 de Abril de 2015). Presentación de resultados: evaluación del efecto de la aplicación de diferentes niveles de vinaza cruda y tratada sobre las propiedades químicas de un Vertisol y Entisol de la Costa Sur de Guatemala. (A. Sacbaja Galindo, Entrevistador) Santa Lucía Cotzumalgua, Escuintla, Guatemala, CENCICAÑA, Investigación .
20. Quiroz Guerrero, I., & Pérez Vázquez, A. (2013). Vinaza y compost de cachaza: efecto de la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, No. 5, 1069-1075.
21. Richards, L. (1990). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos* (6 ed.). (N. Sánchez, Trad.) Mexico , México: Limusa.
22. SEMARNAT. (1996). *NOM-001: Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la destilería*. México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
23. Subiros, J. F., & Molina, E. (1992). Efecto de la aplicación de vinazas en la producción de caña de azúcar y en las características químicas de un Inceptisol de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 16(1), 55-60.

TESIS Y DOCUMENTOS DE GRADUACIÓN
OF FAUSAC
REVISIÓN

Polando Ramos

2.9 ANEXOS



Figura 21A: Producción de materia seca debido a la aplicación de vinaza tratada en el Entisol.



Figura 22A: Producción de materia seca debida a la aplicación de vinaza tratada en el Vertisol.



CAPÍTULO III.

SERVICIOS PROFESIONALES REALIZADOS

3.1 PRESENTACIÓN

En el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala se realizó la fase de los servicios como parte del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS). La fase de servicios estuvo compuesta de tres actividades desarrolladas de febrero a noviembre del 2014.

El primer servicio consistió en brindar apoyo para la realización de análisis físicos y químicos para diferentes muestras de suelo. Los análisis químicos elaborados fueron: porcentaje de materia orgánica (MO), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (C.E), bases intercambiables (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+) y los análisis físicos realizados fueron: textura y densidad aparente. Se analizaron 12 muestras de suelo del cultivo de banano (*Musa Sapientum*).

En el segundo servicio se realizó el análisis de tejido vegetal para diferentes muestras de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) con la finalidad de determinar el estado nutricional del cultivo; se determinaron los elementos esenciales (macronutrientes y micronutrientes) por medio de la metodología de cuantificación de elementos totales.

Como parte del apoyo que brinda el laboratorio “Salvador Castillo” al agro-guatemalteco, el tercer servicio consistió en la capacitación a un grupo de productores del municipio de Champerico, Retalhuleu, Guatemala. El tema de la capacitación fue muestreo de suelos; actividad que estuvo acompañada de la fase de campo. El servicio se realizó en la finca “El Triunfo” la cual se destina para la producción de maíz (*Zea Mays*), mango (*Mangifera indica*) y ajonjolí (*Sesamum indicum*) como cultivos principales.

3.2 REALIZACION DE ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS PARA MUESTRAS DE SUELO EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA “SALVADOR CASTILLO” DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, USAC, GUATEMALA

3.2.1 MARCO REFERENCIAL

La ejecución del presente servicio se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” de la Facultad de Agronomía, ubicado en el edificio de UVIGER a un costado del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA) del municipio de Guatemala, Guatemala. Las coordenadas geográficas de la ubicación son Latitud 14°34'58.5" norte y Longitud 90°33'11.7" oeste, a una altitud de 1,502 m s.n.m.

3.2.2 OBJETIVOS

3.2.2.1 General

- A. Brindar apoyo al Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” para la determinación de análisis físicos y químicos de muestras de suelo.

3.2.2.2 Específicos

- A. Determinar por el método del hidrómetro de Bouyoucos la textura de 12 muestras de suelo.
- B. Determinar las propiedades químicas: pH (potencial de hidrogeno), conductividad eléctrica, bases intercambiables y contenido de materia orgánica para 12 muestras de suelo.

3.2.3 METODOLOGÍA

Las metodologías que se llevó a cabo a nivel de laboratorio para determinar las propiedades químicas y físicas de 12 muestras de suelo provenientes de la finca “San Pedro” se detallan en el cuadro 26. Cabe mencionar, que estos suelos son utilizados para la producción del cultivo de banano (*Musa sapientum*).

Cuadro 26: Metodologías empleadas en el laboratorio “Salvador Castillo”, para la determinación de las propiedades físicas y químicas de las muestras de suelo.

Análisis físico	
Tipo de análisis	Metodología empleada
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos
Análisis químico	
Tipo de análisis	Metodología empleada
Potencial de hidrogeno (pH)	Potenciómetro
Conductividad eléctrica	Conductivímetro
Bases intercambiables	Saturación con acetato de amonio (CH ₃ COONH ₄) pH 7.0 1N.
Contenido de materia orgánica	Walkley-Black modificado

Fuente: (Jackson, 1964)

Previo a realizar las determinaciones físicas y químicas de los suelos, las muestras fueron secadas al aire libre, se molieron, y se pasaron por un tamiz de 2 mm, para que posteriormente fueran almacenadas en bolsas plásticas con su debida codificación. Luego de esto, las muestras de suelo se ingresaron al laboratorio para realizar sus respectivos análisis.

3.2.3.1 Determinación de la textura de suelo por el método del hidrómetro de Bouyoucos

Se pesaron 50 g de suelo tamizado en una balanza analítica, los que posteriormente fueron depositados en un beacker de 250 ml al que se le agregaron 10 ml de Hexamentafosfato de Sodio (calgón) y 100 ml de agua destilada; esta procedimiento se realizó un día antes se hacer el análisis.

Luego, la muestra fue trasvasada a un vaso de agitación al que se le agregaron 500 ml de agua y se puso a agitar durante 10 minutos en una licuadora de suelos (dispersión mecánica). Seguidamente, la muestra se trasvaso a un cilindro de sedimentación tratando de pasar todo el suelo que quedo adherido a las paredes del vaso. Trasvasada toda la muestra, se aforo con agua el cilindro de sedimentación a un volumen de 1,130 ml con el hidrómetro sumergido. Luego se agito con la ayuda de una varilla la muestra durante 20 segundos.

A los 20 segundos se dejó de agitar y se introdujo en ese momento el hidrómetro y se tomó la lectura de la densidad de la muestra exactamente a los 40 segundos, luego se retiró el hidrómetro y se tomó la lectura de la temperatura con el termómetro. Dos horas después de la primera lectura, nuevamente se tomaron los datos en el hidrómetro y el termómetro (segunda lectura de densidad y temperatura).

Los porcentajes de arena, limo y arcilla se cuantificaron mediante las siguientes ecuaciones y 27 y 28:

$$\% \text{ limo} + \text{ arcilla} = \left[\frac{\text{1era lec. hidrómetro} - \text{densidad de calgón} \pm (\Delta T * 0.36)}{\text{peso de suelo seco}} \right] * 100 \quad (27)$$

$$\Delta T = \text{1era lectura de temperatura} - \text{temperatura de diseño del hidrometro} \quad (28)$$

Donde ΔT : es la diferencia de la lectura en el termómetro menos la lectura de diseño del hidrómetro, si la lectura del termómetro es mayor a la lectura de diseño del hidrómetro el $(\Delta T * 0.36)$ se suma, si ocurriera lo contrario el valor de $(\Delta T * 0.36)$ se resta.

En la ecuación 27 se utilizó una densidad de calgón igual a 1 g/cm^3 y una temperatura de diseño del hidrómetro de $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Para determinar el porcentaje de arcilla se utilizó la ecuación (27) con la modificación de que se utilizaron los valores de la segunda lectura del hidrómetro y el termómetro. Por diferencia en base al 100 % se obtuvo el porcentaje de arena.

3.2.3.2 Determinación de la reacción del suelo

Se tomaron 10 ml de volumen de suelo y se colocaron en un beacker de 250ml de capacidad, luego se agregaron 25ml de agua destilada para hacer una relación de suelo/agua 1:2.5. Se agito la muestra con una varilla de vidrio durante un minuto. El pH de cada suelo se midió con un potenciómetro que se calibro al inicio de las lecturas.

3.2.3.3 Determinación de la conductividad eléctrica

Se tomaron 10 ml de volumen de suelo y se colocaron en un beacker de 250 ml de capacidad, al que posteriormente se le agrego 50 ml de agua destilada para hacer una relación de suelo/agua de 1:5. Se agitó mecánicamente durante 10 minutos. La conductividad eléctrica se midió con un conductivímetro, el que fue calibrado al inicio de las lecturas.

La lectura reportada por el conductivímetro se multiplicó por 5 debido a la relación de agua/suelo. La conductividad se expresó en dS/m.

3.2.3.4 Determinación de las bases intercambiables

Se pesaron 5 g de suelo tamizado en una balanza electrónica y se agregaron a un tubo de centrifuga, posteriormente a este, se le agregó 30 ml de acetato de amonio ($\text{NH}_4\text{COOCH}_3$) a 1N, se agito manualmente y se dejó reposar durante 12 horas.

Después se centrifugó la muestra a 1500 rpm (un tiempo aproximado de 5 min). Seguidamente, se filtró a un balón aforado de 100 ml. Nuevamente se aplicó a la muestra, acetato de amonio, se centrifugó y se filtró, durante dos veces más. Posteriormente, se aforo el balón a 100ml con agua destilada.

Por último, se cuantificó los contenidos de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K) en el espectrofotómetro de absorción atómica. Los datos se expresaron en meq/100g de suelo de cada elemento.

3.2.3.5 Determinación del contenido de materia orgánica

Se pasó el suelo por un tamiz de 0.5 mm, del suelo tamizado se pesó de 0.1 g - 0.25 g para suelos con tonalidades oscuras (posible indicador de altos contenidos de materia orgánica) y de 0.5 g a 2 g para suelos con colores claros (indicador de bajos contenidos de materia orgánica), luego esta cantidad de suelo se depositó en un matraz erlenmeyer de 500 ml de capacidad, al que posteriormente se le agregó 10 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ a 1N con una pipeta volumétrica y se agito. Seguidamente se le aplicaron 20 ml de H_2SO_4 concentrado dentro de la campana de extracción, se agito durante un minuto y se dejó reposar durante media hora.

Transcurrido el tiempo de reposo, se agregaron aproximadamente 200 ml de agua, 10 ml de H_3PO_4 y 6 gotas del indicador de difenilamina sulfónica. Después de agregar los reactivos antes mencionados, la solución se tornó entre un color azul y verde oscuro.

Se tituló la muestra de suelo con $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a 1N agregando gota por gota con un micro-bureta hasta que la solución cambia a un color verde esmeralda.

Posteriormente se determinó el porcentaje de carbono orgánico (% C.O) en base a la siguiente ecuación:

$$\% C.O = \frac{\text{ml de } \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \text{ testigo} - \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \text{ muestra}}{\text{pesos de suelo en base seca}} * N \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} * \frac{0.33}{0.77}$$

El porcentaje de materia orgánica (% M.O) se determina con la siguiente ecuación:

$$\% M.O = \% C.O * 1.74$$

3.2.4 RESULTADOS

En los cuadros 27, 28 y 29 se presentan los resultados de los análisis físicos y químicos que se realizaron para 12 muestras de suelos en el laboratorio “Salvador Castillo”; las cuales fueron extraídas de 4 lotes del cultivo de banano para 3 diferentes profundidades de muestreo.

Cuadro 27: Porcentajes de arcilla, limo, arena y clase textural de suelos.

Identificación			%			Clase textural
Muestra	Lote	Profundidad (m)	Arcilla	Limo	Arena	
1	6	0-0.2	20.20	36.67	43.13	Franco
2		0.2-0.46	20.20	36.67	43.13	Franco
3		0.46-0.73	9.70	28.27	62.03	Franco arenoso
4	9	0-0.16	26.50	45.07	28.43	Franco
5		0.16-0.41	24.40	45.07	30.53	Franco
6		0.41-0.73	13.90	45.07	41.03	Franco
7	17	0-0.22	20.20	38.77	41.03	Franco
8		0.22-0.44	16.00	38.77	45.23	Franco
9		0.44-0.60	13.90	47.17	38.93	Franco
10	31	0-0.24	16.00	36.67	47.33	Franco
11		0.24-0.70	9.70	28.27	62.03	Franco arenoso
12		0.70-1.10	5.50	28.27	66.23	Franco arenoso

En el cuadro 27 se puede observar que los contenidos de arcilla varían de acuerdo a la profundidad de muestreo debido a que los contenidos más altos de arcilla se encontraron en la parte superficial (primer estrato) y disminuyeron a medida que se aumenta la profundidad de muestreo. El contenido más alto de arcilla se encontró en el lote 9, el cual presento un 26.60 % para una profundidad de 0-16 cm y un 13.90 % en la profundidad de

44-66 cm. Los contenidos más bajos de arcilla se encontraron en el lote 31, variando de 16.0 % a 5.50 % en la misma relación que en el lote 9.

Se puede mencionar que la clase textural predominante en los lotes de banano es franca, variando solamente en el tercer estrato de los lotes 9 y 31, en los cuales se determinó que la clase textural es franco arenosa debido a que en estos estratos que se encontraron los contenidos más altos de arena (62.03 % y 66.23 % respectivamente). La clase textural predominante en los suelos tiene las siguientes características físicas: permeabilidad media, velocidad de infiltración media, compacidad baja, inestabilidad estructural baja, almacenamiento de nutrientes medio y fertilidad física buena (Porta Casanellas, López Acevedo, & Roquero De Laburu, 2003)

Cuadro 28: Resultados de pH, conductividad eléctrica (C.E) y porcentaje de materia orgánica (% M.O) de las diferentes muestra de la finca “San Pedro”.

Identificación			pH		dS/m	%
Muestra	Lote	Profundidad (m)	H ₂ O	KCl	C.E	M.O
1	6	0-0.20	8.1	6.7	0.68	3.20
2		0.20-0.46	8.3	6.8	0.82	1.25
3		0.46-0.73	8.3	6.9	0.84	0.25
4	9	0-0.16	8.9	7.2	2.08	3.23
5		0.16-0.41	8.9	7.1	2.7	1.33
6		0.41-0.73	8.5	6.9	1.25	0.40
7	17	0-0.22	6.6	5.5	0.28	3.99
8		0.22-0.44	6.8	5.7	0.22	0.94
9		0.44-0.60	7.6	6.2	0.26	0.44
10	31	0-0.24	7.1	5.8	0.40	3.83
11		0.24-0.70	7.2	5.7	0.21	0.39
12		0.70-1.10	7.5	6.2	0.19	0.10

En relación al pH y de acuerdo a los datos presentes en el cuadro 28 se pueden mencionar que en el lote 6, los valores de pH varían de 8.1 a 8.3 clasificándose como un suelo moderadamente alcalino; para el lote 9, el rango de pH es de 8.9 a 8.5 clasificándose como un suelo fuertemente alcalino; en el lote 17, el pH varía de 6.6 y 7.6 clasificándose como un suelo neutro a ligeramente alcalino y para el lote 31 el pH varía de 7.1 a 7.5 clasificándose como un suelo neutro a ligeramente alcalino (Jaramillo, 2002). De lo anterior, también se puede mencionar que en la mayoría de los lotes de banano los valores más bajos de pH se encontraron en la parte más superficial del suelo, excepto en el lote 9, en el cual se encontró que el pH es más alto en la parte superficial.

De acuerdo a los valores de C.E presentes en el cuadro 28, se puede observar que para los lotes 6, 9, 17 y 31 ningún valor sobre pasa los 4 dS/m; límite en el cual se considera que un suelo tiene altos contenidos de sales que significativamente reducen la producción de un cultivo (Jaramillo, 2002).

Para el caso de los porcentajes de materia orgánica en los diferentes lotes de banano que se presentan en el cuadro 28, se puede mencionar que a medida que aumenta la profundidad en el suelo, los contenidos de materia orgánica disminuyen, por tal razón los contenidos más altos se encontraron en el primer estrato de cada uno de los diferentes lotes. Los porcentajes de materia orgánica varían de 3.20 % a 3.83 % en el primer estrato de cada lote, teniendo el contenido más alto el lote 31 y el contenido más bajo el lote 9. Los porcentajes más bajos de materia orgánica varían de 0.1 % a 0.44 %; los cuales se encontraron en el último estrato.

Se puede complementar que existe una relación entre el porcentaje de materia orgánica y el pH en el suelo, debido a que a medida que disminuye el porcentaje de materia orgánica en el suelo se incrementa el pH en el mismo.

Cuadro 29: Contenidos de Ca, Mg, Na y K en Cmol⁽⁺⁾/Kg, presentes en los diferentes lotes de banano.

Identificación			Cmol ⁽⁺⁾ /Kg suelo					%
Muestra	Lote	Profundidad (m)	Ca	Mg	Na	K	∑bases	PSI
1	6	0-20	16,72	2,47	1,57	1,97	22,73	6,91
2		20-46	13,97	11,92	1,91	1,23	29,03	6,58
3		46-73	13,47	7,65	1,48	1,1	23,7	6,24
4	9	0-16	12,97	7,81	8,52	2,59	31,89	26,72
5		16-41	11,48	17,89	10,43	2,87	42,67	24,44
6		41-73	9,98	22,2	5,65	2,33	40,16	14,07
7	17	0-22	12,23	4,61	0,61	1,69	19,14	3,19
8		22-44	10,43	4,65	0,52	1,13	16,73	3,11
9		44-60	13,97	4,93	0,87	0,67	20,44	4,26
10	31	0-24	11,23	3,5	1,22	2,15	18,1	6,74
11		24-70	7,49	1,97	0,7	0,54	10,7	6,54
12		70-110	5,74	2,14	0,43	0,28	8,59	5,01

De acuerdo a los valores de las bases intercambiables presentes en el cuadro 29, se puede mencionar que en términos generales la relación del contenido de las bases en los diferentes lotes es la siguiente:

$$Ca > Mg > Na > K$$

Adicionalmente, se puede agregar que el calcio varía de 16.72 Cmol⁽⁺⁾/Kg a 5.74 Cmol⁽⁺⁾/Kg, el magnesio de 22.2 Cmol⁽⁺⁾/Kg a 1.97 Cmol⁽⁺⁾/Kg, el sodio de 10.43 Cmol⁽⁺⁾/Kg a 0.43 Cmol⁽⁺⁾/Kg y el potasio de 2.87 Cmol⁽⁺⁾/Kg a 0.28 Cmol⁽⁺⁾/Kg. Los contenidos más altos de calcio se encontraron en las partes superficiales del suelo y disminuyeron a medida que se incrementó la profundidad, para el caso del magnesio y el sodio no se encontró una relación en cuanto al contenido y a la profundidad de cada estrato, mientras que el contenido de potasio varía en la misma relación que el calcio.

3.2.5 CONCLUSIONES

- A. Por medio del método del hidrómetro de Bouyoucos se determinaron los porcentajes de arena, limo y arcilla para 12 muestras de suelos. Los contenidos de arcilla variaron de 5.50 % a 26.5 %; el limo vario de 28.27 % a 45.07 % y la arena de 28.43 % a 66.23%.

- B. Las características químicas de los suelos determinados fueron pH, C.E, bases intercambiables y materia orgánica. Los valores de pH oscilaron entre 6.6 a 8.9; para la conductividad eléctrica se encontraron valores de 0.19 dS/cm a 2.7 dS/cm; la materia orgánica oscilo dentro de 0.10 % a 3.99 %.

3.3 REALIZACION DE ANALISIS VEGETAL EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA “SALVADOR CASTILLO” DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, USAC, GUATEMALA.

3.3.1 OBJETIVOS

3.3.1.1 General

- A. Brindar apoyo al Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” para la determinación de análisis foliares a diferentes muestras del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

3.3.1.2 Específicos

- A. Determinar en muestras vegetales las concentraciones de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S).
- B. Determinar en muestras vegetales las concentraciones de Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Boro (B).

3.3.2 METODOLOGÍA

3.3.2.1 Determinación de elementos totales

Las muestras antes de ser analizadas deben de seguir el siguiente proceso de preparación:

- Lavado: las muestras se lavan con agua para eliminar residuos de posibles plaguicidas o partículas finas de suelo.
- Secado: tiene como propósito impedir que continúe el proceso metabólico y se realiza introduciendo la muestra en un horno de convección forzada a 60 °C durante 24 horas.
- Molienda: la muestra seca se hace pasar por un molino de acero inoxidable el cual contiene un tamiz de 60 mesh.
- Almacenamiento: se almacenó en bolsas de polietileno bien identificadas; Combustión, la muestra se sometió a una mineralización (destrucción de la materia orgánica), con el fin de dejar el elemento en condiciones adecuadas para su determinación. Esta mineralización se hizo utilizando calor más oxígeno, utilizando un horno a alta temperatura a 550 °C durante 4 horas.

El procedimiento para la recuperación de los minerales fue el siguiente:

- Se agregaron 25.0 ml de la solución de ácido clorhídrico (HCl) [1N] y luego se filtró.
- Para la determinación de Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K), se realizó una dilución previa de 2.0 ml del extracto inicial más 8.0 ml de agua, tomando esta como dilución "A". Se tomaron de la dilución "A" 1.0 ml y se agregaron 24.0 ml de agua para la determinación de Potasio (K) y 1.0 ml más 24.0 ml de la solución de lantano para la determinación de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) (dilución "B").
- La determinación de Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y el Sodio (Na) se realizó en el extracto inicial.
- El método utilizado para la determinación de los elementos fue por espectrofotómetro de absorción atómica.

- Para la determinación de fósforo (P) se preparó una solución de molibdato de amonio y se agregaron 0.5 g de ácido ascórbico aforando a volumen de un litro con agua (solución de color).
- Se realizaron diluciones a partir del extracto inicial de 1.0 ml de solución y 9.0 ml de agua y se agregó 10.0 ml de la solución de color. Se dejó en reposo por media hora y se determinó el elemento en el colorímetro a una longitud de onda de 880 nanómetros.

3.3.3 RESULTADOS

Los resultados de los análisis de tejido vegetal determinados en el laboratorio “Salvador Castillo” del cultivo de caña de azúcar se detallan a continuación en los cuadros 30 y 31:

Cuadro 30: Contenido de macronutrientes (%) en muestras vegetales de caña de azúcar.

IDENTIFICACION	%					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Rangos aceptables	2-2.6	0.18-0.3	1.1-1.8	0.2-0.5	0.1-0.35	0.14-0.2
M-1	1.97	0.21	0.94	0.38	0.18	0.09
M-2	1.86	0.21	0.56	0.19	0.15	0.06
M-3	2.08	0.23	0.69	0.19	0.15	0.06
M-4	2.16	0.22	0.50	0.25	0.15	0.08
M-5	1.92	0.23	0.31	0.13	0.14	0.07
M-6	1.93	0.25	0.88	0.19	0.16	0.08
M-7	1.87	0.21	0.94	0.19	0.11	0.10
M-8	1.96	0.25	0.44	0.19	0.16	0.08
M-9	1.73	0.21	0.88	0.13	0.09	0.07
M-10	1.98	0.24	0.81	0.13	0.10	0.08
M-11	1.90	0.23	0.75	0.19	0.14	0.11
M-12	2.16	0.23	1.31	0.13	0.13	0.10

Cuadro 31: Contenido de micronutrientes y Na (mg/Kg de materia seca) en muestras vegetales de caña de azúcar.

IDENTIFICACION	Ppm					
	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	B
Rangos aceptables	-----	6-25	20-200	76-300	100-1000	10-50
M-1	135	5	15	215	25	6.8
M-2	105	2	15	130	30	14.4
M-3	135	5	10	180	20	18.2
M-4	125	5	10	110	15	10.3
M-5	140	2	10	100	25	4.8
M-6	110	2	15	120	30	8.8
M-7	105	2	15	115	20	10.9
M-8	135	2	10	120	25	14.5
M-9	85	2	25	105	35	9.7
M-10	90	5	10	95	15	9.0
M-11	105	5	15	145	25	8.0
M-12	80	5	15	115	20	8.4

Cada cultivo que se analiza por medio del tejido vegetal cuenta con sus rangos de suficiencia (Mills & Jones, 1996). Para el caso del cultivo de caña de azúcar tomando como referencia los rangos propuestos por el laboratorio "Salvador Castillo" se puede mencionar lo siguiente para los macronutrientes: el N para las muestras M-3, M-4 y M-12 su concentración se encuentra adecuada dentro de la planta; el contenido de P en todas las muestras se encuentra de forma adecuada; El potasio solo se encuentra en un rango adecuado para la muestra M-12; El Ca solo se encuentra en el rango adecuado para las muestras M-1 y M-4; El Mg se encuentra de manera adecuada para todas las muestras; y el contenido de S para todas la muestras se encuentra deficiente a nivel de planta.

Para el caso de los contenidos de micronutrientes se puede mencionar lo siguiente: el Cu para todas las muestras analizadas su concentración en el tejido vegetal se encuentra de forma deficiente; El contenido de Zn solo en la muestra M-9 se encuentra de forma adecuada; El Fe en todas las muestras analizadas su concentración se encuentra de forma adecuada; El Mn se encuentra deficiente en todas las muestras analizadas; El B solo en las muestras M-2, M-3, M-4, M-7 y M-8 su concentración es adecuada.

3.3.4 CONCLUSIONES

1. Los análisis de tejido vegetal realizados a diferentes muestras del cultivo de caña de azúcar indicaron para la mayoría de casos existen deficiencias de N, K, Ca y S.
2. Para el caso de su contenido de micronutrientes, el Cu, Zn, Mn y el B su concentración en la planta se encuentra de manera deficiente.

3.3.5 RECOMENDACIONES

1. Realizar aplicaciones de los elementos que se encuentren debajo de los rangos adecuados de suficiencia, de acuerdo a las concentraciones presentes en cada muestra de tejido vegetal.

3.4 CAPACITACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS A PRODUCTORES DE LA FINCA “EL TRIUNFO”, MUNICIPIO DE CHAMPERICO DEL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU.

3.4.1 OBJETIVOS

3.4.1.1 General

- A. Capacitar sobre el tema de muestreo de suelos a productores de la Finca “El Triunfo”, ubicada en el municipio de Champerico, Retalhuleu, como parte del apoyo que brinda el Laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo”.

3.4.1.2 Específicos

- A. Capacitar sobre el tema del muestreo de suelos a productores de municipio de Champerico, Retalhuleu.

- B. Realizar el muestreo de suelo en la finca “El Triunfo”

3.4.2 METODOLOGÍA

La actividad se desarrolló con la finalidad promover los servicios que realiza el Laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo”.

El objetivo principal fue capacitar a un grupo productores que se dedicaban a la producción de diferentes de cultivos (mango, tomate, maíz, frijol) dentro de la finca y que tenían la necesidad de adquirir nuevas tecnologías para poder aumentar sus rendimientos, de acuerdo a esas necesidades, se planifico la capacitación sobre el tema de muestreo de suelos.

La actividad se realizó en dos fases, las cuales se detallan a continuación:

3.4.2.1 Fase (I) explicación sobre la técnica de muestreo de suelos

Esta fase se llevó acabo con el apoyo del líder de la finca y un coordinador del Programa Nacional de Resarcimiento (PNR); fueron las personas encargadas de planificar, reunir a los productores, proporcionar los materiales y el equipo con el cual se desarrolló la actividad. La explicación del muestreo se llevó a cabo de acuerdo al siguiente programa presente en el cuadro 32:

Cuadro 32: Temas impartidos en la capacitación de muestreo de suelo.

Tema	Tiempo (min)
Presentación	5
Importancia del muestreo de suelos	10
Materiales utilizados en el muestreo de suelo	5
Tipos de muestro	10
Épocas de muestreo de suelos	5

3.4.2.2 Fase (II) realización de muestreo de suelos

Posteriormente a realizar la explicación del muestro de suelos, se llevó a cabo la realización del mismo con el grupo de productores. Primero se recorrió toda la finca y luego se muestro cada parcela de importancia; en cada sitio se extrajeron 10 muestras simples con las que se formó una muestra compuesta, que fue la que se envió a laboratorio para su respectivo análisis. Las muestras colectadas fueron almacenadas en bolsas plásticas y codificadas de acuerdo al sitio de muestreo y a la profundidad realizada.

3.4.3 RESULTADOS

La capacitación consistió en el aporte de conocimientos a los productores de la finca “El Triunfo” sobre el tema de muestreo de suelos. En la actividad se logró capacitar al 100% de personas que se tenían reportadas; la cual se llevó a cabo durante el mes de mayo del 2014.



Figura 23: Capacitación a los productores de la finca “El Triunfo”. a) Registro de asistencia de productores. b) Presentación de productores de la finca.

Posteriormente, se realizó la actividad de campo que consistió en recorrer las zonas producción de la finca y realizar el muestreo de suelo en diferentes puntos de importancia. En la actividad de campo se enseñó que una muestra tiene que ser representativa del lugar de estudio en cuanto a extensión y en cuanto a profundidad, debido a que este último factor depende del tipo de cultivo que se desea establecer y la cantidad de nutrientes que se encuentren dentro del suelo. También, se les explico la importancia de recolectar la mayoría de datos del lugar debido a que estos ayudan al momento de realizar recomendaciones en cuanto al tema de fertilizaciones (fuentes y dosis).



Figura 24: Realización de muestreos de suelos en la finca “El Triunfo”. a) zona de producción de mango. b) recorrido de zonas de producción. c) Materiales y equipo utilizados en el muestro de suelos. d) muestreo de suelos en el cultivo de mango (*Mangifera indica* L.).

3.4.4 CONCLUSIONES

1. Se logró capacitar a un grupo de productores de la finca “El Triunfo” del departamento de Champerico, Retalhuleu, sobre el tema de muestreo de suelos. La capacitación tuvo como objetivo que los productores adquirieran conocimientos sobre el tema de muestro de suelos, dándole importancia a que de esta muestra depende los resultados que se obtengan para poder realizar una buena interpretación y por ende una buena recomendación.
2. El muestro de suelos se llevó acabo para las distintas zonas de producción de la finca “El triunfo” dándole mayor importancia a los cultivo como mango, tomate, maíz y frijol debido que estos son los que producen en mayor proporción dentro de la finca.

3.5 BIBLIOGRAFIA

1. Jackson, M. (1964). *Análisis químico de suelos*. Barcelona, España: Omega.
2. Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín, Colombia : Universidad Nacional de Colombia .
3. Mills, H. A., & Jones, J. B. (1996). *Plant analysis*. Georgia, Estados Unidos: Micro-Macro Publishing.
4. Porta Casanellas, J., López Acevedo, M., & Roquero De Laburu, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid, España: Mundi-Prensa.



Polando Barrera