

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS DE LA MATERIA ORGÁNICA
Y SU RELACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN SUELOS
ANDISOLES DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, GUATEMALA,
CENTROAMÉRICA. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL
LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA “SALVADOR CASTILLO”**

LUIS EMILIO JUÁREZ SUYÉN

GUATEMALA, JULIO DE 2015

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS DE LA MATERIA ORGÁNICA
Y SU RELACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN SUELOS
ANDISOLES DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, GUATEMALA,
CENTROAMÉRICA. 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

LUIS EMILIO JUÁREZ SUYÉN

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

EN

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

GUATEMALA, JULIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO EN FUNCIONES	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL PRIMERO	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	P. Agr. Josué Benjamín Boche López
VOCAL QUINTO	MEH Ruth Curruchich
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, julio de 2015

Guatemala, julio de 2015

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: **DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS DE LA MATERIA ORGÁNICA Y SU RELACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN SUELOS ANDISOLES DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA. 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”

LUIS EMILIO JUÁREZ SUYÉN

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios Padre de toda la creación que por su amor fuimos creados a su imagen para así adorarle de todo corazón en santidad a la espera de la gloriosa venida de su hijo Jesucristo para recibirle en el cielo con todos sus ángeles y morar con él por toda la eternidad.

A mi padre Héctor Misael Juárez Turcios por ser el mejor tutor que Dios ha enviado a mi vida, instruyéndome por el camino del bien para cumplir lo dicho en la palabra “instruye al niño en su camino y aun cuando fuere viejo no se aparte de él este libro de la vida”, Dios te bendiga viejo.

A mi madre Francisca Suyén Picón por ser el motor de mi vida y que por tus grandes sacrificios conjuntamente con tu humildad me sacaste adelante desde niño para ser lo que ahora soy. Quiero ser el ramo de rosas más lindo para tu vida.

A mis hermanos Brenda Mercedes, Héctor Vinicio y, Lesly Marilí por darme tantas alegrías a lo largo de mi vida, los amo con todo mi corazón y quiero ser ejemplo para sus vidas.

Mis abuelas Aldegunda Picón Morales (Q.E.D.) en este logro ya no me acompañaste, te me fuiste pero te llevaré en mi corazón hasta que nos volvamos a encontrar, y Guillerma Turcios Reyes, por representar el amor de Dios para conmigo aquí en la tierra.

Mis abuelos Emilio Eduardo Juárez Sánchez (Q.E.D.), porque si pudiese haber elegido hubiera querido ser tu regalo, y solo de pensar en

ti mis ojos se llenan de lágrimas, y Antonio Suyén Reyes, gracias por ser un hombre temeroso de Dios y enseñarme la disciplina todos los domingos en la casa del Señor.

Familia Suyén

Locón

Independientemente de todo lo vívido los llevo muy adentro de mi corazón con mucho cariño, gracias por sus correcciones, consejos, apoyo moral y económico, alegrías y tantas penas causadas por mi persona.

A mi tío

Héctor Antonio Suyén Picón (Q.E.D.), por todos los buenos momentos que pase junto a tu lado, por ser la persona más sabia que pude tener en mis noches de desvelo. Extraño tu sonrisa, te quiero decir que lloré amargamente cuando me enteré.

Demás familia

Tíos: Manuel Roberto Juárez Turcios, Guadalupe Suyén Reyes, Jorge Luis García Salazar. Tías: Ruth Chón, Julia Nineth Suyén, Marta Lilian Lux Sandoval. Mis primos y primas: Edwin Arnulfo Suyén, Luis Renato y Nineth García Suyén, Marcely, Keily y Manuel Juárez Lux, gracias por estar siempre a mi lado y mostrarme su cariño todo este largo tiempo.

A mis amigos

Con un afecto especial a Imelda Dubón Vargas y Familia Sierra Dubón, Alexander Emanuel, Walter Berny y Familia González Ramírez gracias por su apoyo incondicional y cariño. Compañeros y amigos de la primaria, básico, diversificado y de la universidad a todos ellos gracias por su amistad brindada.

Subárea de Ciencias

Químicas

Elizabeth Gutiérrez, Gustavo Jacinto, Lic. Romeo Pérez, Ing. Agr. Pedro Armira, Lic. Enrique Flores, Lic. Jorge Solís, Ing. Agr. Ricardo Catalán, Ing. Agr. Kelder Ortiz, Lic. Julio Chinchilla, y Fredy Yucuté.

**Laboratorio de Suelo, Planta
y Agua “Salvador Castillo”**

Dr. Anibal Sacbajá Galindo, Ing. Agr. Celena Carías Sánchez,
Ing. Agr. Norvin Ariel Ramos, Ranferí Ampudia, Romael Alfaro
Ortiz, Genaro “Nayito”.

Ing. Agr. Rolando Aragón del IIA y CEDIA por su ayuda a lo largo de toda la carrera.

Personal administrativo y de campo de la Facultad de Agronomía por su ayuda y amistad
brindada.

Todos los compañeros estudiantes de la Facultad de Agronomía con los que tuve la
oportunidad de compartir una clase de estudios.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

Dios

Por darme sabiduría y entendimiento en la culminación de este documento, ya que sin él no somos nada.

Guatemala

Tierra bendita forjadora de hombres soñadores con hambre de lucha, tierra hermosa del quetzal, de la marimba, el tun y la chirimía, dame la oportunidad de llevar el pan de cada día a mi hogar.

**Escuela Nacional Central de
Agricultura - ENCA -**

Excelentísima Alma Mater, forjadora de disciplina que me enseñaste haciendo. Gracias por ayudarme en mi vida profesional.

**Universidad de San Carlos de
Guatemala**

Magna casa de estudios, gracias por prepararme profesionalmente y por tus enseñanzas.

Facultad de Agronomía

Que con la asesoría de tus excelentísimos profesionales ayudaste a la realización del presente documento. Gracias por los conocimientos brindados en mi educación superior.

AGRADECIMIENTOS

A:

Mi asesor Dr. Tomás Padilla Cámara, por todo el apoyo brindado en la realización de este documento de graduación y por sus valiosas sugerencias.

Mi asesor Dr. Aníbal Sacbajá Galindo, por el tiempo dedicado a la revisión de este documento, y por las sugerencias y correcciones en el planteamiento de la investigación y el desarrollo de la misma y en la presentación de los resultados. Además, una gran admiración con mucho respeto como profesional y como persona.

Ing. Agr. Norvin Ariel Ramos e Ing. Agr. Celena Carías Sánchez, por su total apoyo, consejos y enseñanzas brindadas en todo este tiempo de convivencia.

Romael Alfaro Ortiz, Ranferí Ampudia y Genaro “Nayito” por las alegrías y enojos en horas y horas de amistad y trabajo.

Gustavo Jacinto Rodas por ser mi amigo, y estar al pendiente en mis momentos de agonía y por todos sus consejos. ¡Gracias viejito!

Subárea de Ciencias Químicas y Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” por darme la oportunidad de desempeñarme como profesional y prepararme para la vida.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE CUADROS	vi
RESUMEN	xi
CAPÍTULO I	1
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA COMERCIALIZACIÓN DENTRO DEL TERRITORIO GUATEMALTECO DE PRODUCTOS QUÍMICOS QUE EN SUS FORMULACIONES INCLUYAN SUSTANCIAS HÚMICAS (ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS)	1
1.1. PRESENTACIÓN	2
1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA	4
1.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y DIVISIÓN POLÍTICA.....	4
1.2.2. DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA.....	4
1.2.3. DESCRIPCIÓN BIOFÍSICA.....	5
1.2.4. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS.....	9
1.3. OBJETIVOS	12
1.3.1. GENERAL.....	12
1.3.2. ESPECÍFICOS.....	12
1.4. METODOLOGÍA	13
1.4.1. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	13
1.4.2. FASE DE GABINETE.....	14
1.5. RESULTADOS	15
1.5.1. EMPRESAS REGISTRADAS EN LA UNIDAD DE NORMAS Y REGULACIONES (UNR) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN (MAGA).....	15
1.5.2. EMPRESAS CON REGISTRO DE LA UNIDAD DE NORMAS Y REGULACIONES (UNR) QUE INCLUYEN SUSTANCIAS HÚMICAS (AH, AF, Hu) EN LOS FERTILIZANTES.....	19

1.5.3. PRINCIPALES PRODUCTOS DE FERTILIZANTES Y CONCENTRACIONES QUE INCLUYEN EN SU FORMULACIÓN SUSTANCIAS HÚMICAS.....	20
1.6. CONCLUSIONES	23
1.7. RECOMENDACIONES.....	24
1.8. BIBLIOGRAFÍA	25
1.9. ANEXOS.....	27
CAPÍTULO II.....	29
EVALUACIÓN DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS DE LA MATERIA ORGÁNICA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN SUELOS ANDISOLES DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA	29
2.1. PRESENTACIÓN	30
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	31
2.2.1. DEFINICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA	31
2.2.2. IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA	32
2.2.3. COMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA	33
2.2.4. DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA.....	35
2.2.5. RELACIÓN C/N.....	35
2.2.6. MINERALIZACIÓN.....	36
2.2.7. HUMIFICACIÓN	40
2.2.8. SUELOS ANDISOLES	45
2.3. MARCO REFERENCIAL.....	47
2.3.1. LOCALIZACIÓN, EXTENSIÓN Y LÍMITES	47
2.3.2. DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA.....	47
2.3.3. GEOLOGÍA	48
2.3.4. CLIMA	49
2.3.5. HIDROGRAFÍA	50
2.3.6. USO DE LA TIERRA	51

	Página
2.4. ANTECEDENTES	52
2.5. OBJETIVOS	54
2.5.1. GENERAL.....	54
2.5.2. ESPECÍFICOS.....	54
2.6. HIPÓTESIS	55
2.7. METODOLOGÍA	56
2.7.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	56
2.7.2. VARIABLES RESPUESTA Y SIMBOLOGÍA	57
2.7.3. ANÁLISIS QUÍMICO	58
2.7.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	58
2.8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
2.8.1. PUNTOS DE MUESTREO UBICADOS EN LAS CLASES DE TIERRAS SEGÚN LA CAPACIDAD DE USO Y USO ACTUAL.....	62
2.8.2. PROPIEDADES QUÍMICAS EN ESTUDIO	65
2.8.3. PROPIEDADES FÍSICAS EN ESTUDIO	67
2.8.4. SUSTANCIAS HÚMICAS DE LOS SUELOS ANDISOLES	69
2.8.5. CORRELACIÓN DE LOS COLOIDES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS SOBRE LA CIC EN SUELOS AGRÍCOLAS Y FORESTALES DEL ORDEN ANDISOL	72
2.8.6. REGRESIÓN Y CORRELACIÓN DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS Y MATERIA ORGÁNICA	74
2.9. CONCLUSIONES	77
2.10. RECOMENDACIONES	78
2.11. BIBLIOGRAFÍA	79
2.12. ANEXOS	82
 CAPÍTULO III.	 86
SERVICIOS PROFESIONALES REALIZADOS	86
3.1. PRESENTACIÓN	87
3.2. APOYO A LOS ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL LABORATORIO	

DE SUELO, PLANTA Y AGUA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, USAC, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA.	89
3.2.2. MARCO REFERENCIAL	94
3.2.3. OBJETIVOS	95
3.2.4. METODOLOGÍA.....	96
3.2.5. RESULTADOS	100
3.2.6. CONCLUSIONES.....	106
3.2.7. RECOMENDACIONES	107
3.3.IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EXTRAÍBLE TOTAL (CET), CARBONO (C) DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, USAC, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA.....	108
3.3.1. MARCO CONCEPTUAL.....	108
3.3.2. MARCO REFRENCIAL	109
3.3.3. OBJETIVOS	110
3.3.4. METODOLOGÍA.....	111
3.3.5. RESULTADOS	116
3.3.6. CONCLUSIONES.....	118
3.3.7. RECOMENDACIONES	119
3.4.CAPACITACIÓN A LOS AGRICULTORES DEL MUNICIPIO DE SAN RAYMUNDO, GUATEMALA EN TÉCNICAS DE MUESTREOS DE SUELOS E INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS QUÍMICOS EN LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, USAC, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA.....	120
3.4.1. OBJETIVOS	120
3.4.2. METODOLOGÍA.....	121
3.4.3. RESULTADOS	122
3.4.4. CONCLUSIONES.....	125
3.5.BIBLIOGRAFÍA	126
3.6.ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.1.	Número de empresas segmentadas por actividad económica, en la república de Guatemala.	10
Figura 1.2.	Porcentaje de la población ocupada por actividad económica, en la república de Guatemala.	11
Figura 1.3.	Situación legal de empresas en la Unidad de Normas y Regulaciones (UNR) para la comercialización de agroquímicos en Guatemala.....	15
Figura 1.4A.	Mapa fisiográfico-geomorfológico de la república de Guatemala.....	27
Figura 1.5A.	Mapa geológico de la república de Guatemala.	28
Figura 2.6.	Ubicación de los puntos de muestreo de los suelos del orden Andisol en el departamento de Chimaltenango.	61
Figura 2.7.	Ubicación de los puntos de muestreo de los suelos del orden Andisol, considerando la capacidad de uso, en el departamento de Chimaltenango.	63
Figura 2.8.	Porcentaje de los puntos de muestreo de suelos según su capacidad de uso y uso actual.	64
Figura 2.9A.	Esquema de la extracción de sustancias húmicas del suelo.	82
Figura 2.10A.	Estructura de la molécula del ácido fúlvico y productos de desintegración de los ácidos fúlvicos naturales.	82
Figura 2.11A.	Estructura de la molécula del ácido húmico y productos de desintegración de los ácidos húmicos naturales.	83
Figura 2.12A.	Composición del humus de acuerdo a la vegetación.	84
Figura 3.13.	Esquema del fraccionamiento de la MO y el humus en AH y AF.....	108
Figura 3.14 A.	Resultados de los análisis químicos de suelos de 12 muestras procedentes de la finca Biotopón, Purulhá, Baja Verapaz a dos diferentes profundidades, parte I.....	127
Figura 3.15 A.	Resultados de los análisis químicos de suelos de 12 muestras procedentes de la finca Biotopón, Purulhá, Baja Verapaz a dos diferentes profundidades, parte II.....	127

	Página
Figura 3.16 A. Resultados de los análisis físicos de suelos de 12 muestras procedentes de la finca Biotopón, Purulhá, Baja Verapaz a dos diferentes profundidades.	128
Figura 3.17 A. Resultados de los análisis químicos de suelos de 4 muestras procedentes de la finca Bello Amanecer, Tukurú, Alta Verapaz a dos diferentes profundidades, parte I.	128
Figura 3.18 A. Resultados de los análisis químicos de suelos de 4 muestras procedentes de la finca Bello Amanecer, Tukurú, Alta Verapaz a dos diferentes profundidades, parte II.	129
Figura 3.19 A. Resultados de los análisis físicos de suelos de 4 muestras procedentes de la finca Bello Amanecer, Tukurú, Alta Verapaz a dos diferentes profundidades.	129
Figura 3.20 A. Resultados de los análisis químicos de suelos de 9 muestras procedentes de la finca Tesucún, Cobán, Alta Verapaz a dos diferentes profundidades, parte I.	130
Figura 3.21 A. Resultados de los análisis químicos de suelos de 9 muestras procedentes de la finca Tesucún, Cobán, Alta Verapaz a dos diferentes profundidades, parte II.	130
Figura 3.21 A. Resultados de los análisis físicos de suelos de 9 muestras procedentes de la finca Tesucún, Cobán, Alta Verapaz a dos diferentes profundidades.	131

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1.1. Series de clasificación de la república de Guatemala.	6
Cuadro 1.2. Empresas, importadoras, formuladoras y comercializadoras de fertilizantes con registro vigente de la UNR del MAGA.	16
Cuadro 1.3. Listado de empresas que comercializan fertilizantes con sustancias húmicas que cuentan con registro vigente de la UNR del MAGA.	19

	Página
Cuadro 1.4. Fertilizantes químicos y/o orgánicos a base de sustancias húmicas con sus concentraciones que cuentan con un registro vigente por parte de la UNR del MAGA.	20
Cuadro 2.5. Clasificación de la materia orgánica (MO) y carbono orgánico (CO) de los suelos en general.	31
Cuadro 2.6. Zonas de vida (sistema Holdridge) del departamento de Chimaltenango.	50
Cuadro 2.7. Metodologías utilizadas para la determinación de las diferentes variables respuestas.	57
Cuadro 2.8. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo clasificados como suelos Andisoles en el departamento de Chimaltenango.	60
Cuadro 2.9. Ubicación de los puntos de muestreo en las clases de capacidad de uso y uso actual de las tierras definidas en el departamento de Chimaltenango.	62
Cuadro 2.10. Resultados de las propiedades químicas % M.O, % CO, % CET, % CAH, % CAF, pH y CIC de los 27 suelos analizados provenientes del departamento de Chimaltenango.	65
Cuadro 2.11. Resultados de % de arcilla, % de limo y % RH a 33 (kPa) de los suelos evaluados provenientes del departamento de Chimaltenango.	67
Cuadro 2.12. Resultados del % CET, % CAH, % CAF y GP (AH/AF) de los suelos agrícolas del orden Andisol del departamento de Chimaltenango en base al uso actual.	69
Cuadro 2.13. Sustancias húmicas de los suelos forestales del orden Andisol del departamento de Chimaltenango en base al uso actual.	70
Cuadro 2.14. Parámetros de humificación de las sustancias húmicas de los suelos Andisoles del departamento de Chimaltenango según su uso actual.	71
Cuadro 2.15. Correlación de Pearson para la CIC al asociarlas con variables como % MO, % CET, % CAH, % CAF, pH, arcilla + limo, y retención de humedad a 33 (kPa) en suelos Andisoles de uso agrícola en el departamento de Chimaltenango.	72

	Página
Cuadro 2.16. Correlación de Pearson para la CIC al asociarlas con variables como % MO, % CET, % CAH, % CAF, pH, arcilla + limo, y retención de humedad a 33 (kPa) en suelos Andisoles de uso forestal en el departamento Chimaltenango.....	73
Cuadro 2.17. Correlación de Pearson para la retención de humedad a 33 (kPa) al asociarlas con el % MO, y arcilla + limo en suelos agrícolas y forestales del orden Andisol.....	73
Cuadro 2.18. Correlaciones de Pearson para los ácidos húmicos y % CAF, % CET, % MO de los suelos Andisoles de uso agrícola y forestal.....	74
Cuadro 2.19. Resultados de análisis de regresión para el % CAH y el % MO de los suelos agrícolas.....	75
Cuadro 2.20. Correlaciones de Pearson para los ácidos fúlvicos y % CAH, % CET, % MO de los suelos Andisoles de uso agrícola y forestal.....	75
Cuadro 2.21A. Propiedades generales de las sustancias húmicas.	83
Cuadro 2.22A. Clasificación y propiedades de los ácidos húmicos según Scheffer y Ulrich (1975) citados por Fassbender (1994).....	84
Cuadro 2.23A. Resultados de análisis de regresión para el % CAH y el % MO de los suelos forestales.....	85
Cuadro 2.24A. Resultados de análisis de regresión para el % CAF y el % MO de los suelos agrícolas.....	85
Cuadro 2.25A. Resultados de análisis de regresión para el % CAF y el % MO de los suelos forestales.....	85
Cuadro 3.26. Análisis químicos y físicos realizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC y metodologías empleadas.....	89
Cuadro 3.27. Clasificación de las partículas del suelo según los sistemas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y de la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo.....	92
Cuadro 3.28. Datos de pH, materia orgánica, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos de la finca Bello Amanecer, Tucurú, Alta Verapaz.....	100

	Página
Cuadro 3.29. Datos de arcilla, limo, y arena de las muestras de suelo procedentes de la finca Bello Amancer, Tukurú, Alta Verapaz.	100
Cuadro 3.30. Datos de pH, materia orgánica, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos de la finca Tesucún, Cobán, Alta Verapaz.....	101
Cuadro 3.31. Datos de arcilla, limo, y arena de las muestras de suelo procedentes de la finca Tesucún, Cobán, Alta Verapaz.	101
Cuadro 3.32. Datos de pH, materia orgánica, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos de la finca Biotopón, Purulhá, Baja Verapaz.....	102
Cuadro 3.33. Datos de arcilla, limo, y arena de las muestras de suelo procedentes de la finca Biotopón, Purulhá, Baja Verapaz.....	103
Cuadro 3.34. Datos de pH, conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio y clasificación del agua método USDA, procedencias de las muestras. .	104
Cuadro 3.35. Elementos totales en porcentajes (%) y partes por millón (ppm) de los análisis de tejido vegetal de diferentes cultivos.	105
Cuadro 3.36. Análisis de la materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), ácidos húmicos (AH), y ácidos fúlvicos (AF) de suelos forestales de Ixchiguán, San Marcos a una profundidad de 0.00 – 0.15 m.	116
Cuadro 3.37. Correlaciones de la materia orgánica (MO), carbono extraíble total (CET), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), y el porcentaje de arcilla sobre la CIC de los suelos de Ixchiguán, San Marcos a la profundidad de 0.00 – 0.15 m.	117
Cuadro 3.38. Resultados de los análisis químicos de los suelos procedentes de las diferentes comunidades de San Raymundo, Guatemala, parte I.	122
Cuadro 3.39. Resultados de los análisis químicos de los suelos procedentes de las diferentes comunidades de San Raymundo, Guatemala, parte II.	123
Cuadro 3.40. Resultados de las muestras de agua de las comunidades de San Raymundo, Guatemala, parte I.....	124

Página

Cuadro 3.41. Resultados de las muestras de agua de las comunidades de San Raymundo, Guatemala, parte II.	124
--	-----

TRABAJO DE GRADUACIÓN

DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS DE LA MATERIA ORGÁNICA Y SU RELACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN SUELOS ANDISOLES DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA. 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 2013. 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), materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt), macro y micro elementos disponibles, y propiedades físicas como la retención de humedad a 33 y 1,500 (kPa), textura, y la densidad aparente de los suelos. Además, se realizan análisis de tejido vegetal, de aguas con fines agrícolas, y análisis de fertilizantes.

Se realizó el diagnóstico de la situación actual de la comercialización, dentro del territorio, de productos químicos que incluyen en sus formulaciones sustancias húmicas como ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), y huminas (Hu). Producto del diagnóstico se identificó que existen un total de 976 empresas con registro de la Unidad de Normas y Regulaciones (UNR) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, y Alimentación (MAGA), de las cuales 92 se dedican a la exportación, importación, y a la formulación de fertilizantes químicos y orgánicos, operando dentro del territorio guatemalteco. El 1.74 % se dedican a la comercialización de fertilizantes que en sus formulaciones contengan sustancias húmicas (SH).

Se realizó la investigación de la determinación de ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) de la materia orgánica (MO) y su relación sobre las propiedades físicas y químicas en suelos Andisoles del departamento de Chimaltenango, Guatemala. El objetivo fue fraccionar la materia orgánica (MO) de 27 suelos del orden Andisol ubicados en áreas agrícolas y forestales, según su capacidad de uso y uso actual, y correlacionar sus propiedades químicas como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el potencial de hidrógeno (pH) y físicas como la retención de humedad a 33 (kPa) y el contenido de arcilla + limo, para definir la influencia de las diferentes variables sobre la CIC, en áreas agrícolas y forestales. Se concluyó que en los suelos del orden Andisol del departamento de Chimaltenango la CIC está influenciada en gran medida por el contenido de arcilla + limo. Comportamiento similar se encontró para la retención de humedad a 33 (kPa), donde el porcentaje de arcilla + limo es más influyente que el contenido de los ácidos húmicos (AH) y los ácidos fúlvicos (AF).

Los servicios realizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” fueron: 1) La implementación de la metodología para la cuantificación de carbono extraíble total (CET), y carbono (C) de los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) de la materia orgánica (MO); 2) El apoyo a los análisis químicos y físicos realizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo”, de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC), como parte de los servicios que presta el Laboratorio en favor del agro guatemalteco; 3) y La capacitación a los agricultores del municipio de San Raymundo del departamento de Guatemala, en técnicas de muestreo de suelos e interpretación de los análisis químicos realizados.

CAPÍTULO I.

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA COMERCIALIZACIÓN DENTRO DEL TERRITORIO GUATEMALTECO DE PRODUCTOS QUÍMICOS QUE EN SUS FORMULACIONES INCLUYAN SUSTANCIAS HÚMICAS (ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS).

1.1. PRESENTACIÓN

Como parte de la primera fase del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), se realizó el diagnóstico sobre la situación actual de las empresas guatemaltecas que se dedican a la comercialización de fertilizantes químicos y/o orgánicos que en sus formulaciones incluyen sustancias húmicas como ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF), para analizar la importancia que han adquirido estos por el agro guatemalteco. 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.

Cultivos como 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*), y café (*Coffea arabica*) son de gran impacto en la economía de la región debido a que los cultivos descritos anteriormente ocupan una extensión territorial del 47.97 % y generan un 38.0 % de la tasa de empleos de Guatemala (AKIANTO, 2015).

El objetivo del presente trabajo fue: 1) Dar a conocer la situación actual de la comercialización de los fertilizantes químicos y/o orgánicos, que incluyan dentro de sus formulaciones sustancias húmicas como ácidos húmicos (AH), y ácidos fúlvicos (AF); 2) Determinar el número de empresas que se dedican a la distribución de los mismos, y que cuenten con un registro vigente de la Unidad de Normas y Regulaciones (UNR) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, y Alimentación (MAGA); 3) e Indicar su modo de empleo.

El total de empresas dedicadas al comercio de agroquímicos en Guatemala son de 976. El 9.43 % de empresas se dedican a la exportación, importación, y a la formulación de fertilizantes químicos y/o orgánicos, y el 1.74 % incluyen en sus formulaciones AH y AF, y cuentan con registro vigente de la Unidad de Normas y Regulaciones (UNR) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, y Alimentación (MAGA).

1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

1.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y DIVISIÓN POLÍTICA

La república de Guatemala se encuentra localizada en la parte norte del istmo centroamericano; limita al norte y al oeste, con la república de México; al sur, con el Océano Pacífico; al este, con Belice, el Océano Atlántico y las repúblicas de Honduras y El Salvador. Está comprendida entre los paralelos 13° 44" y 18° 30" latitud norte y entre los meridianos 87° 24" y 92° 14", al oeste del meridiano de Greenwich. Su extensión territorial es de 108,889 kilómetros cuadrados. La división político administrativa, comprende 8 regiones, 22 departamentos y 331 municipios (INE, 2004).

1.2.2. DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA

1.2.2.1. Temperatura

Durante los últimos cinco años, las temperaturas máximas y mínimas absolutas registradas en la República, se han mantenido en un rango relativamente estable, registrándose temperaturas máximas promedio de 31.5 grados y mínimas promedio de 12.9 grados según datos del INE (2012).

1.2.2.2. Humedad

El nivel de humedad relativo máximo, observado durante el quinquenio analizado, se registró en 2010, cuando alcanzó 77.1 %. Por otra parte el menor nivel de humedad relativa se registró en 2009 con 74.4 % según datos del INE (2012).

1.2.2.3. Zonas de vida

De La Cruz (1982) con apoyo de los estudios realizados por L. R. Holdridge indican que para la república de Guatemala existen 14 zonas de vida. Estas son: Monte Espinoso

Subtropical (me-S), Bosque Seco Tropical (bs-T), Bosque Seco Subtropical (bs-S), Bosque Húmedo Subtropical templado (bh-S_(t)), Bosque Húmedo Subtropical cálido (bh-S_(c)), Bosque Muy Húmedo Subtropical cálido (bmh-S_(c)), Bosque Muy Húmedo Subtropical frío (bmh-S_(f)), Bosque Pluvial Subtropical (bp-S), Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T), Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB), Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical (bmh-MB), Bosque Pluvial Montano Bajo Subtropical (bp-MB), Bosque Húmedo Montano Subtropical (bh-M), Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical (bhm-M).

1.2.3. DESCRIPCIÓN BIOFÍSICA

1.2.3.1. Fisiografía

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, y Alimentación (2001) indica que 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 Lacandón, Plataforma de Yucatán, Tierras Altas Volcánicas, Pendiente Volcánica Reciente, Llanura Costera del Pacífico, Planicie Interior de Petén, Depresión de Izabal, y Depresión del Motagua.

1.2.3.2. Geología

La geología de la república de Guatemala según DIGEGR (2001) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, y Alimentación (MAGA), está dada por el tipo de roca, período, orígenes, y otras características que permitan mostrar la era en que inició la formación, la composición y la distribución en el territorio nacional. Las principales formaciones geológicas a nivel nacional son: Paleozoico, Jurásico Cretácico, Aluviones Cuaternarios, Terciario Superior Oligoceno, Paleoceno Eoceno, Pérmico, Cretácico Terciario, Cretácico, Cuaternario, Terciario, Rocas Plutónicas sin dividir, Rocas Ultrabásicas de edad desconocida, y Paleozoico.

1.2.3.3. Suelos

Simmons *et al.* (1956) indican que 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. Algunas de las principales series de la República se detallan en el cuadro 1.1.

Cuadro 1.1. Series de clasificación de la república de Guatemala.

SÍMBOLO	NOMBRE DE LA SERIE	SÍMBOLO	NOMBRE DE LA SERIE
Ab	Altombrán	Chr	Chuarrancho
Ac	Acasaguastlán	Chu	Chuctal
Ae	Alzatate	Chv	Chuvá
AF	Áreas Fragosas	Chx	Chixocol
Ah	Achiguate	Chy	Chixoy
Al	Alotenango	Ec	Eckixil
Am	Amay	Es	Escuintla
AM	Arena Playa del Mar	Fr	Fraijanes
An	Acatán	Ga	Gachó
As	Ansay	Gc	Guacalate
At	Atitlán	Gl	Guapinol
Au	Atulapa	Gn	Guatalón
Ay	Ayarza	Gp	Guapaca
Ba	Balanjuyú	Gt	Guatemala
Bb	Barberena	Gtp	Guatemala fase pendiente
Bo	Bolón	Gtq	Guatemala fase quebrada
Bu	Bucul	Gu	Güija
Ca	Calanté	Ib	Ixbobó
Cb	Cobán	Ic	Ixcanac
Cc	Comapa	In	Inca
Ce	Cunén	It	Ixtán, franco limoso
Cg	Cuyotenango	Ix	Ixtán
Ci	Civijá	Ja	Jacaltenango

Fuente: Simmons *et al.*

....continuación del cuadro 1.1

SÍMBOLO	NOMBRE DE LA SERIE	SÍMBOLO	NOMBRE DE LA SERIE
Cj	Colojate	Jg	Jigua
Cl	Camantulul	Ji	Jilotepeque
Cm	Camanchá	Jl	Jalapa

Fuente: Simmons *et al.*

1.2.3.4. Clima

Según INSIVUMEH (2015) las zonas del país han sido zonificadas en seis regiones caracterizadas mediante el sistema de clasificación Thornthwaite.

A. Las Planicies del Norte

Comprende las planicies de Petén, como también las partes altas de Huehuetenango, El Quiché, Alta Verapaz e Izabal. Las elevaciones oscilan entre los 0 – 300 msnm. La temperatura oscila entre los 20 – 30 grados centígrados y en los meses de junio a octubre las precipitaciones son intensas. La vegetación característica varía entre selva y bosque (INSIVUMEH, 2015).

B. Franja Transversal del Norte

Incluye las laderas de la sierra de los Cuchumatanes, Chamá y las Minas, también el norte de los departamentos de Huehuetenango, El Quiché, Alta Verapaz, Cuenca del Polochic. Las elevaciones oscilan entre los 300 – 1,400 msnm. La precipitación es intensa en los meses de junio a octubre y la temperatura desciende conforme aumenta la elevación. La vegetación característica es selva y bosque (INSIVUMEH, 2015).

C. Meseta y Altiplanos

Comprende la mayor parte de los departamentos de Huehuetenango, El Quiché, San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Guatemala, sectores de

Jalapa y las Verapaces. Las montañas definen mucha variabilidad con elevaciones mayores o iguales a 1,400 msnm. Por esta razón se genera una gran diversidad de microclimas. Las lluvias no son tan intensas y los registros más altos ocurren en el mes de Octubre, en esta región se registran los valores más bajos de temperatura (INSIVUMEH, 2015).

D. La Bocacosta

Región angosta que comprende los departamentos de San Marcos hasta el de Jutiapa. Se encuentra situada a las laderas de la Sierra Madre. Las elevaciones varían de 300 a 1,400 msnm. Está región alcanza los puntos más altos de precipitación y la temperatura desciende conforme se desciende al litoral del Pacífico. La vegetación característica es selva (INSIVUMEH, 2015).

E. Planicie Costera del Pacífico

Esta región se extiende igual que la región de la bocacosta del departamento de San Marcos al de Jutiapa con variación de la altura que oscila entre los 0 a 300 msnm. Las lluvias tienden a disminuir conforme se llega al litoral marítimo mientras que la temperatura aumenta y sus valores son altos. La vegetación existente varía de bosques a pastizales (INSIVUMEH, 2015).

F. Zona Oriental

Comprende la mayor parte del departamento de Zacapa, El Progreso, Jalapa, Jutiapa, y Chiquimula. El factor condicionante de esta región es la sombra pluviométrica que ejercen las sierras de Chuacús y de las Minas. Las elevaciones oscilan entre los 0 – 1,400 msnm. La precipitación es deficiente y los valores de temperatura son altos. La vegetación característica son pastizales (INSIVUMEH, 2015).

1.2.3.5. Cultivos

Según el estudio realizado por AKIANTO (2015) 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*), y café (*Coffea arabica*).

1.2.4. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

1.2.4.1. Social

Según el Instituto Nacional de Estadística (2012) las proyecciones para la población de la república de Guatemala fueron de 15, 073,375 personas. Esto indica que la población tuvo un crecimiento del 2.44 % entre los años 2011 y 2012. Del total de la población el 48.80 % son hombres y el 51.20 % son mujeres. A nivel nacional el porcentaje la población que se identifica como indígena es del 40.0 %.

1.2.4.2. 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 1.1 detalla el número de empresas sectorizadas por actividad económica y las principales son el comercio y las actividades inmobiliarias (INE, 2012).

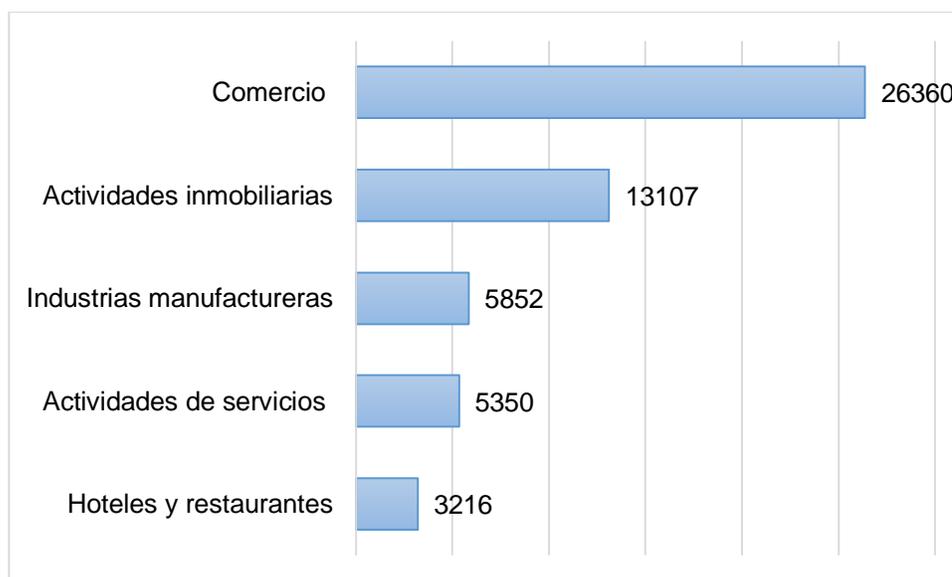


Figura 1.1. Número de empresas segmentadas por actividad económica, en la república de Guatemala.

Fuente: INE, 2012.

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 1.2.

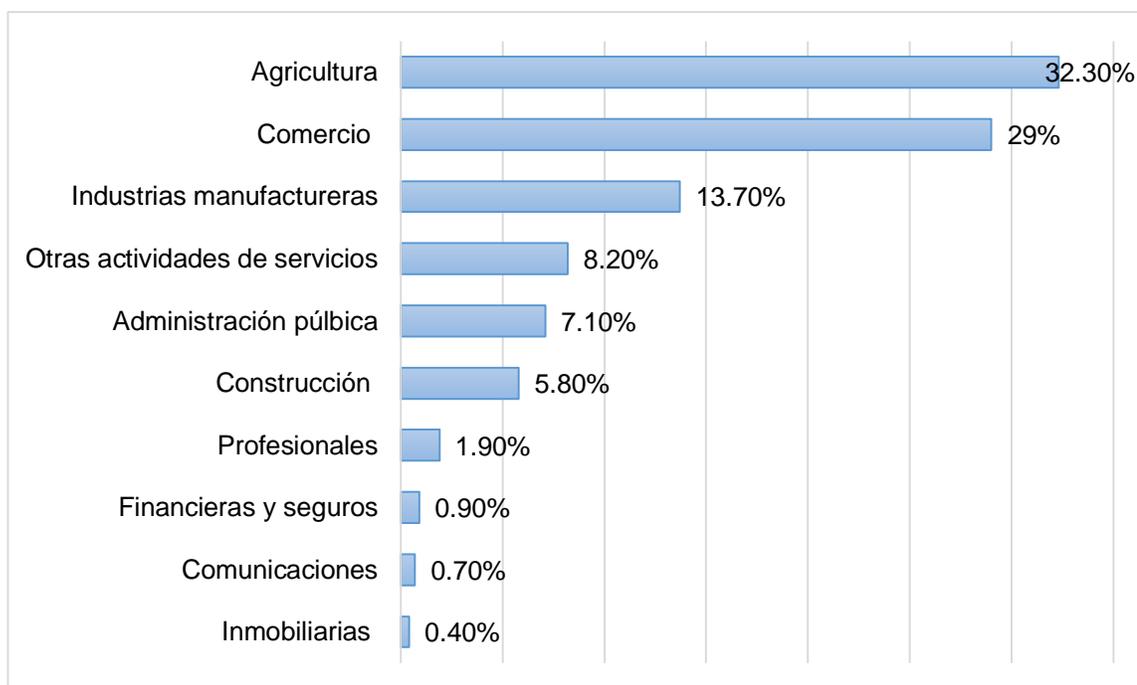


Figura 1.2. Porcentaje de la población ocupada por actividad económica, en la república de Guatemala.

Fuente: INE, 2012.

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. Realizar el diagnóstico sobre la situación actual de las empresas guatemaltecas que se dedican a la comercialización de fertilizantes químicos y/o orgánicos que en sus formulaciones incluyen sustancias húmicas como ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF), para analizar la importancia que han adquirido estos por el agro guatemalteco.

1.3.2. ESPECÍFICOS

- A. Determinar el total de empresas que se dedican al comercio de agroquímicos que cuenten con registro vigente por parte de la Unidad de Normas y Regulaciones (UNR) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, y Alimentación (MAGA).
- B. Determinar el total de empresas que se dedican a la comercialización de fertilizantes químicos y/o orgánicos que incluyen en sus formulaciones ácidos húmicos (AH), fúlvicos (AF), y huminas (Hu), y que cuenten con registro de la UNR del MAGA.
- C. Indicar el modo de empleo de los fertilizantes químicos y/o orgánicos que incluyen en sus formulaciones ácidos húmicos (AH), fúlvicos (AF), y huminas (Hu).

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la búsqueda de información de la comercialización de fertilizantes químicos y/o orgánicos que incluyen en sus formulaciones ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF), y huminas (Hu), se utilizaron fuentes primarias y secundarias.

1.4.1.1. Fuentes secundarias

Se procedió a la búsqueda de información en la Unidad de Normas y Regulaciones (UNR) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, y Alimentación (MAGA) sobre las empresas que se dedican a la comercialización de agroquímicos dentro del territorio nacional guatemalteco y que contaran con registro vigente. De igual forma se contabilizaron las empresas que comercializaran fertilizantes químicos y/o orgánicos que incluyen en sus formulaciones ácidos húmicos (AH), fúlvicos (AF), y huminas (Hu). Para la búsqueda de marcas comerciales y concentraciones de los productos se hizo necesario la utilización de direcciones electrónicas, entre otras.

1.4.1.2. Fuentes primarias

Luego de cuantificar el total de empresas guatemaltecas que comercializan fertilizantes químicos y/o orgánicos que incluyen en sus formulaciones sustancias húmicas (AH, AF, Hu), se realizó una encuesta. Las preguntas realizadas fueron: 1) La empresa comercializa fertilizantes químicos y/o orgánicos que incluyan sustancias húmicas en sus formulaciones; 2) La empresa es importadora o formuladora de fertilizantes; 3) Los nombres de las marcas comerciales de los fertilizantes químicos y/o orgánicos y su concentración; 4) y el modo de empleo de los productos.

1.4.2. FASE DE GABINETE

Se procedió luego a ordenar toda la información obtenida de las fuentes primarias y secundarias y realizar el análisis de toda la información obtenida mediante el uso de gráficas y elaboración de cuadros resúmenes.

1.5. RESULTADOS

1.5.1. EMPRESAS REGISTRADAS EN LA UNIDAD DE NORMAS Y REGULACIONES (UNR) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN (MAGA)

La comercialización de agroquímicos en el territorio guatemalteco según la Unidad de Normas y Regulaciones (UNR) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, y Alimentación (MAGA) es realizada por 976 empresas. El 31.05 % de las empresas no cuentan con un registro vigente, y el 68.95 % que representa un total de 671 empresas se reportan con un registro vigente válido para comercializar sus productos como lo muestra la figura 1.3.

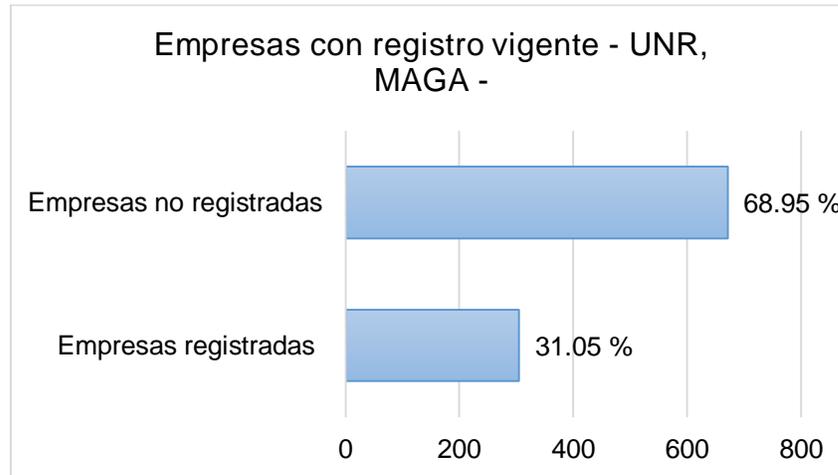


Figura 1.3. Situación legal de empresas en la Unidad de Normas y Regulaciones (UNR) para la comercialización de agroquímicos en Guatemala.

Fuente: Unidad de Normas y Regulaciones (MAGA, 2015).

Los agroquímicos importados, formulados y comercializados son: insecticidas, fungicidas, herbicidas, fertilizantes, enmiendas agrícolas, potencializadores, reguladores de crecimiento, correctores de pH (potencial de hidrógeno), adherentes, entre otros (UNR,MAGA). En el cuadro 1.2 se muestran los nombres de las empresas con registro vigentes dedicadas a la importación, formulación y comercialización de fertilizantes químicos y/o orgánicos en la república de Guatemala.

Cuadro 1.2. Empresas, importadoras, formuladoras y comercializadoras de fertilizantes con registro vigente de la UNR del MAGA.

NO.	NOMBRE DE LA EMPRESA
1	BRENNTAG GUATEMALA, S.A.
2	AGROQUIMICOS Y FERTILIZANTES, S. A. (AGROFERT)
3	BAYER, S.A.
4	AGRICOLA FOLIAR DE CENTROAMERICA S.A (AGRIFOL, S.A.)
5	FERTILIZANTES MAYA, S.A. (MAYAFERT, S.A.)
6	AGROPECUARIA POPOYAN, S.A.
7	DISTRIBUIDORA AGRICOLA GUATEMALTECA, S.A. (DISAGRO)
8	PROMOAGRO, S.A.
9	QUIMICAS STOLLER DE CENTRO AMERICA., S.A.
10	COSMOCEL
11	DESARROLLOS QUIMICOS GUATEMALTECOS, S.A. (DEQUIGUA)
12	AVANCES AGRICOLAS NUTRICIONALES (AVANZA)
13	TRANSFERTIL DE CENTROAMERICA, S.A.
14	AGROCENTRO, S.A.
15	AGRIMPORT, S.A.
16	AGROINSUMOS, S.A.
17	FORAGRO, S.A.
18	FRIGORIFICOS DE GUATEMALA, S.A.
19	FERTILIZANTES DEL PACÍFICO, S.A. (FERPASA)
20	YARA GUATEMALA, S.A. °
21	INDUSTRIA DE FERTILIZANTES FOLIARES OVALLE (IFFO)
22	FERTILIZANTES NATURALES, S.A.
23	WESTRADE GUATEMALA, S.A.
24	DUWEST GUATEMALA, S.A.
25	COMPANÍA DE FERTILIZANTES Y AGROQUIMICOS, S.A. (BIOCOFYA)
26	NUTRIVESA
27	FERTILIZANTES QUIMICOS DE GUATEMALA (FERQUIGUA)
28	PROYECTOS AGRICOLAS Y COMERCIALES, S. A. (AGROPRO, S.A.)
29	AGROINDUSTRIAL N.R. Y ASOCIADOS, S.A. (AGROIN N.R. Y ASOCIADOS)
30	SUPER ABONOS, S.A.
31	FERTILIZANTES LIQUIDOS, S.A.

Fuente: UNR.MAGA, 2015.

.....**Continuación cuadro 1.2**

NO.	NOMBRE DE LA EMPRESA
32	AGRIFUTURO, S.A. (AGRICULTURA DEL FUTURO, S.A.)
33	MARKETING ARM GUATEMALA, S.A.
34	QUIMICA INTERNACIONAL APLICADA (QUIMIA)
35	MILLER CHEMICAL & FERTILIZER CORPORATION
36	COSMOAGRO LIMITADA
37	FITOQUIMICOS Y FERTILIZANTES ESPECIALES, S.A. (FESA)
38	ARYSTA LIFESCIENCE DE GUATEMALA, S. A.
39	ENLACE AGROPECUARIO, S.A. (ENLASA)
40	TECNOLOGIA INDUSTRIAL DE GRANULADOS, S.A. (TIGSA)
41	FORMULACIONES AGRICOLAS, S.A.
42	DESARROLLOS QUIMICOS Y AGRICOLAS, S.A.
43	POTENZ QUIMICA, S.A.
44	FERTICA GUATEMALA, S.A.
45	FERTIORGANICO, S.A.
46	VISTA VOLCANES, S.A.
47	DISAGRO DE GUATEMALA, S. A.
48	DISAGRO DE GUATEMALA, S.A.
49	SYNGENTA LAN, S.A.
50	DUWEST INTERNACIONAL, S.A.
51	SYNGENTA AGRO ALPHA, S.A.
52	COSMOAGRO, S. A.
53	TRANSAMMONIA GUATEMALA, S.A.
54	TIGSA PACÍFICO, S.A.
55	MITAGRO
56	BIOPROCESOS DE GUATEMALA, S.A.
57	NITRATOS DE GUATEMALA, S.A.
58	NUTRIENTES E INSUMOS PARA LA AGROINDUSTRIA, S. A. (NUTRINSAGRO)
59	AGRONOMICOS Y FERTILIZANTES DE GUATEMALA, S.A. (AGROFIL)
60	LOMBRIFERT, S.A.
61	CORPORACION AGRILIFE, S.A.
62	ASESORIA INTELIGENTE, S.A. (AINSA)
63	FERTILIZANTES BEST & QUALITY, S.A.

Fuente: UNR.MAGA, 2015.

.....Continuación cuadro 1.2

NO.	NOMBRE DE LA EMPRESA
64	AGRO-K DE GUATEMALA, S.A.
65	NOVEDADES E INNOVADORA AGROQUIMICOS, S.A. (NOVIAGRO)
66	NUTRIENTES Y FERTILIZANTES, S. A.
67	NITROGENADOS DEL AGRO, S.A.
68	ARYSTA LIFESCIENCE CENTROAMERICA, S. A.
69	AGRO INDUSTRIAS CITRICAS, S.A.
70	DREXEL CHEMICAL DE GUATEMALA, S. A.
71	TIGSA ATLANTICO, S. A.
72	INSUMOS DISAGRO PARA LA INDUSTRIA, S. A.
73	GRUPO MEDYFER, S. A.
74	QUIMICA SAGAL DE GUATEMALA, S. A.
75	AJAY SQM ENTERPRISES GUATEMALA, S. A.
76	PRODUCTOS AVICOLAS, SOCIEDAD ANONIMA (PROAVISA)
77	BIOEXPORT, S. A.
78	AGROMSA DE GUATEMALA, S. A.
79	SARANDI, S. A.
80	BIOAGRO DE GUATEMALA, S. A.
81	NATURALMENTE PURESAS, S. A.
82	EXPORTADORA ENLASA, S. A.
83	TECNOLOGIA Y RECURSOS ORGANICOS, S. A.
84	GLOBALAGRA DE GUATEMALA, S. A.
85	EXPORTADORA GUATEMALTECA DE FERTILIZANTES, S. A.
86	BIOSKA, S. A.
87	DAHIR, S. A.
88	BSBG, S. A. (BIOSAFE GUATEMALA)
89	TIGSA FERTILIZANTES. S. A.
90	COMERCIALIZADORA GUATEMALTECA DE FERTILIZANTES BEST & QUALITY
91	MAYAFERT, S. A.
92	MACRO QUIMICA CENTROAMERICANA, S. A.

Fuente: UNR.MAGA, 2015.

Un total de 92 empresas comercializan fertilizantes químicos y/o orgánicos en Guatemala. Sus fórmulas químicas y/o orgánicas son utilizadas para aplicaciones al suelo,

al follaje o para fertirriego. Las empresas Mayafert S.A., Desarrollos químicos y agrícolas S.A., MITAGRO, AGROFIL, Fertilizantes Best & Quality, TIGSA S.A., PROAVISA, SARANDI, S.A., Exportadora ENLASA S.A., y DAHIR S.A., son empresas formuladoras de fertilizantes, y las empresas DISAGRO, COSMOCEL, DEQUIGUA, AGRIMPORT S.A., YARA Guatemala S.A., ENLASA, Mayafert S.A., son importadoras de fertilizantes.

1.5.2. EMPRESAS CON REGISTRO DE LA UNIDAD DE NORMAS Y REGULACIONES (UNR) QUE INCLUYEN SUSTANCIAS HÚMICAS (AH, AF, Hu) EN LOS FERTILIZANTES

En Guatemala 17 empresas cuentan con registro vigente de la Unidad de Normas y Regulaciones (UNR) del MAGA y comercializan fertilizantes químicos y/o orgánicos que incluyen en sus formulaciones ácidos húmicos (AH), fúlvicos (AF), y huminas (Hu). La principal fuente o materia prima utilizada por las empresas para el aporte de las sustancias húmicas es Leonardita. En el cuadro 1.3 se detallan las empresas que comercializan fertilizantes con sustancias húmicas.

Cuadro 1.3. Listado de empresas que comercializan fertilizantes con sustancias húmicas que cuentan con registro vigente de la UNR del MAGA.

NO.	NOMBRE DE LA EMPRESA
1	COSMOCEL
2	TRANSFERTIL DE CENTROAMERICA, S.A.
3	NUTRIVESA
4	AGROINDUSTRIAL N.R. Y ASOCIADOS, S.A. (AGROIN N.R. Y ASOCIADOS)
5	QUIMICA INTERNACIONAL APLICADA (QUIMIA)
6	POTENZ QUIMICA, S.A.
7	DUWEST INTERNACIONAL, S.A.
8	BIOPROCESOS DE GUATEMALA, S.A.
9	AGRONOMICOS Y FERTILIZANTES DE GUATEMALA, S.A. (AGROFIL)
10	CORPORACION AGRILIFE, S.A.
11	ASESORIA INTELIGENTE, S.A. (AINSA)

Fuente: UNR.MAGA, 2015.

.....**Continuación cuadro 1.3**

NO.	NOMBRE DE LA EMPRESA
12	FERTILIZANTES BEST & QUALITY, S.A.
13	ARYSTA LIFESCIENCE CENTROAMERICA, S. A.
14	GRUPO MEDYFER, S. A.
15	QUIMICA SAGAL DE GUATEMALA, S. A.
16	BIOEXPORT, S. A.
17	NATURALMENTE PURES, S. A.

Fuente: UNR.MAGA, 2015.

1.5.3. PRINCIPALES PRODUCTOS DE FERTILIZANTES Y CONCENTRACIONES QUE INCLUYEN EN SU FORMULACIÓN SUSTANCIAS HÚMICAS

Los fertilizantes químicos y/o orgánicos de diferentes marcas comerciales que se comercializan en el territorio guatemalteco son 50. Las concentraciones varían dependiendo la empresa que los comercialice. En el cuadro 1.4 se detallan los nombres de las empresas que distribuyen los fertilizantes a base de sustancias húmicas con sus respectivas concentraciones.

Cuadro 1.4. Fertilizantes químicos y/o orgánicos a base de sustancias húmicas con sus concentraciones que cuentan con un registro vigente por parte de la UNR del MAGA.

NO.	EMPRESA	PRODUCTO	CONCENTRACIÓN		
			AH	AF	HUL
1	COSMOCEL	Humifert	[]	-	-
		H-85	85%	85%	-
2	TRANSFERTIL	Lombrifertil	[]	[]	-
3	NUTRIVESA	Humic basic	-	[]	-
4	AGROIN N.R.	Phytoplus	[]	[]	-
		Phyto plus nutrientes	2-6%	2%	-
5	QUIMIA	Agrosuelos plus	5%	5%	-
6	POTENZ QUIMICA, S.A.	Humato de calcio	16%	-	-
		Humato de magnesio	8%	-	-
		**HCA 25	25%	10%	-

Fuente: Revisión bibliográfica fuentes secundarias, 2015.

.....Continuación cuadro 1.4

NO.	EMPRESA	PRODUCTO	CONCENTRACIÓN		
			AH	AF	HUL
7	DUWEST S.A.	Liquid feed	[]	[]	[]
8	BIOPROCESOS S.A.	Bioplant Ca, N y K	10%	-	-
		Biohumus	15%	3%	-
		Bioplant 9-23-0	10%	-	-
		Bioplant nitrógeno 30.5%	31.50%	-	-
		Rocky	[]	-	-
9	AGROFIL S.A.	Bioplantor	0.10%	0.10%	-
		**Regulat pH	2%	2%	-
10	AGRILIFE, S.A.	Humiplex 50 G	[]	[]	-
		Humitron 60 SG	[]	[]	-
		Humitron L	[]	[]	-
		Liquifeed	[]	[]	-
		Ultrafert 9-6-5 + EM	[]	[]	-
11	AINSA S.A.	Rocky	[]	-	-
12	BEST & QUALITY, S.A.	Pro-calcio	5%	-	-
		Pro-NPK	5%	-	-
13	ARYSTA LIFESCIENCE	K-tionic	-	>25%	-
		Foltron	7.80%	7.80%	-
		Humiplex	50%	50%	-
		Pilatus	-	3.01%	-
14	GRUPO MEDYFER, S. A.	Humo balance XL Tm	4%	-	-
		Establish 5-16-12	5%	-	-
		Huma boost Tm	4%	-	-
		Huma cal-plus XL Tm	4%	-	-
		Maintain 8-16-8	4%	-	-
		Root & groom 3-16-15	4%	-	-
15	QUIMICA SAGAL S. A.	Nutri-humus	>12.50%	>12.50%	>12.50%
		Nutri-humos 90	47.38%	42.62%	9%
		Nutri-full	-	>25%	-
		Humi-extra	47.38%	42.62%	-

Fuente: Revisión bibliográfica fuentes secundarias, 2015.

.....Continuación cuadro 1.4

NO.	EMPRESA	PRODUCTO	CONCENTRACIÓN		
			AH	AF	HUL
16	BIOEXPORT, S. A.	Huma gro Lase	[]	[]	-
		Huma gro soil max	[]	[]	-
		Huma gro zap	[]	[]	-
		Huma gro breakout	[]	[]	-
		Huma gro vitol	[]	[]	-
		Huma gro calcium	[]	[]	-
		Huma gro Z-max	[]	[]	-
		Proud 3	[]	[]	-
		Huma gro X-tend	[]	[]	-
17	NATURALMENTE PURESА	Natural soil	5%	5%	-

Fuente: Revisión bibliográfica fuentes secundarias, 2015.

1.6. CONCLUSIONES

- 1.6.1.** Las empresas que comercializan agroquímicos en el territorio guatemalteco con registro vigente de la Unidad de Normas y Regulaciones (UNR) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, y Alimentación (MAGA) son 976 hasta el año 2013. El 9.43 % de empresas importan, formulan, y comercializan fertilizantes químicos y/o orgánicos.
- 1.6.2.** El 1.74 % de empresas en Guatemala comercializan fertilizantes químicos y/o orgánicos que incluyen en sus formulaciones sustancias húmicas. Las empresas son COSMOCEL, TRANSFERTIL, NUTRIVESA, AGROIN N.R., QUIMIA, POTENZ QUÍMICA S.A., DUWEST S.A, BIOPROCESOS S.A., AGROFIL S.A., AGRILIFE S.A., AINSA S.A., BEST & QUALITY S.A., ARYSTA LIFESCIENCE S.A, GRUPO MEDYFER S.A., QUÍMICA SAGAL S.A., BIOEXPORT S.A., y NATURALMENTE PURES A.S.A.
- 1.6.3.** El 48.08 % de las marcas comerciales de los fertilizantes químicos y/o orgánicos son aplicados vía foliar, y el 40.38 % son aplicados al suelo. El 7.69 % de los productos a base de sustancias húmicas son comercializados como mejoradores del suelo, el 3.85 % como fertilizantes para fertirriego, y el 1.92 % como acondicionadores de aguas.

1.7. RECOMENDACIONES

- 1.7.1.** Realizar la búsqueda de información a través de fuentes primarias a las 17 empresas dedicadas a la comercialización de fertilizantes químicos y/o orgánicos que en sus formulaciones incluyen sustancias húmicas para la determinación de redes de comercialización y precios de ventas a nivel nacional.

- 1.7.2.** Para la cuantificación de las sustancias húmicas como ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (Hu) establecer las metodologías utilizadas por las empresas en la determinación de las concentraciones de carbono orgánico (CO) de los fertilizantes químicos y/o orgánicos en estudio.

1.8. BIBLIOGRAFÍA

1. Agrofil, Tecnología y Servicio Confiable. (10 de Febrero de 2015). Lista de productos. Obtenido de Agrofil, <http://agrofil.com/productos.htm>
2. Arysta LifeScience Centroamérica y Caribe. (9 de Febrero de 2015). *Ktionic, ficha técnica*. Obtenido de http://www.arystalifesciencecayc.com/user_files/uploads/files/Ficha_Tecnica_Ktionic.pdf
3. Bioexport. (9 de Febrero de 2015). Activadores, reguladores, formulaciones, y ácidos orgánicos. Obtenido de Bioexport, <http://www.bioexport.com.gt>
4. Bioprocesos de Guatemala. (9 de Febrero de 2015). Fertilizantes Bioprocesos. Obtenido de *Bioprocesos de Guatemala*, <http://www.ainsa.com.gt/index.php/fertilizantes-bioprocesos>
5. Bioprocesos, Excelencia en Agrociencia. (10 de Febrero de 2015). Programa de fertilización con Rocky (sinérico foliar), foliares Bioplant, y Phytosol. Obtenido de Bioprocesos, <http://www.bioprocesoscr.com/BioprocesosGuatemala.htm>
6. Corporación para el Desarrollo, la Innovación, y Soluciones Estratégicas [AKIANTO]. (10 de Febrero de 2015). *Impacto social y económico del sector agrícola guatemalteco sobre la economía nacional*. Obtenido de <http://www.agrequima.com.gt/images/stories/pdf/160512vfff.pdf>
7. Cosmocel. (10 de Febrero de 2015). Línea de productos, nutrientes para aplicación al suelo. Obtenido de *Cosmocel*, http://www.cosmocel.com/esp/agricola/detalle_frutex.html
8. Cruz S, JR De la. (1982). *Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. Guatemala, INAFOR.
9. Duwest. (10 de Febrero de 2015). Salud y nutrición vegetal. Obtenido de Duwest / Du Pont, <http://www.duwest.com/contenido.php?ctg=3511-638-1497&secc=4165&p=7>
10. Fertilizantes B&Q & EXGUASA. (9 de Febrero de 2015). Productos. Obtenido de *Fertilizantes B&Q*, <http://fertilizantesbyq.com.gt>
11. Grupo Medyfern. (9 de Febrero de 2015). Boletín técnico Maintain 8-16-8. Obtenido de *Grupo Medyfern*, <http://grupomedyfer.com/Maintain-8-11.pdf>
12. Instituto Nacional de Estadística [INE]. (2012). *Caracterización estadística de Guatemala*. Obtenido de INE, <http://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/02/26/5eTCcFIHErnanVeUmm3iabXHakgXtw0C.pdf>

13. Instituto Nacional de Estadística [INE]. 2004. *Censo nacional agropecuario: características generales de las fincas censales y de productoras y productores*. Guatemala, INE. Tomo 1. 1 CD.
14. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología [INSIVUMEH]. (14 de Febrero de 2015). Zonas climáticas de Guatemala. Obtenido de INSIVUMEH, <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/zonas%20climaticas.htm>
15. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA] & Dirección de Información Geográfica Estratégica y Gestión de Riesgos [MAGA, DIGEGR]. (2001). Base de datos digital de la república de Guatemala a escala 1:250,000. Obtenido de http://www.sigmaga.com.gt/pdfs_sigmaga/005%20-%20Base%20Digital%20250000.pdf
16. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA] & Unidad de Normas y Regulaciones [UNR]. (10 de Febrero de 2015). *Listado de empresas con registro vigente*. Guatemala.
17. NR Consa. (10 de Febrero de 2015). Productos N. R., BAICOR, SHINDAIWA. Obtenido de NR Consa, <http://www.nrconsa.com/productos.html>
18. Pineda Mejía, J.J. (9 de Febrero de 2015). *Evaluación de distintas alternativas orgánicas y biológicas para el manejo sustentable en la producción de plátano hawaiano (Musa spp.), palma africana (Elaies sp.) y melón (Cucumis melo L.) en el noroeste del país*. (Tesis Ing. Agr.). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2619.pdf
19. Potenz Química. (10 de Febrero de 2015). Productos, especialidades, fertilizantes y fórmulas. Obtenido de Potenz Química, <http://potenzquimica.com/gt/potenz-sik>
20. Química. (10 de Febrero de 2015). Productos y servicios. Obtenido de Química Internacional Aplicada, <http://www.quimica.com.mx/productos.html>
21. Química Sagal. (9 de Febrero de 2015). Productos agroquímicos. Obtenido de Química Sagal, <http://www.quimicasagal.com/index.html>
22. Transfertil de Centroamérica. (10 de Febrero de 2015). Fertilizantes foliares. Obtenido de Transfertil de Centroamérica, <http://www.transfertil.com>

1.9. ANEXOS



Figura 1.4A. Mapa fisiográfico-geomorfológico de la república de Guatemala.

Fuente: MAGA-DIGEGR, 2001.

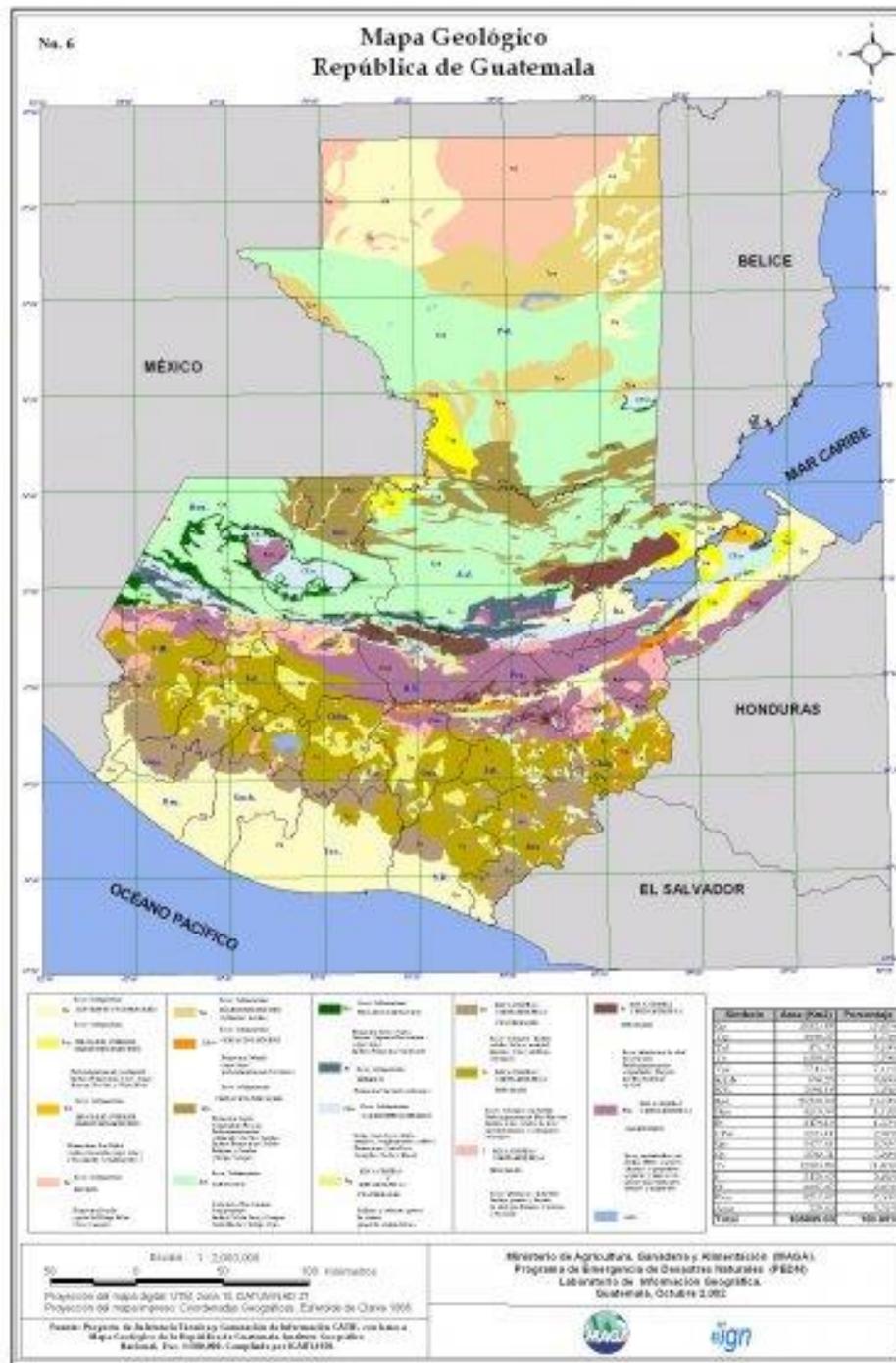


Figura 1.5A. Mapa geológico de la república de Guatemala.

Fuente: MAGA-DIGEGR, 2001.

CAPÍTULO II.

**EVALUACIÓN DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS DE LA MATERIA ORGÁNICA
SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN SUELOS ANDISOLES DEL
DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA**

**DETERMINATION OF ORGANIC MATTER HUMIC AND FULVIC ACIDS AND ITS
RELATIONSHIP TO PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF ANDISOLS SOILS
IN THE DEPARTMENT OF CHIMALTENANGO, GUATEMALA, CENTRAL AMERICA**

2.1. PRESENTACIÓN

La materia orgánica es de suma importancia en la fertilidad de los suelos porque afecta sus propiedades químicas, físicas, y biológicas. Químicamente afecta la capacidad de intercambio catiónico, el suministro de nutrientes como P, N, y S, y la disponibilidad de micronutrientes para las plantas, entre otras. Físicamente mejora la retención de agua en suelos arenosos, y la permeabilidad y el intercambio de gases al formar agregados estructurales estables. Biológicamente aumenta la población de microflora y microfauna, importantes en los procesos de mineralización. Los principales componentes de la materia orgánica son los ácidos húmicos y fúlvicos representando más del 65.0 % de su composición. Los ácidos húmicos son moléculas orgánicas de alto peso molecular que precipitan a valores de pH menores a 2.0 y que se extraen del suelo mediante el uso de solventes alcalinos. Los ácidos fúlvicos son de menor peso molecular, con contenidos menores de carbono (C), y solubles a todos los valores de pH.

La presente investigación se realizó en suelos Andisoles del departamento de Chimaltenango ubicado en la región central del país. El orden Andisol abarca 62,088 ha y representa 33.29 % del área. Estudios recientes indican que el orden Andisol contiene un promedio de 5.03 % de materia orgánica.

El objetivo fue fraccionar la materia orgánica de 27 suelos Andisoles ubicados en áreas agrícolas y forestales según su capacidad de uso y uso actual y correlacionar sus propiedades químicas como CIC, pH y físicas como la retención de humedad y contenido de arcilla + limo para definir la influencia de las diferentes variables sobre la CIC en áreas agrícolas y forestales.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. DEFINICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

El concepto de materia orgánica es una categoría muy amplia que incluye a los materiales muy poco alterados como a aquellos otros que sí han experimentado profundos cambios en el suelo. Fassbender (1994) define a la materia orgánica del suelo como “la fracción orgánica del suelo que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes del suelo”. Esta fracción se determina en general en el suelo que pasan por un tamiz con malla de 2.0 mm. Según la FAO (1991) la materia orgánica del suelo está formada por sustancias húmicas, animales y plantas muertos. En su composición contiene carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H), y además varios elementos inorgánicos como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Labrador (1996) la define como “la totalidad de las sustancias orgánicas presentes en los suelos provenientes de restos de plantas y animales, en diferentes estados de transformación; exudados radicales; aportes orgánicos externos como estiércol y compost; así como los organismos edáficos que componen la biomasa del suelo y los productos resultantes de su senescencia y metabolismo”. Los porcentajes de materia orgánica en el suelo se clasifican en las siguientes categorías (ver cuadro 2.5).

Cuadro 2.5. Clasificación de la materia orgánica (MO) y carbono orgánico (CO) de los suelos en general.

Interpretación	Porcentaje de MO	Porcentaje de C
Muy bajos	<2	<1.2
Bajos	2 a 5	1.2 a 2.9
Medios	5 a 8	2.9 a 4.6
Altos	8 a 15	4.6 a 8.7
Muy altos	>15	>8.7

Fuente: Fassbender (1994).

2.2.2. IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA

2.2.2.1. Importancia química

Según Kass (1996) la materia orgánica influye en el suministro de elementos nutritivos por mineralización, en particular la liberación de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), que son tres de los elementos de mayor importancia que se reciclan en el proceso de humificación. Otros elementos conocidos como micronutrientes especialmente el hierro (Fe), boro (B), y zinc (Zn) pasan a ser disponibles para las plantas. El amortiguamiento de la acidez del suelo ocasionada por la materia orgánica actúa como una especie de regulador que impide cambios abruptos en el pH del suelo. La materia orgánica influye en el incremento de la capacidad de intercambio catiónico y aniónico de los suelos. Químicamente la materia orgánica forma quelatos con algunos micronutrientes lo que ocasiona que sea regulada su disponibilidad para las plantas (Kass, 1996).

2.2.2.2. Importancia física

La materia orgánica favorece la formación de agregados en el suelo lo que promueve un adecuado desarrollo de su estructura. Favorece la formación de mesoporos y macroporos que facilitan una mayor aireación al suelo. Con el aporte de materia orgánica se promueve un uso más eficiente del agua del suelo porque mejora la agregación de partículas de limos, arcillas y arenas. En consecuencia con lo anterior, hay mejor infiltración y mayor retención de agua por coloides orgánicos altamente hidrófilos (Kass, 1996).

2.2.2.3. Importancia biológica

La descomposición de la materia orgánica es un proceso biológico que ocurre naturalmente. Su velocidad está determinada por los organismos del suelo, el entorno físico, y la calidad de la materia orgánica. Los microorganismos como bacterias, y los invertebrados como lombrices e insectos, ayudan a descomponer los residuos de los cultivos mediante su ingestión y mezcla con el material mineral del suelo.

2.2.3. COMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

Las técnicas analíticas revelan que la materia orgánica presenta como componentes mayoritarios al menos en su fracción extractable: lípidos, carbohidratos, polipéptidos y sustancias húmicas en mezclas o asociados químicamente (Labrador, 1996). Se estima que la composición de la materia orgánica del suelo está mayormente compuesta por un 10.0 a 20.0 % de carbohidratos, un 10.0 % de compuestos nitrogenados, de 10.0 a 20.0 % de lípidos y un 65.0 % de sustancias húmicas. De ellos, los componentes polimerizados (sustancias húmicas) representan una fracción mucho más importante de la materia orgánica del suelo que los monómeros temporales (carbohidratos y lípidos), entre otros. Estos porcentajes son variables y altamente dependientes de numerosos factores externos e internos según Schnitzer (1991) citado por Labrador (1996).

Según Kononova (1982) toda la variedad de sustancias orgánicas del suelo puede ser sintetizada en dos grupos fundamentales. El primero está formado por restos orgánicos y representa los productos de su descomposición o los productos de la actividad vital (metabolismo y resíntesis) de la población viva. Este primer grupo está representado por compuestos conocidos en la química orgánica (proteínas, aminoácidos, hidratos de carbono simples y compuestos, ácidos orgánicos de distinta naturaleza, ceras, resinas, ligninas y otros). Estos compuestos orgánicos constituyen en los suelos minerales aproximados el 10.0 al 15.0 % de la reserva total de la materia orgánica. Sin embargo, la porción principal de la parte orgánica del suelo está representada por sustancias húmicas. Este grupo de sustancias constituye en los suelos minerales hasta el 85.0 a 90.0 % de la reserva total de humus (Kononova, 1982). La lista según los trabajos de A. A. Shmuk (1930) y Maiwad (1931) citados por Kononova (1982), incluyen los siguientes compuestos:

- Hidratos de carbono
Pentosas, pentosanos, hexosas, celulosa y productos primarios de su desintegración.
- Hidrocarburos
Parafinas
- Ácidos orgánicos de la serie alifática y sus ésteres
Ácido oxálico $(\text{COOH})_2$
Ácido succínico $(\text{CH}_2\text{COOH})_2$
Ácido sacárico $(\text{CHOH})_4 (\text{COOH})_2$
Ácido crotónico $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCOOH}$
Ácido lignocérico $\text{C}_{24}\text{H}_{48}\text{O}_2$
Ácido monooxisteárico $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_3$
Ácido dioxisteárico $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_4$
Ácido acrílico $\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$
Ácido benzoico $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ y otros
- Alcoholes
Manitol $\text{C}_6\text{H}_8 (\text{OH})_6$
- Ésteres
Glicéridos de los ácidos caprónico y oléico
- Aldehídos
Aldehído salicílico (o-oxibenzaldehído) $\text{C}_6\text{H}_4\text{OHCHO}$
Vainillina $\text{C}_6\text{H}_3 (\text{OCH}_3) \text{OHCHO}$ y otros
- Resinas
Ácidos resínicos y sus derivados
- Compuestos nitrogenados
Trimetilamina $(\text{CH}_3)_3\text{N}$
Colina $\text{C}_5\text{H}_{15}\text{O}_2\text{N}$
Histidina $\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_2\text{N}_3$
Arginina $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_2\text{N}_4$
Lisina $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_2\text{N}_4$
Hipoxantina citosina $\text{C}_4\text{H}_5\text{ON}_3$

Xantina $C_5H_4O_2N_4$

Creatinina $C_4H_7ON_3$

Derivados de piridina

Serie de aminoácidos (leucina, e isoleucina, valina, alanina, ácido aspártico)

2.2.4. DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

La transformación que sufren los restos vegetales y animales en el suelo se realiza bajo la acción de distintos grupos de microorganismos así como de diversos representantes de la microfauna edáfica (ácaros, insectos, lombrices, entre otros). Estas desintegraciones mecánicas, oxidaciones, hidrólisis, entre otras, pueden ocurrir bajo acción directa de las precipitaciones atmosféricas o de la reacción ácida o básica del suelo, del viento, de los cambios de temperatura, entre otras (Silva, 2004).

2.2.5. RELACIÓN C/N

Gran parte del carbono (C) es utilizado como fuente energética y convertido en CO_2 . La mayor parte del nitrógeno (N) deviene del tejido microbiano. A veces la relación C/N inicial es tan elevada que los microorganismos extraen cierta cantidad de N del suelo para formar sus propios tejidos juntamente con el C de los restos vegetales. La degradación se retrasa si no existe suficiente N disponible en el conjunto del suelo y los restos vegetales (Thompson, 1988).

Si se tienen 6000 kg/ha de tallos de maíz y se dejan en el campo después de la cosecha representarán una adición de 2400 kg de C (40.0 %), 40.0 kg de N y una relación C/N de 60:1 (Thompson, 1988). Si existe N disponible en el suelo y tres cuartas partes de C se utilizan para el consumo energético y la cuarta parte restante se incorpora al tejido microbiano, los microorganismos resultantes contendrán 600 kg de C y 75 kg de N y la relación C/N sería de 8:1. Esto requiere la inmovilización de 35 kg de N del suelo. Si en el suelo no hay N disponible la descomposición se limita a formar microorganismos conteniendo 40 kg de N (total disponible) y 320 kg de C y la relación C/N sería de 8:1

(Thompson, 1988). En estas condiciones 960 kg de C serán utilizados como fuente de energía totalizando un consumo de 1,280 kg de C. Los restantes 1,120 kg deberán esperar un ciclo posterior de descomposición que tiene lugar cuando los microorganismos mueren y sus cuerpos se descomponen. Una cantidad adicional de C proveniente de los restos todavía no descompuestos, se utiliza para suplir las necesidades de posteriores generaciones de microorganismos, hasta que se agote el suministro (Thompson, 1988).

El ejemplo anterior es ciertamente una simplificación. La descomposición tiene lugar durante un periodo de tiempo, y no súbitamente. Por otra parte, no se ha tenido en cuenta los cambios que puedan haber ocurrido en la población microbiana durante el transcurso del tiempo. Probablemente los hongos serán más importantes al principio, cuando el suministro de energía sea abundante. La relación C/N resultante de la degradación predominante fúngica se aproximaría a 10:1. Muchos hongos morirían cuando los materiales fácilmente degradables se hicieran escasos. Entonces las bacterias actuarían sobre los tejidos de los hongos y sobre parte de los restos del maíz que aún persistían. Millones de bacterias pueden vivir sobre unos pocos hongos, debido a la enorme diferencia de tamaño que existe entre ellos. La descomposición bacteriana lleva la relación C/N hacia un valor límite de 5:1 que se alcanza muy raras veces (Thompson, 1988).

2.2.6. MINERALIZACIÓN

La descomposición libera N muy raras veces. La condición básica para ello es la existencia de un material orgánico con una relación C/N lo bastante baja. Manteniendo las suposiciones del ejemplo precedente, el punto límite se situaría en una relación C/N de 32:1 (una eficiencia del 25.0 % en la conversión del C y del 100.0 % en la del N, reduce la relación C/N de 32:1 a 8:1). Esta cifra está de acuerdo con los resultados experimentales presentados por Waksman (1942) citado por Thompson (1988) en la que utilizó plantas de centeno (*Secale* sp.) de varias edades para obtener materiales de distintas relaciones C/N (las plantas jóvenes suelen contener un porcentaje de N más elevado que las viejas). Waksman (1942) citado por Thompson (1988) muestra también que los materiales con menor relación C/N se descomponen alrededor de un 50.0 % más de prisa que los

deficientes en N. Esto constituye un importante principio en la utilización de abonos verdes. La vegetación joven, envuelta en el suelo, se descompondrá con mayor rapidez, liberando N utilizable mucho antes que los residuos maduros de las cosechas (Thompson, 1988). La descomposición de 1,000 kg de restos de alfalfa (*Medicago sativa*) con una relación C/N de 13:1 puede servir de ejemplo de liberación de N. Utilizando las mismas suposiciones que antes resulta que 1,000 kg de alfalfa contiene 400 kg de C (40.0 %) y 31 kg de N y una relación C/N de 13:1. Los microorganismos del suelo descomponen la alfalfa que contiene 100 kg de C (1/4 de C de residuos vegetales) y 13 kg de N con una relación C/N de 8:1 (Thompson, 1988). La descomposición de una tonelada de residuos de alfalfa debería liberar 18 kg de N al suelo, donde se estarían a la disposición de las plantas en crecimiento o, quizás, de los organismos que descomponen otros residuos. A más largo plazo, el tejido microbiano se descompondría a su vez gradualmente, liberando más N (Thompson, 1988).

2.2.6.1. Factores que afectan la mineralización

A. Vegetación

La composición de los vegetales es variada, lo que hace, por una parte, que la secuencia en la degradación de sus constituyentes no sea uniforme, y por otra parte, que algunos de sus componentes ejerzan acciones positivas o negativas sobre la actividad microbiana responsable de la transformación (Labrador, 1996). Entre los factores positivos figura la riqueza en N del material vegetal, expresada por la relación C/N y el contenido en compuestos hidrosolubles (polisacáridos), y compuestos nitrogenados. Los factores negativos, sin embargo, están relacionados con el contenido de compuestos fitotóxicos, tales como determinados lípidos, resinas y ceras, o polifenoles que puedan desacelerar la biodegradación de las proteínas (Labrador, 1996). A menudo se incluye como factor negativo en la transformación un contenido elevado de lignina, sin embargo, a mayor riqueza en lignina, mayor cantidad de humus producido.

Desde un punto de vista forestal la vegetación mejorante son aquellas plantas con hojas poco lignificadas y ricas en N que presenta una relación C/N foliar menor de 25.0

como el aliso (*Alnus* spp.), fresno (*Fraxinus* spp.), olmo (*Ulmus* spp.), entre otras. Una vegetación acidificante es aquella que presenta un alto contenido en lípidos y en lignina con una relación C/N mayor de 50.0 con tendencia a originar poco humus evolucionado (plantas resinosas y plantas de la familia *Ericaceae*). La accesibilidad y el tamaño de los restos es un factor que influye en la velocidad de su descomposición. La fragmentación del material facilita la acción microbiana, originando mayores superficies para el ataque, lo que acelera los procesos de descomposición. Los microorganismos juegan el papel más importante en la trituración, transporte y mezcla de la materia orgánica (Labrador, 1996).

B. Organismos

La población microbiana participa en los procesos de mineralización y humificación de la materia orgánica. Se encargan de descomponer, transformar a los compuestos más simples y mineralizar los constituyentes de los restos orgánicos. Los microorganismos catalizan las reacciones de polimerización de los compuestos fenólicos previo a la formación de sustancias húmicas y contribuyen a la formación de las cadenas alifáticas de las sustancias húmicas. Actúan en la degradación de la materia orgánica, básicamente fragmentando residuos orgánicos y mezclándolos con los elementos minerales con lo que aumentan los microorganismos encargados de la transformación de la misma.

Además, excretan sustancias que estimulan el crecimiento de las plantas y de otros microorganismos ya que en sus deyecciones se multiplican organismos fijadores de N según Primavesi (1984) citado por Labrador (1996), y enriquecen el suelo con calcio (Ca) orgánico (lombrices, hormigas) y originan distintos tipos de humus (Labrador, 1996). Sin embargo, la multitud de factores ambientales que actúan sobre estos seres vivos y las perturbaciones que sobre dichas poblaciones se pueden ocasionar mediante un manejo agronómico intensivo del suelo pueden ser enormes, con la consiguiente repercusión sobre la velocidad y el equilibrio en la dinámica de la transformación de la materia orgánica, así como la fertilidad del suelo (Labrador, 1996).

C. Clima

El clima interviene de forma determinante sobre la génesis del suelo, el desarrollo de la vegetación, las características de la misma y la actividad de los organismos edáficos. En el caso de la vegetación las secuencias climáticas que dan lugar a valores determinados de pluviosidad y temperatura que abarcan zonas latitudinales sucesivas, marcarán el ritmo de la vegetación climática asociada. Esta íntima relación tendrá una respuesta directa y determinante sobre la edafogénesis y fundamentalmente sobre los procesos relacionados con la transformación de la materia orgánica. Consecuentemente la vegetación aparece estrechamente ligada a los procesos de formación de los distintos tipos de humus. Una temperatura moderadamente alta y una humedad adecuada incrementan la actividad mineralizadora de los microorganismos (Labrador, 1996).

D. Humedad

Al igual que el clima, el contenido de humedad afecta al desarrollo de la vegetación de manera directa, y es evidente que a mayor cantidad de vegetación mayor cantidad de material orgánico que puede ser utilizado para la dinámica del ciclo orgánico (Labrador, 1996). La vida microbiana y su multiplicación exige la presencia de agua, bien proveniente de los residuos o bien directamente del suelo. Es bien sabido que las comunidades microbianas de suelos de zonas semiáridas se activan con bastante rapidez en el momento en que las condiciones ambientales, especialmente la humedad, les son favorables (Labrador, 1996).

E. Aireación

Los microorganismos habitan y se desarrollan en los poros del suelo, en la mayor parte de los casos en su superficie, correspondiendo la mayor ocupación a los poros de mayor tamaño. De estos poros la mayor parte de los que transforman la materia orgánica son aerobios. Cuando los suelos se humedecen en forma tal que los macroporos quedan llenos de agua, la descomposición de la materia orgánica queda limitada por la velocidad

con que el oxígeno (O) pueda difundirse hasta los puntos con actividad microbiana según Jenkinson (1992) citado por Labrador (1996). Generalmente, bajo condiciones de mala aeración o anaerobiosis sólo se produce la acumulación de los restos vegetales, siendo muy lenta su transformación y mineralización (Fassbender, 1994). Por ejemplo, la lignina no es atacada en anaerobiosis, y los residuos orgánicos parcialmente humificados conocidos como turba pueden acumularse sin variaciones indefinidamente (Labrador, 1996).

2.2.7. HUMIFICACIÓN

La bioquímica de la formación de las sustancias húmicas es uno de los aspectos menos entendido de la química del humus, así como una de las más intrigantes según Stevenson (1982) citado por Silva (2004). El conocimiento de cómo se forman las sustancias húmicas prevería claves valiosas acerca de sus estructuras. Entender también los caminos a través de los cuales se verifica la síntesis del humus resultaría en una mayor comprensión del ciclo del carbono (C) y de los cambios que ocurren cuando residuos de plantas y desechos orgánicos son descompuestos por los microorganismos del suelo (Silva, 2004). Según Kass (1996) en la formación de humus o proceso de humificación de la materia orgánica, se pueden notar cuatro fases que son:

1. Descomposición de la biomasa, lo que incluye lignina, carbohidratos, proteínas y compuestos simples, como los azúcares aminados.
2. Metabolismo microbiano, mediante compuestos enzimáticos que actúan sobre estos residuos acelerando el proceso de degradación y posteriormente de polimerización.
3. Reciclaje de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y oxígeno (O), entre la materia orgánica y la biomasa del suelo.
4. Polimerización de los compuestos orgánicos reciclados, por actividad de los microorganismos.

Los compuestos de humus involucrados en las fases 3 y 4 se consideran polímeros fenólicos derivados de las fases 1 y 2. Son compuestos reactivos, que contienen anillos de benceno oxigenado (quinonas), que se polimerizan fácilmente según Sposito (1989) citado por Kass (1996).

2.2.7.1. Humus

El complejo de compuestos orgánicos de color marrón, pardo y amarillo, que se extrae del suelo por soluciones de álcalis, sales neutras o disolventes orgánicos, lleva el nombre de sustancias húmicas o humus según Kononova (1982). Las sustancias húmicas se sistematizan en los siguientes grupos:

1. Ácidos húmicos y úlmicos
2. Ácidos crénicos y apocrénicos (fúlvicos)
3. Ácido himatomelánico
4. Humina y ulmina

2.2.7.2. Tipos de humus

Según Fassbender (1994) el humus se puede clasificar de diversos puntos de vista. Los criterios más importantes que se utilizan para ello son su morfología, sus formas en la naturaleza y su composición química. La clasificación morfogenética, propuesta por Kubiena citado por Fassbender (1994), se basa en los aspectos macro y micromorfológicos del humus en la naturaleza. En las condiciones ecológicas de un suelo se desarrolla un tipo determinado de vegetación, lo que hace que los restos que se depositan en él tengan, igualmente, una composición específica. Finalmente y por la acción de los microorganismos desarrollados en ese medio, se producen determinados tipo de humus.

A. Procesos aeróbicos

1. Mull cálcico: Saturado en bases. Formado en un medio biológicamente activo. La descomposición de los restos frescos es rápida. Existe un horizonte A1 espeso oscuro. Tiene una adecuada estructura, aireado, agregados muy estables, pH 7 o mayor. Las relaciones C/N son de orden 10. Hay un número importante de ácidos orgánicos grises, fuertemente polimerizados e íntimamente ligados a las arcillas.
2. Mull forestal: No es exclusivamente forestal. Es similar al anterior. El A1 es menos espeso, de color más claro. Estructura menos estable, pH ácido aproximadamente 5.5. La polimerización es menos marcada. La relación AF/AH es mayor a 1.
3. Moder: Tiene horizonte 0. Luego A1 oscuro. Tiene mala estructura, ausencia de un verdadero complejo arcillo-humus. La proporción de materia orgánica no descompuesta es más elevada. Los compuestos húmicos son siempre poco polimerizados, estos son del tipo húmico y fúlvico.
4. Mor: Típicos de los medios biológicamente pocos activos. La mineralización de la materia orgánica fresca es lenta. Existe una estructura organizada sobre el suelo mineral, se forma una capa de color pardo o negra. Este es el horizonte 0. La humificación es muy lenta, cuando se forman compuestos húmicos éstos son solubles y solo se polimerizan lentamente así como parcialmente. Se produce solo pequeñas cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos pardos de bajo peso molecular. Estos son arrastrados en profundidad provocando los procesos de alteración y de migración de ciertos compuestos minerales.

B. Procesos anaeróbicos

1. Turbas: Se forman en un medio mal aireado, saturados de agua, de manera casi permanente en todas las estaciones del año. En estas condiciones pocos microorganismos pueden vivir, de ésta forma la descomposición y la humificación de

la materia orgánica son muy lentas, que se acumula en capas espesas constantemente embebidas en agua. La relación C/N oscila entre 30 – 40.

2. Anmor: Suelo temporalmente saturado de agua, o con una capa freática que oscila bastante según las estaciones. La diferencia con la turba es que el anmor es una mezcla íntima de arcilla y materia orgánica transformada y más o menos humificada. La cantidad de MO es menor a 30.0 %.

2.2.7.3. Ácidos húmicos

En el grupo de los ácidos húmicos están las materias que se extraen del suelo por disolventes como NaOH, KOH, NH₄OH, Na₂HCO₃, Na₄P₂O₇, NaF, entre otros, que al acidificarse con ácidos minerales, se precipitan de las soluciones obtenidas en forma de un gel oscuro (Kononova 1982). Según Labrador (1996) la estructura de la macromolécula húmica corresponde a la de las sustancias húmicas en general. Es decir, son mezclas de macromoléculas heteropolicondensadas, en estructuras tridimensionales flexibles, de carácter predominante aromático, a las que se unen aminoácidos, péptidos, ácidos alifáticos y otros compuestos orgánicos. Dando la impresión, al visualizarlas al microscopio electrónico, de estar formadas por partículas planas redondeadas que se unen entre sí, formando un retículo esponjoso. Según Schnitzer (1991) citado por Labrador (1996) la forma de los ácidos húmicos tienen importancia en los procesos de génesis del suelo, en la formación de una buena estructura, en la disponibilidad y movilidad de determinados nutrientes, especialmente micronutrientes, así como en la persistencia y degradación de plaguicidas en el suelo.

2.2.7.4. Ácidos fúlvicos

Los ácidos fúlvicos, son extraíbles con reactivos alcalinos y solubles a todos los valores de pH. Poseen unidades estructurales semejantes a las de los ácidos húmicos, pero su estructura es más sencilla. Presentan una unidad nuclear (estructuras aromáticas de C) poco pronunciada, habiendo un predominio mayor de constituyentes O-alquílicos

(carbohidratos) y de grupos funcionales oxigenados. Este predominio, es representado por una relación estructural aromática y de cadenas laterales que explicaría una mayor solubilidad de éstos con respecto a los húmicos. Además, su estructura es más flexible y hay un mayor contenido de grupos funcionales en exposición y un menor grado de policondensación, incluso aunque los tamaños moleculares puedan ser parecidos (Labrador, 1996).

2.2.7.5. Características de los ácidos húmicos y fúlvicos que influyen en su reactividad

Según Kass (1996) los análisis espectroscópicos y fisicoquímicos han indicado que cuatro características estructurales de los ácidos húmicos y fúlvicos contribuyen a su reactividad química. Las características estructurales son las siguientes:

1. Polifuncionalidad: Por la existencia de gran cantidad de grupos funcionales con diferentes valores de reactividad como los grupos carboxílicos, fenólicos e hidroxílicos.
2. Carga macromolecular: Por el desarrollo de características aniónicas en moléculas grandes.
3. Hidrofilidad: Por la tendencia a formar enlaces fuertes de H con el agua, haciendo solvente a los grupos funcionales carboxílicos (COOH) e hidroxílicos (OH).
4. Reactividad estructural: Por la capacidad de asociar moléculas o de cambiar su composición molecular, en respuesta a cambios en el medio, por variaciones en el pH, en las condiciones de oxidación-reducción, o en la concentración de electrolitos y en los enlaces de grupos funcionales carboxílicos, fenólicos o hidroxílicos (Kass, 1996).

2.2.7.6. Relación de los ácidos húmicos y fúlvicos

Según Silva (2004) el porcentaje de humus varía considerablemente de un tipo de suelo a otro. El humus de los suelos forestales es caracterizado por un alto contenido de

ácido fúlvicos, mientras que los suelos de pradera tienen un alto contenido de ácidos húmicos. Las diferencias existen también dentro de los suelos representativos de los principales grupos de suelos. Así los AH de los Spodosoles y Alfisoles son menos aromáticos en la naturaleza y más semejantes a los AF, que a los AH de los Molisoles (Silva, 2004).

Específicamente los ácidos húmicos de los suelos forestales tienen menos contenido de carbono (C) y mayor contenido de hidrógeno (H) que aquellos ácidos húmicos de los suelos de pradera. Los ácidos húmicos de los suelos forestales son mayoritariamente del tipo de ácidos húmicos pardos, en tanto que en los suelos de pradera son del tipo de ácidos húmicos grises. Debido a estas diferencias, los ácidos húmicos de diferentes suelos no pueden ser considerados como exactamente iguales en sus efectos sobre las propiedades de los suelos así como sobre los procesos de formación (Silva, 2004).

2.2.8. SUELOS ANDISOLES

Las características más importantes de los suelos Andisoles las hace Malagón, Pulido y Llinás (1990) citado por MAGA.UPGGR (2010) a continuación:

2.2.8.1. Características morfológicas

Según MAGA.UPGGR (2010) los suelos Andisoles poseen horizontes A y C, o bien A, B y C. Los horizontes A son espesos, oscuros, porosos, friables, no plásticos, ni pegajosos.

2.2.8.2. Características químicas

Contienen altos contenidos de materia orgánica y son integrantes de los complejos de adsorción orgánico mineral. Poseen una alta capacidad de intercambio y carga variable (de acuerdo al pH). Tiene una alta retención de fosfatos, y abundante aluminio (Al) y hierro (Fe) activos (MAGA.UPGGR, 2010).

2.2.8.3. Características bioquímicas

Las relaciones de ácidos húmicos y fúlvicos (AH/AF) son variables, acordes al grado y tipo de evolución, generando complejos organominerales resistentes a la mineralización biológica (MAGA.UPGGR, 2010).

2.2.8.4. Características físicas

Presentan una densidad aparente baja, con alta retención de humedad excepto en texturas arenosas y francas gruesas. Contienen una alta superficie específica y una sensación untuosa, cerosa o grasosa al tacto y, en algunos casos tixotropía (dificultad para dispersar), por esta razón se recomienda usar las texturas organolépticas o al tacto (MAGA.UPGGR, 2010).

2.2.8.5. Característica mineralógicas y micromorfológicas

Poseen minerales o materiales de bajo grado de organización o de formación de estructuras ordenadas como alófanos, imogolita y ferrihidrita, con dominio del vidrio volcánico en la fracción arenosa y limosa (MAGA.UPGGR, 2010). Los suelos Andisoles poseen capas de materiales piroplásticos recientes que pueden variar desde los 50 cm hasta más de 200 cm de profundidad, con poco desarrollo pedogenético e influenciado por un contenido alto de materia orgánica en la superficie. Se destacan el vidrio volcánico, las texturas gruesas y su poca capacidad de retención de humedad (MAGA.UPGGR, 2010).

2.3. MARCO REFERENCIAL

2.3.1. LOCALIZACIÓN, EXTENSIÓN Y LÍMITES

Según MAGA.UPGGR (2010) el departamento de Chimaltenango se localiza en la región central y su cabecera departamental dista 54 kilómetros de la Ciudad de Guatemala que es la capital del país. La mayor parte de su territorio se encuentra ubicado sobre la cordillera central que posee montañas elevadas, dos volcanes activos, el volcán de Fuego y Acatenango (3,829 y 3,827 metros sobre el nivel del mar, respectivamente) y altiplanicies profundamente disectadas por cañones, denominados localmente “barrancos” (MAGA.UPGGR, 2010).

Esta unidad político administrativa ocupa una extensión territorial aproximada de 1,685 km² (según la base geográfica y digital del Instituto Geográfico Nacional) y limita al norte con los departamentos de Quiché y Baja Verapaz en los cuales el Río Motagua es el límite natural; al este con los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez; al sur con los departamentos de Escuintla y Suchitepéquez y al oeste con el departamento de Sololá. (MAGA.UPGGR, 2010).

El sur del departamento comienza en la Planicie Costera del Pacífico donde el clima es cálido y húmedo, al remontar hacia las tierras altas la temperatura disminuye significativamente constituyendo climas templados y semifríos con distintos rangos de temperatura y humedad. Al norte la temperatura aumenta significativamente y disminuye la humedad formando un clima semicálido. Los principales ríos que lo atraviesan son el Río Coyolate, Madre Vieja, Pixcayá y el Río Grande o Motagua (MAGA.UPGGR, 2010).

2.3.2. DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA

Este departamento conjuntamente con los departamentos de Sacatepéquez y Escuintla constituye la Región V denominada “central”. A nivel municipal, el departamento está constituido por 16 municipios que son: Chimaltenango, San José Poaquil, San Martín

Jilotepeque, San Juan Comalapa, Santa Apolonia, Tecpán Guatemala, Patzún, San Miguel Pochuta, Patzicia, Santa Cruz Balanyá, Acatenango, San Pedro Yepocapa, San Andrés Itzapa, Parramos, Zaragoza y el Tejar (MAGA.UPGGR, 2010).

Geográficamente se pueden clasificar los municipios en tres zonas bien diferenciadas: a) Zona norte conformada por los municipios de San Martín Jilotepeque, San José Poaquil, Santa Apolonia y Tecpán Guatemala; b) Zona centro que incluye a Chimaltenango, El Tejar, Parramos, San Andrés Itzapa, Zaragoza, San Juan Comalapa, Patzún, Patzicia y Santa Cruz Balanyá, y c) Zona sur que incluye a San Pedro Yepocapa, Acatenango y San Miguel Pochuta (MAGA.UPGGR, 2010).

2.3.3. GEOLOGÍA

Según MAGA.UPGGR (2010) el departamento está conformado por una variedad de materiales de origen volcánico, metamórfico y sedimentario (MAGA.UPGGR, 2010). Simmons *et al.* (1959) divide a los suelos de Chimaltenango en cuatro grupos: los Suelos de las Montañas Volcánicas (I) que incluye las series Balanjuyú, Camanchá, y Totonicapán. Los suelos de la Altiplanicie Central (II) se encuentra dividida en tres subgrupos y las series son Cauqué, Guatemala, Patzicia, Patzité, Quiché, Tecpán, Tolimán, Salamá, Zacualpa, Guatemala (f. inclinada), Chinautla y el Chol. Los suelos del Declive del Pacífico (III) incluye tres subgrupos y las series son Camantulul, Chicolá, Suchitepéquez, Cutzán, Chipó, Alotenango, Palín, Panán y Yepocapa. Por último los suelos de las Clases Misceláneas de Terreno (IV) contiene las series de suelos de las Áreas Fragosas, las Cimas Volcánicas y los Valles no diferenciados. El grupo I se caracterizan porque los suelos son superficiales profundos que tiene un alto contenido de materia orgánica. El grupo II se caracteriza por tener suelos profundos desarrollados sobre ceniza volcánica de color claro. En otro subgrupo los suelos son poco profundos con pendientes mayores al 25.0 %.

2.3.4. CLIMA

El departamento de Chimaltenango según la clasificación de zonas climáticas realizadas por INSIVUMEH (2015) se encuentra en la región de la Meseta y Altiplanos. La región presenta una alta densidad poblacional, con áreas montañosas que generan una gran cantidad de micro climas. Las lluvias no son tan intensas y los registros más altos se dan en los meses de mayo a octubre. Los climas existentes en la región son templados, semifríos de carácter húmedo y semisecos.

2.3.4.1. Temperatura

Con referencia a los valores de temperaturas medias anuales, el departamento posee un gradiente bien definida de sur a norte. En el sur la temperatura media anual oscila entre los 24 a 25 grados centígrados y en la medida que se asciende hacia el norte van disminuyendo hasta llegar a los 17 – 18 grados centígrados hasta llegar al altiplano con medias de 14 a 15 grados centígrados. Posteriormente comienza una lenta subida de las temperaturas medias que culmina en el extremo norte del departamento (en las vegas del Río Motagua) con un rango similar al iniciado en el sur o sea, 24 a 25 grados centígrados de temperatura media. La Evapotranspiración Potencial (ETP) tiene un comportamiento similar y los valores máximos se ubican en el extremo norte del departamento (MAGA.UPRRG, 2010).

2.3.4.2. Humedad

Las precipitaciones medias anuales tienen un gradiente bien marcada de sur a norte, comienzan en el sur con valores de 4000 mm anuales que disminuyen gradualmente en la medida que se asciende hasta el altiplano donde se registran precipitaciones con rangos de los 1,300 a 1,500 mm y continúan disminuyendo hacia el norte donde llegan a valores de 900 a 800 mm anuales en las cercanías del límite departamental marcado por el Río Motagua (MAGA.UPGGR, 2010).

2.3.4.3. Zonas de vida y tipo de cobertura boscosa

De acuerdo al estudio realizado por De La Cruz (1982) citado por MAGA.UPGGR (2010), aplicando el Sistema Holdridge de zonas de vida, en el departamento se presentan cinco zonas de vida que se nombran en el cuadro 2.6 ordenadas según aparecen de norte a sur en el territorio departamental y con los datos de la superficie de cobertura boscosa que contienen.

Cuadro 2.6. Zonas de vida (sistema Holdridge) del departamento de Chimaltenango.

Zona de vida	Símbolo	Superficie de la zona de vida (ha)	Tipo de cobertura boscosa		
			Mixto	Latifoliado	Conífero
Bosque seco Subtropical	bs-S	1,500	289.4	0.0	0.0
Bosque húmedo Subtropical (templado)	bh-S(t)	14,800	8,595.4	0.0	126.9
Bosque húmedo Montano bajo Subtropical	bh-MB	100,600	46,775.8	794.6	21.5
Bosque muy húmedo Montano bajo Subtropical	Bmh-MB	36,200	18,149.7	29.3	27.8
Bosque muy húmedo Subtropical (cálido)	Bmh-S(c)	33,400	3,047.5	4,405.5	0.0
Totales		186,500	76,857.8	5,229.1	176.2

Fuente: De La Cruz (1982) citado por MAGA.UPGGR (2010).

2.3.5. HIDROGRAFÍA

El sistema hidrográfico nacional se divide en tres vertientes (del Golfo de México, del Caribe y del Océano Pacífico), las cuales a su vez comprenden 38 cuencas hidrográficas. Por la posición geográfica en que se ubica el departamento de Chimaltenango es atravesando por la divisoria de las vertientes del Caribe y del Océano Pacífico, la cual asciende desde el sureste del departamento y sigue sobre los conos volcánicos de Fuego y Acatenango con rumbo noreste cruza un sector del altiplano en dirección a las cimas de las

montañas del municipio de Tecpán Guatemala. A partir de esta divisoria, el territorio departamental se conforma con cuatro cuencas hidrográficas, Motagua, Coyolate, Madre Vieja y Achiguate (MAGA.UPGGR, 2010). Los ríos de la vertiente del Pacífico están caracterizados por poseer pendientes abruptas y en los sectores con influencia volcánica, acarrear grandes volúmenes de escoria y ceniza volcánica lo que provoca que los ríos mantengan cursos inestables y provoquen inundaciones en su parte baja según INSIVUMEH (2004) citado por MAGA.UPGGR (2010).

2.3.6. USO DE LA TIERRA

Con respecto a los territorios agrícolas, dentro de la categoría cultivos anuales destacan los granos básicos ya que ocupan el 17.6 % del territorio departamental y es la superficie dedicada a la producción de los alimentos que constituyen la dieta básica de la población. La categoría cultivos permanentes ocupa el 19.5 % de la superficie, donde predomina el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra, otros cultivos en esta categoría son los frutales deciduos, entre otros; la producción hortícola del departamento está comprendida dentro de la categoría hortalizas y mosaico de cultivos que ocupa el 8.3 % de la superficie departamental. La economía local se sustenta en la producción de café (*Coffea arabica*) y en la producción de hortalizas de consumo local y de exportación (MAGA. UPGGR, 2010).

La categoría pastos naturales y medios con vegetación arbustiva y/o herbácea ocupan el 6.6 % de la superficie departamental, el uso original de estas tierras fue de bosques que fueron habilitadas para realizar agricultura limpia y están en proceso de sucesión ecológica (MAGA.UPGGR, 2010). La categoría bosques y medios seminaturales ocupan 44.4 % del territorio y se vinculan con las zonas de vida que ocupan (Sistema Holdridge).

2.4. ANTECEDENTES

Actualmente en la Facultad de Agronomía no se tiene la suficiente información acerca de investigaciones específicas sobre el estudio de las propiedades químicas como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), potencial de hidrógeno (pH), carbono orgánico (CO) y físicas como la retención de humedad (RH) y el porcentaje de arcilla (Arc) de los suelos al relacionarlos con las concentraciones de carbono orgánico de los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) de la materia orgánica. En el 2010 el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), conjuntamente con la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo (UPGGR), realizan el Estudio Semidetallado de los suelos del departamento de Chimaltenango, Guatemala. En dicho estudio se caracterizan las propiedades físicas y químicas de los órdenes de suelos Inceptisol, Andisol, Entisol, Mollisol, Alfisol, y Vertisol publicando datos de materia orgánica y carbono orgánico pero no realizando estudios de fraccionamiento de la materia orgánica en sustancias húmicas.

González (2008) realizó el fraccionamiento de la materia orgánica en suelos de la zona cafetera de Caldas, Colombia. En dicha investigación define a las unidades de muestreo utilizando material parental contrastante de la zona cafetera de Caldas y pertenecientes a las unidades cartográficas Chinchiná, (MP cenizas volcánicas), Guamal (sedimentario), Doscientos (ígneo), Tablazo (metamórfico), Maiba (ígneo), y Cascarero (metamórfico). Realizó un muestreo en 40 cafetales, 20 a libre exposición solar y 20 con sombrío de guamo (*Inga spp.*), a dos profundidades de 0.00 a 0.15 m y 0.15 a 0.30 m. En dicha investigación concluye que no se encuentra relación entre el carbono (C) de los (AH) con el P, K, Ca, Mg, S, Al, y con respecto al carbono (C) de los ácidos fúlvicos se presenta una correlación significativa con la capacidad de intercambio catiónico.

Arnaldo *et al.* (2009) realizó el fraccionamiento de carbono orgánico fácilmente oxidable y su relación con la actividad microbiológica, biomasa microbiana, y la cantidad de ADN en suelos cacaoteros venezolanos. En dicha investigación evalúa parámetros como el índice, grado, y razón de humidificación y la relación de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos (AH/AF). En sus resultados concluye que la actividad microbiológica correlaciona

significativamente con los parámetros de humificación calculados y el contenido de carbono (C) de las fracciones obtenidas, excepto con la fracción de sustancias no húmicas.

Broquen (2004) investigó las relaciones entre el carbono extraíble total (CET) y propiedades edáficas en suelos derivados de cenizas volcánicas al sudoeste de Neuquén en Argentina. En dicha investigación evaluó las propiedades edáficas como aluminio extractable con oxalato (Alo), aluminio extractable con pirofosfato (Alp), pH en H₂O, pH en NaF, y densidad aparente (Da). En sus resultados concluye que en los dos grupos estudiados la densidad aparente no correlaciona significativamente con el contenido de carbono extraíble total (CET) probablemente porque la densidad aparente refleja la influencia del material de origen y su evolución más que la interacción de la fracción orgánica con la fracción mineral del suelo. Con las propiedades químicas como pH hubo una significancia esto debido al tipo de arcilla alófana presente.

2.5. OBJETIVOS

2.5.1. GENERAL

A. Fraccionar la materia orgánica de veinte y siete suelos del orden Andisol en sustancias húmicas y correlacionarlos con sus propiedades físicas y químicas para definir la influencia de las diferentes variables sobre la CIC en el departamento de Chimaltenango.

2.5.2. ESPECÍFICOS

A. Determinar el porcentaje de carbono extraíble total (CET) de ácidos húmicos (AH) y de ácidos fúlvicos (AF) de la materia orgánica (MO) en 27 puntos de muestreo en suelos Andisoles del departamento de Chimaltenango.

B. Determinar las propiedades químicas como capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de materia orgánica (MO) y potencial de hidrógeno (pH) en suelos Andisoles en el departamento de Chimaltenango.

C. Determinar las propiedades físicas como porcentaje de arcilla (Arc) y retención de humedad (RH) a capacidad de campo en suelos Andisoles en el departamento de Chimaltenango.

D. Realizar un análisis de correlación para asociar las variables físicas como la retención de humedad, porcentaje de arcilla y químicas como el porcentaje de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico con los contenidos de ácidos húmicos y fúlvicos en suelos Andisoles en el departamento de Chimaltenango.

2.6. HIPÓTESIS

- 2.6.1.** Los suelos agrícolas del orden Andisol presentarán una mayor concentración de ácidos húmicos que de ácidos fúlvicos expresados en porcentaje de carbono orgánico, a diferencia de los suelos forestales que presentarán una mayor concentración de ácidos fúlvicos.
- 2.6.2.** Suelos Andisoles con relaciones de ácidos húmico y ácidos fúlvicos (AH/AF) mayores a 1.0 presentarán mejores índices en sus diferentes propiedades químicas y físicas.

2.7. METODOLOGÍA

2.7.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.7.1.1. Muestreo de suelos

La delimitación del área de trabajo para establecer los puntos de muestreo se realizó mediante la utilización de dos mapas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), a escala 1:50,000. El primer mapa fue el de órdenes de suelos y el segundo el mapa el de capacidad de uso, ambos del departamento de Chimaltenango.

Se tomaron 10 puntos de muestreo en áreas de uso agrícola con clases de capacidad de uso II, III y IV, y 10 puntos de muestreo en áreas de uso forestal con clases de capacidad de uso VI, VII y VIII. Los puntos de muestreo de áreas agrícolas contenían especies agrícolas al igual que los puntos de muestreo forestal que contenían especies arbóreas. Para ello se utilizó el mapa de uso actual a escala 1:50,000 para la verificar las capacidades de uso y hubiese concordancia en los resultados.

El tipo de muestreo propuesto para este trabajo de investigación fue el muestreo dirigido para tener áreas de conveniencia según la concentración de materia orgánica ya que se pretende que exista variación en la concentración de la misma para obtener diferencias significativas en los resultados.

2.7.2. VARIABLES RESPUESTA Y SIMBOLOGÍA

2.7.2.1. Propiedades químicas

1. Carbono orgánico fácilmente oxidable (CO)
2. Porcentaje de carbono orgánico extraíble total (CET)
3. Porcentaje de carbono (C) de ácidos húmicos (AH)
4. Porcentaje de carbono (C) de ácidos fúlvicos (AF)
5. Relación ácidos húmicos y ácidos fúlvicos (AH/AF)
6. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
7. Potencial de hidrógeno (pH)

2.7.2.2. Propiedades físicas

1. Porcentaje de arcilla (Arc)
2. Retención de humedad a 33 (kPa)

Las diferentes metodologías que se utilizaron en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” de la FAUSAC para determinar las variables respuestas se detallan en el cuadro 2.7.

Cuadro 2.7. Metodologías utilizadas para la determinación de las diferentes variables respuestas.

VARIABLE RESPUESTA	METODOLOGÍA UTILIZADA
CO	Walkley-Black modificado
CET	Pirofosfato + NaOH [0.1 M]
AH	Walkley-Black modificado
AF	Walkley-Black modificado
CIC	Acetato de amonio $\text{CH}_3\text{COONH}_4$
Porcentaje de arcilla	Hidrómetro de Bouyoucos
Retención de humedad	Olla de presión y platos

Fuente: Jackson (1976) y MAGA.UPGGR (2010).

2.7.3. ANÁLISIS QUÍMICO

2.7.3.1. Preparación de la muestra

1. Se realizó el secado de la muestra de manera natural (a la sombra), en un lugar limpio y seco para evitar cualquier alteración de los constituyentes, por un tiempo de 48 horas como máximo dependiendo de la época del año y procedencia de la muestra.
2. Luego se hizo una molienda de la muestra para reducir su tamaño, para una mejor exposición de los constituyentes. Se efectuó de manera manual.
3. Se tamizó la muestra utilizando un tamiz de 2.0 mm, esto para descartar, materiales de mayor tamaño (gravas y restos vegetales).
4. Luego se almacenó la muestra en bolsas plásticas previamente identificadas (según los códigos usados por el Laboratorio) para el posterior análisis.

2.7.3.2. Fraccionamiento de la materia orgánica

Este proceso químico se realizó mediante la metodología descrita por Kononova (1982) utilizando pirofosfato de sodio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) e hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M. Luego la separación de las sustancias húmicas se realizó con ácidos y bases como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) e hidróxido de sodio (NaOH) por el principio químico de solubilidad, debido a que los ácidos fúlvicos son solubles en medio ácido y básico mientras que los ácidos húmicos únicamente son solubles en medios alcalinos (ver anexo 14.1).

2.7.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para la siguiente investigación se realizaron análisis de correlación simple para determinar el método que permita la mejor relación funcional entre las variables de la concentración de ácidos húmicos y fúlvicos con propiedades químicas como materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y propiedades físicas como el porcentaje de arcilla y la retención de humedad. Según el ajuste de las variables para el estudio que se presenta se detalla el modelo matemático utilizado:

$$Y_i = b_0 + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + b_3X_{3i} + b_4X_{4i} + b_5X_{5i} + b_6X_{6i}$$

Donde:

Y_i = Capacidad de intercambio catiónico

$b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ = coeficientes lineales de regresión

b_0 = Constante

X_1 = Materia orgánica

X_2 = Ácido húmicos

X_3 = Ácido fúlvicos

X_4 = Arcilla

X_5 = Retención de humedad a capacidad de campo

2.8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta la ubicación de los puntos de muestreo de los suelos en el departamento de Chimaltenango. El cuadro 2.8 incluye la identificación de los puntos de muestreo, los nombres de los lugares de procedencia, y las coordenadas de localización geográfica. Los puntos muestreados pertenecen a suelos del orden Andisol.

Cuadro 2.8. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo clasificados como suelos Andisoles en el departamento de Chimaltenango.

PTO.	MUNICIPIO	ALDEA	UTM	
			X	Y
40342	San Martín Jilotepeque	San Isidro	469106	1640204
40408	San Juan Comalapa	Paraxaquen	457951	1633959
40623	Tecpán	Santa Victoria	437511	1633933
40624	Tecpán	Pachalí	441797	1632461
40709	Patzún	El Sitio	448082	1614688
40711	Patzún	Chuaquenum	437988	1621155
40713	Patzún	Xepatán	443076	1619909
40801	San Miguel Pochuta	-	433310	1600064
40805	San Miguel Pochuta	El Encanto	439335	1604539
40810	San Miguel Pochuta	Unión Victoria	440794	1611657
40814	San Miguel Pochuta	-	438415	1600444
40816	San Miguel Pochuta	San Antonio	434970	1613242
41104	Acatenango	El Tablón	445462	1605745
41105	Acatenango	-	453234	1609371
41113	Acatenango	El Tesoro	455865	1606328
41114	Acatenango	Los Planes	456053	1611093
41211	San Pedro Yepocapa	Nueva Victoria	445024	1601954
41213	San Pedro Yepocapa	-	449129	1605363
41215	San Pedro Yepocapa	-	445724	1598748
41216	San Pedro Yepocapa	-	444231	1597761
41218	San Pedro Yepocapa	Panimaché	450624	1596362
41220	San Pedro Yepocapa	-	448379	1589863
41222	Acatenango	Las Nubes	454271	1605349

Fuente: MAGA.UPGGR, 2010.

...Continuación del cuadro 2.8

PTO.	MUNICIPIO	ALDEA	UTM	
			X	Y
41302	San Andrés Itzapa	Chicazanga	459808	1614026
41308	San Andrés Itzapa	San José Calderas	460345	1608472
41309	San Andrés Itzapa	-	464364	1618294
41507	Zaragoza	Las Lomas	460870	1624952

Fuente: MAGA.UPGGR, 2010.

A continuación la figura 2.6 presenta el mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el departamento de Chimaltenango.

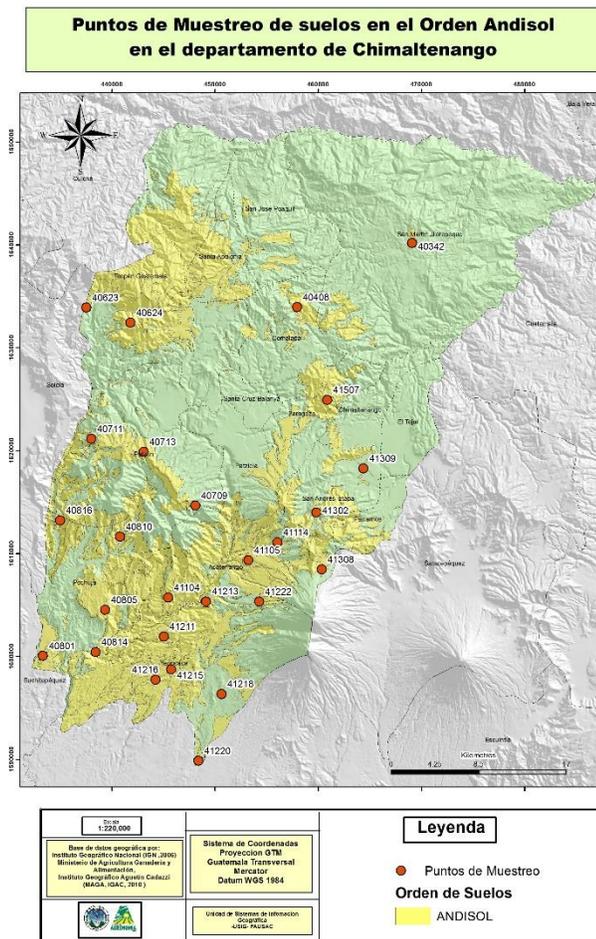


Figura 2.6. Ubicación de los puntos de muestreo de los suelos del orden Andisol en el departamento de Chimaltenango.

Fuente: Elaboración propia.

2.8.1. PUNTOS DE MUESTREO UBICADOS EN LAS CLASES DE TIERRAS SEGÚN LA CAPACIDAD DE USO Y USO ACTUAL

De acuerdo a las Clasificaciones por capacidad de uso y uso actual de la tierra utilizadas por el MAGA, los puntos de muestro se ubican dentro de las clases II, III, IV, VI, VII y VIII como se muestra en el cuadro 2.9.

Cuadro 2.9. Ubicación de los puntos de muestreo en las clases de capacidad de uso y uso actual de las tierras definidas en el departamento de Chimaltenango.

PTO.	MUNICIPIO	PENDIENTE	CLASE	USO ACTUAL	CULTIVO
40342	San Martín Jilotepeque	25-50%	VI	Agricultura	Maíz y Frijol
40408	San Juan Comalapa	25-50%	VII	Forestería	No hay
40623	Tecpán	3-7%	IV	A, F	Maíz y Frijol
40624	Tecpán	50-75%	VII	Forestería	-
40709	Patzún	25-50%	VII	A, F	Maíz y Arveja
40711	Patzún	25-50%	VII	A, F	Maíz y Frijol
40713	Patzún	50-75%	VII	Forestería	No hay
40801	San Miguel Pochuta	25-50%	III	Agricultura	Café
40805	San Miguel Pochuta	25-50%	VI	Agricultura	Café
40810	San Miguel Pochuta	25-50%	VII	Agricultura	Café
40814	San Miguel Pochuta	50-75%	VII	Forestería	No hay
40816	San Miguel Pochuta	25-50%	VIII	Agricultura	Café
41104	Acatenango	25-50%	VII	Agricultura	Café
41105	Acatenango	7-12%	VI	Agricultura	No hay
41113	Acatenango	50-75%	VII	Forestería	No hay
41114	Acatenango	12-25%	VII	A, F	Café
41211	San Pedro Yepocapa	12-25%	VII	A, F	Café
41213	San Pedro Yepocapa	> 75%	VII	A, F	Café
41215	San Pedro Yepocapa	25-50%	III	A, F	Café
41216	San Pedro Yepocapa	25-50%	VI	A, F	No hay
41218	San Pedro Yepocapa	12-25%	III	Agricultura	Maíz y Frijol
41220	San Pedro Yepocapa	3-7%	III	A, F	Caña de azúcar
41222	Acatenango	12-25%	VI	A, F	Hortalizas
41302	San Andrés Itzapa	12-25%	VIII	Agricultura	Zanahoria y Repollo

Fuente: MAGA.UPGGR, 2010.

...Continuación del cuadro 2.9

PTO.	MUNICIPIO	PENDIENTE	CLASE	USO ACTUAL	CULTIVO
41308	San Andrés Itzapa	7-12%	VII	G, A	Maíz y Frijol
41309	San Andrés Itzapa	7-12%	II	A, F	Maíz y Arveja
41507	Zaragoza	12-25%	VII	A, F	Maíz y Aguacate

**AF= Agricultura y Forestería; GA= Ganadería y Agricultura.

Fuente: MAGA.UPGGR, 2010.

Del total de los puntos de muestreo ubicados en las clases de tierras según su capacidad de uso, el 22.22 % son de vocación agrícola y pertenecen a las clases II, III y IV, y el 77.78 % son de vocación forestal por estar ubicadas en las clases VI, VII, y VIII. A continuación, se presenta el mapa de capacidad de uso definida para el departamento de Chimaltenango (ver figura 2.7).

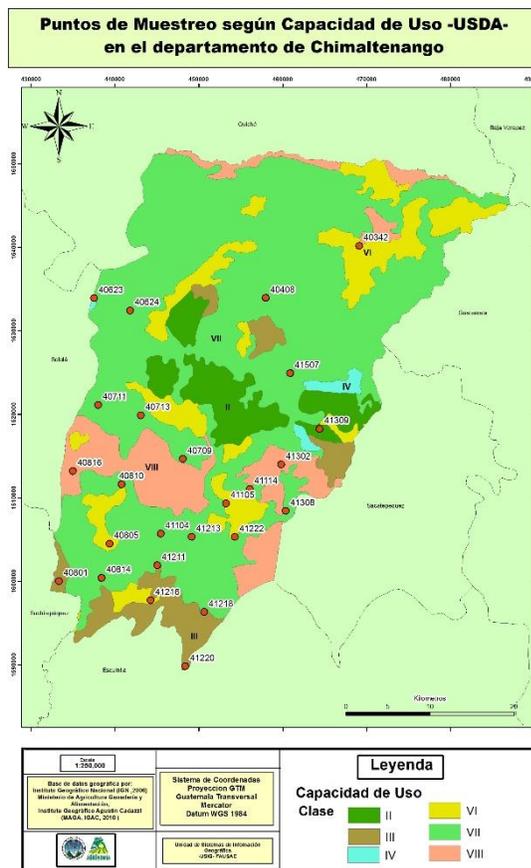


Figura 2.7. Ubicación de los puntos de muestreo de los suelos del orden Andisol, considerando la capacidad de uso, en el departamento de Chimaltenango.

Fuente: Elaboración propia.

El 37.03 % de los puntos muestreados se ubican en lugares dedicados a la agricultura según el uso actual de las tierras definas para el departamento. Los cultivos existentes en las áreas agrícolas son: maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris*), y hortalizas. Los suelos de uso forestal representan el 62.96 % y las especies existentes en la zona son: pino (*Pinus* spp.), ciprés (*Cupressus* spp.), encino (*Quercus* spp.), entre otras (ver cuadro 2.9).

En la figura 2.8 se muestran los porcentajes de los diferentes puntos de muestreo ubicados según su capacidad de uso y uso actual para los suelos del orden Andisol en el departamento de Chimaltenango.

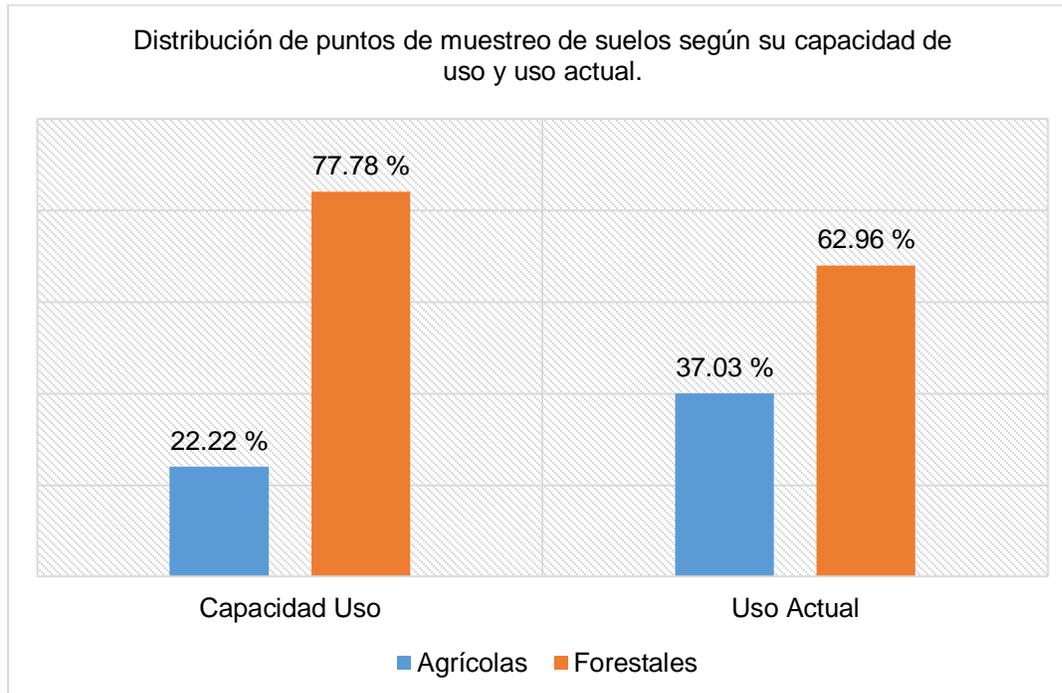


Figura 2.8. Porcentaje de los puntos de muestreo de suelos según su capacidad de uso y uso actual.

Fuente: Elaboración propia.

Existe una diferencia del 14.82 % entre los puntos de muestreo ubicados en las clases de uso agrícola según la capacidad de uso con los puntos ubicados en las áreas de uso agrícola actualmente. Lo que indica que los suelos están sobreutilizados (ver cuadro 2.9).

2.8.2. PROPIEDADES QUÍMICAS EN ESTUDIO

Las propiedades químicas en estudio fueron: materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), carbono extraíble total (CET), carbono (C) de los ácidos húmicos (AH), carbono (C) de los ácidos fúlvicos (AF), potencial de hidrógeno (pH), y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Los resultados se presentan en el cuadro 2.10.

Cuadro 2.10. Resultados de las propiedades químicas % M.O, % CO, % CET, % CAH, % CAF, pH y CIC de los 27 suelos analizados provenientes del departamento de Chimaltenango.

PTO.	% MO	% CO	% CET	% CAH	% CAF	pH	CIC Cmol(+).kg ⁻¹
40342	8.32	4.83	1.51	0.87	0.64	5.80	23.44
40408	5.73	3.32	1.38	0.76	0.61	5.80	29.06
40623	3.93	2.28	0.99	0.55	0.45	5.80	16.41
40624	7.86	4.56	2.36	1.12	1.24	5.80	40.31
40709	3.99	2.32	1.22	0.50	0.72	6.40	21.09
40711	3.13	1.81	0.86	0.35	0.51	5.90	22.50
40713	5.42	3.14	1.17	0.96	0.21	6.10	29.53
40801	3.79	2.20	0.79	0.16	0.63	6.30	23.91
40805	5.86	3.40	2.04	0.57	1.47	5.00	18.75
40810	5.46	3.17	1.78	0.71	1.08	6.00	26.72
40814	10.15	5.89	2.20	1.22	0.98	6.40	9.84
40816	7.89	4.58	2.38	0.53	1.85	6.30	28.12
41104	10.38	6.02	3.27	1.32	1.95	5.30	6.09
41105	6.26	3.63	1.59	0.83	0.76	5.30	15.47
41113	17.64	10.23	4.16	2.16	2.00	6.00	21.09
41114	8.25	4.79	2.43	1.19	1.25	5.40	12.66
41211	8.12	4.71	2.38	0.84	1.54	6.50	10.78

Fuente: Elaboración propia y MAGA.UPGGR, 2010.

...Continuación del cuadro 2.10

PTO.	% MO	% CO	% CET	% CAH	% CAF	pH	CIC Cmol(+).kg ⁻¹
41213	5.23	3.03	1.78	0.64	1.14	6.80	12.19
41215	6.88	3.99	1.75	1.07	0.68	6.20	3.75
41216	9.99	5.79	1.99	0.87	1.13	6.50	12.19
41218	13.31	7.72	2.98	1.27	1.71	5.70	22.50
41220	9.99	5.79	1.83	0.76	1.07	5.40	20.16
41222	5.06	2.93	1.58	0.73	0.85	5.90	5.62
41302	6.39	3.71	1.64	0.80	0.83	5.40	17.81
41308	9.72	5.64	2.06	1.07	0.99	6.20	9.37
41309	2.13	1.24	0.65	0.50	0.15	6.30	15.00
41507	3.73	2.16	1.12	0.66	0.45	6.60	27.19
μ	7.21	4.18	1.85	0.85	1.00	5.97	18.58

Fuente: Elaboración propia y MAGA.UPGGR, 2010.

Los resultados indican que el rango de la MO para los puntos de muestreo fue de 2.13 % a 17.64 % y un promedio de 7.21 %. Según la clasificación de la MO propuesta por Fassbender (1994) para suelos en general, el 40.74 % de los puntos de muestreo se encuentran dentro de la clase media debido a que los valores están en un rango de 5.0 a 8.0 %. El CO presentó rangos entre 1.24 a 10.23 % y el CET un promedio de 1.85 % con rangos de 0.65 a 4.16 %. El porcentaje promedio de CO en horizontes superficiales es de 4.18 %. Estudios realizados por Díaz-Romeu, Balerdi y Fassbender (1994) indican que el promedio de CO en horizontes superficiales de suelos Andisoles de Centroamérica fue de 3.06 %. Los resultados del CO y CET de los suelos presentan una diferencia en cuanto a carbono (C) de 55.81 %, esto quiere decir que el porcentaje de humificación promedio para los puntos de muestreo es de 44.19 %, un 20.0 % menor al citado por Labrador (1996) por lo que se infiere que la mayor cantidad de CO de los suelos Andisoles está compuesta por residuos orgánicos no húmificados (Jaramillo, 2011).

El potencial de hidrógeno para los puntos de muestreo se encuentra en un rango de 5.0 a 6.8, y el 22.22 % presenta una reacción del suelo menor a 5.5. Según Bertsch (1987) esto ocasionaría la existencia de problemas de acidez por la solubilidad del aluminio (Al) en el suelo. También, ocasionaría la solubilidad de elementos como el manganeso (Mn) y el

hierro (Fe). Meléndez *et al.* (2001) realizaron estudios en suelos Andisoles de Costa Rica e indican que el rango de pH de los suelos evaluados oscilaron entre 5.3 y 6.2 valores que concuerdan con los reportados en la investigación. Según Meléndez *et al.* (2001) en los suelos Andisoles la acidez proviene del hidrógeno (H) en solución, por lo cual existe poca probabilidad de que exista problemas causadas por el aluminio (Al), a excepción de suelos donde se hayan utilizados fertilizantes nitrogenados.

La capacidad de intercambio catiónico para los suelos del orden Andisol oscilan en un rango de 3.75 a 40.31 Cmol ⁽⁺⁾.Kg⁻¹, y con promedio de 18.58 Cmol ⁽⁺⁾.Kg⁻¹. Según los estudios realizados por Martini citado por Fassbender (1994) en suelos de origen Andisol, el promedio de la CIC fue de 50.0 Cmol ⁽⁺⁾.Kg⁻¹ para suelos de Honduras y de 29.8 y 49.3 Cmol ⁽⁺⁾.Kg⁻¹ para dos regiones de Costa Rica. El valor promedio de la presente investigación es más bajos a los citados anteriormente.

2.8.3. PROPIEDADES FÍSICAS EN ESTUDIO

Las propiedades físicas en estudio fueron el contenido de arcilla, limo y la retención de humedad del suelo (RH) a 33 (kPa). Los resultados se presentan en el cuadro 2.11.

Cuadro 2.11. Resultados de % de arcilla, % de limo y % RH a 33 (kPa) de los suelos evaluados provenientes del departamento de Chimaltenango.

PTO.	% arcilla	% limo	% RH 33 (kPa)
40342	15.22	21.01	37.96
40408	29.88	24.55	35.55
40623	8.17	11.60	19.63
40624	6.28	24.97	36.63
40709	8.43	16.77	23.34
40711	12.74	20.77	30.03
40713	16.55	17.77	26.56
40801	64.45	31.00	28.52
40805	19.51	17.48	23.90

Fuente: Elaboración propia y MAGA.UPGGR, 2010.

...Continuación del cuadro 2.11

PTO.	% arcilla	% limo	% RH 33 (kPa)
40810	30.18	22.56	28.10
40814	5.34	10.60	11.34
40816	8.20	18.65	26.78
41104	11.55	6.54	6.57
41105	18.18	18.90	17.58
41113	1.13	6.51	12.85
41114	3.16	12.48	11.71
41211	2.57	11.72	9.50
41213	3.20	10.54	12.86
41215	3.08	4.07	5.44
41216	3.12	8.23	7.82
41218	3.13	8.26	20.67
41220	6.01	16.71	20.72
41222	3.12	8.19	7.89
41302	8.26	12.96	20.36
41308	6.05	12.23	10.92
41309	9.68	15.00	19.17
41507	15.35	16.48	28.08

Fuente: Elaboración propia y MAGA.UPGGR, 2010.

El contenido de arcilla para los suelos estudiados oscila en un rango de 1.13 a 64.45 %. El promedio de arcilla es de 11.95 %. Estudios de caracterización de suelos Andisoles hechos en la región de los Santos, Talamanca, Costa Rica realizados por Chinchilla *et al.* (2011) indica que en las partes superficiales de los suelos Andisoles poseen texturas moderadamente gruesas (franco arenosas) a medianas (francas). Según los resultados obtenidos en cuanto a porcentaje de arcilla estos presentaron un promedio de 15.12 % en horizontes superficiales. Meléndez *et al.* (2001) al realizar estudios en suelos Andisoles también, hace referencia al tipo de textura, reportando contenidos de arcilla menores a 20.0 % en suelos Andisoles de Costa Rica.

La retención de humedad a capacidad de campo para los puntos de muestreo de suelos presenta valores de 5.44 % a 37.96 %. El 51.85 % de los datos presenta una retención de humedad mayor al 20.0 %. Según Meléndez *et al.* (2001) en estudios

realizados a suelos Andisoles estos poseen una alta capacidad de retención de humedad influenciado por el tipo de arcilla presente. La capacidad de retención de humedad varía de un 20.0 a 30.0 %.

2.8.4. SUSTANCIAS HÚMICAS DE LOS SUELOS ANDISOLES

Las sustancias húmicas analizadas en los suelos Andisoles fueron los ácidos húmicos (AH) y los ácidos fúlvicos (AF). Los resultados obtenidos se detallan en el cuadro 2.12, donde se reportan los valores del carbono extraíble total (CET) y el grado de polimerización (AH/AF) de las sustancias en estudio. Cabe indicar que los datos se agruparon en base al uso actual de los suelos.

Cuadro 2.12. Resultados del % CET, % CAH, % CAF y GP (AH/AF) de los suelos agrícolas del orden Andisol del departamento de Chimaltenango en base al uso actual.

NO.	PTO.	% CET	% CAH	% CAF	GP AH/AF
1	40342	1.51	0.87	0.64	1.36
2	40623	0.99	0.55	0.45	1.22
3	40709	1.22	0.50	0.72	0.69
4	40711	0.86	0.35	0.51	0.69
5	41218	2.98	1.27	1.71	0.74
6	41222	1.58	0.73	0.85	0.86
7	41302	1.64	0.80	0.83	0.96
8	41308	2.06	1.07	0.99	1.08
9	41309	0.65	0.50	0.15	3.33
10	41507	1.12	0.66	0.45	1.47

Fuente: Elaboración propia.

Para los suelos agrícolas del orden Andisol el rango de CET encontrado fue de 0.65 a 2.98 % con un valor medio de 1.46. Los porcentajes de carbono (C) para los ácidos húmicos oscilan entre los 0.35 a 1.27 %, con un valor medio de 0.73, mientras que para los ácidos fúlvicos el rango fue de 0.15 a 1.71 % con un valor medio de 0.73. El 50.0 % de los suelos agrícolas presentaron un grado de polimerización (GP) arriba de 1.0. El punto de muestreo 41309 contiene un valor atípico en relación al resto de datos determinados. Los

resultados de las sustancias húmicas para los suelos forestales del orden Andisol se muestran en el cuadro 2.13.

Cuadro 2.13. Sustancias húmicas de los suelos forestales del orden Andisol del departamento de Chimaltenango en base al uso actual.

NO.	PTO.	% CET	% CAH	% CAF	GP AH/AF
1	40408	1.38	0.76	0.61	1.25
2	40624	2.36	1.12	1.24	0.90
3	40713	1.17	0.96	0.21	4.57
4	40801	0.79	0.16	0.63	0.25
5	40805	2.04	0.57	1.47	0.39
6	40810	1.78	0.71	1.08	0.66
7	40814	2.20	1.22	0.98	1.24
8	40816	2.38	0.53	1.85	0.29
9	41104	3.27	1.32	1.95	0.68
10	41105	1.59	0.83	0.76	1.09
11	41113	4.16	2.16	2.00	1.08
12	41114	2.43	1.19	1.25	0.95
13	41211	2.38	0.84	1.54	0.55
14	41213	1.78	0.64	1.14	0.56
15	41215	1.75	1.07	0.68	1.57
16	41216	1.99	0.87	1.13	0.77
17	41220	1.83	0.76	1.07	0.71

Fuente: Elaboración propia.

Los suelos forestales presentaron un rango de CET de 0.79 a 4.16 %. Con un valor promedio de 2.07 %. Los porcentajes de carbono (C) para los ácidos húmicos oscilaron entre 0.16 y 2.16 %, con una media de 0.92 % y para los ácidos fúlvicos el rango fue de 0.21 y 2.0 % con una media 1.15 %. El 35.29 % de los suelos forestales presentaron un grado de polimerización (GP) arriba de 1.0. El punto de muestreo 40713 contiene un valor atípico en relación al resto de datos determinados.

El fraccionamiento de la materia orgánica es de importancia para la caracterización de los suelos y conocer su estabilidad (Acosta *et al.*, 2008). En el cuadro 2.14, se presentan los índices de la relación AF/AH, el grado de polimerización (GP), y la relación de humificación (RH) de los suelos agrícolas y forestales según su uso actual.

Cuadro 2.14. Parámetros de humificación de las sustancias húmicas de los suelos Andisoles del departamento de Chimaltenango según su uso actual.

Suelos agrícolas			Suelos forestales		
Relación	Grado	Relación	Relación	Grado	Relación
AF/AH	polimerización	humificación	AF/AH	polimerización	humificación
	AH/AF			AH/AF	
1.07	1.01	44.43	1.60	0.81	46.46

Fuente: Elaboración propia.

En promedio el grado de polimerización para los suelos agrícolas es de 1.01 y para los suelos forestales es de 0.81. Esto indica que el grado de polimerización de la materia orgánica es mayor en los suelos agrícolas que en los suelos forestales. Según Zamboni *et al.* (2006) esto se atribuye a la actividad agrícola intensiva que genera la combinación y homogenización del material orgánico en el proceso de humificación. Para los suelos forestales el grado de polimerización es menor en comparación con los suelos agrícolas lo que permite inferir en sustancias húmicas menos polimerizadas.

Zamboni *et al.* (2001) concluye que por factores de clima y aportes de biomasa en los suelos agrícolas se da una transformación relativamente rápida de los ácidos fúlvicos en ácidos húmicos por lo que predominarían los efectos de humificación sobre los de mineralización. También es importante tener en cuenta la textura del suelo. Según Janampa *et al.* (2014) en suelos con textura arenosa se presenta un grado de polimerización (AH/AF) mayor a 1.0, debido a la pérdida de la fracción orgánica más soluble en este caso serían los ácidos fúlvicos.

2.8.5. CORRELACIÓN DE LOS COLOIDES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS SOBRE LA CIC EN SUELOS AGRÍCOLAS Y FORESTALES DEL ORDEN ANDISOL

El cuadro 2.15 detalla las correlaciones simples obtenidas entre la CIC total de los suelos Andisoles y las variables, materia orgánica (MO), carbono extraíble total (CET), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), potencial de hidrógeno (pH), arcilla (Arc) + limo y retención de humedad (RH) a 33 (kPa).

Cuadro 2.15. Correlación de Pearson para la CIC al asociarlas con variables como % MO, % CET, % CAH, % CAF, pH, arcilla + limo, y retención de humedad a 33 (kPa) en suelos Andisoles de uso agrícola en el departamento de Chimaltenango.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
CIC total	% MO	10	-4.0 E-04	0.9991
CIC total	% CET	10	-0.07	0.8414
CIC total	% CAH	10	-0.11	0.7660
CIC total	% CAF	10	-0.05	0.8938
CIC total	Arc.+ limo	10	0.65*	0.0412
CIC total	% RH 33 (kPa)	10	0.87*	0.0012
CIC total	pH	10	0.13	0.7160

*significativa al 5.0 %.

Fuente: Infostat, 2015.

Existe una correlación media entre la CIC total de los suelos de uso agrícola al asociarla con las arcillas + limos con un índice de Pearson de 0.65. Esto es debido a que la mineralogía de las fracciones arcilla está conformado en gran medida por minerales amorfos como la Haloisita o Alofana en diferentes grados evolutivos, derivados de ceniza volcánica los cuales tienen la particularidad de poseer valores altos de CIC. A continuación se presentan en el cuadro 2.16 los resultados de las correlaciones simples realizadas a los suelos forestales.

Cuadro 2.16. Correlación de Pearson para la CIC al asociarlas con variables como % MO, % CET, % CAH, % CAF, pH, arcilla + limo, y retención de humedad a 33 (kPa) en suelos Andisoles de uso forestal en el departamento Chimaltenango.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
CIC total	% MO	17	-0.19	0.4620
CIC total	% CET	17	-0.20	0.4450
CIC total	% CAH	17	-0.18	0.4939
CIC total	% CAF	17	-0.16	0.5441
CIC total	Arc. + limo	17	0.51*	0.0359
CIC total	% RH 33 (kPa)	17	0.93*	<0.0001
CIC total	pH	17	-0.07	0.7791

*significativa al 5.0 %.

Fuente: Infostat, 2015.

Similar comportamiento se encuentra en los suelos de uso forestal. El índice de Pearson para la CIC total de los suelos Andisoles al asociarla con las arcillas + limos es de 0.51. Se presenta una alta correlación con la retención de humedad a 33 (kPa) en los suelos agrícolas como forestales con índices de Pearson de 0.87 y 0.93. La interpretación de este comportamiento se debe a que la CIC está influenciada en gran medida por los contenidos de minerales arcillosos como componentes de las fracciones finas (arcilla + limos finos), como se demuestra en el cuadro 2.17.

Cuadro 2.17. Correlación de Pearson para la retención de humedad a 33 (kPa) al asociarlas con el % MO, y arcilla + limo en suelos agrícolas y forestales del orden Andisol.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
Agrícolas				
% MO	% RH 33 (kPa)	10	-0.09	0.8043
Arc. + limo	% RH 33 (kPa)	10	0.86*	0.0014
Forestales				
% MO	% RH 33 (kPa)	17	-0.44	0.0798
Arc. + limo	% RH 33 (kPa)	17	0.70*	0.0017

*significativa al 5.0 %.

Fuente: Infostat, 2015.

2.8.6. REGRESIÓN Y CORRELACIÓN DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS Y MATERIA ORGÁNICA

2.8.6.1. Regresiones y correlaciones simples de los ácidos húmicos

Las regresiones y correlaciones simples de los ácidos húmicos y la materia orgánica en suelos agrícolas y forestales se detallan en el cuadro 2.18.

Cuadro 2.18. Correlaciones de Pearson para los ácidos húmicos y % CAF, % CET, % MO de los suelos Andisoles de uso agrícola y forestal.

Variable(1)	Variable(2)	Suelos agrícolas			Suelos forestales		
		n	Pearson	p-valor	n	Pearson	p-valor
% CAH	% MO	10	0.96*	<0.0001	17	0.85*	<0.0001
% CAH	% CET	10	0.94*	<0.0001	17	0.81*	0.0001
% CAH	% AF	10	0.84*	0.0023	17	0.40	0.1084

*significativa al 5.0 %.

Fuente: Infostat, 2015.

Las correlaciones de los ácidos húmicos (AH) en los suelos agrícolas con respecto al % MO, % CET, y % CAF presentaron índices de Pearson altos con valores de 0.96, 0.94, y 0.84. Similar comportamiento se presentó para los suelos de uso forestal a excepción del índice de correlación para el % CAH y el % CAF con un valor de 0.40. El modelo de regresión del % CAH y el % MO para los suelos agrícolas se detallan en el cuadro 2.19.

Cuadro 2.19. Resultados de análisis de regresión para el % CAH y el % MO de los suelos agrícolas.

Suelos de uso agrícola			
Variable	N	R ²	R ² Aj
% CAH	9	0.85	0.83

Coefficiente	Estimados	T	p-valor
Intercepto	0.25	3.36	0.0120
% MO	0.08	6.35	0.0004

Fuente: Infostat, 2015.

El modelo lineal estimado para la variable dependiente porcentaje de carbono orgánico de los ácidos húmicos para los suelos agrícolas es $\% \text{CAH} = 0.25 + 0.08 * (\% \text{MO})$. La variabilidad presentada por el modelo es del 85.0 % y del 42.0 % para los suelos de uso forestal. La cuantificación del carbono (C) de los ácidos húmicos de los suelos agrícolas según el análisis de regresión se puede realizar mediante la utilización del modelo lineal estimado anteriormente, a diferencia de los suelos forestales donde la confiabilidad de los datos sería baja al momento de la estimación (ver anexo 2.23A).

2.8.6.2. Regresiones y correlaciones simples de los ácidos fúlvicos

Las regresiones y correlaciones simples de los ácidos fúlvicos y la materia orgánica en suelos agrícolas y forestales se detallan en el cuadro 2.20.

Cuadro 2.20. Correlaciones de Pearson para los ácidos fúlvicos y % CAH, % CET, % MO de los suelos Andisoles de uso agrícola y forestal.

Variable(1)	Variable(2)	Suelos agrícolas			Suelos forestales		
		n	Pearson	p-valor	n	Pearson	p-valor
% CAF	% MO	10	0.90*	0.0004	17	0.63*	0.0068
% CAF	% CET	10	0.97*	<0.0001	17	0.86*	<0.0001
% CAF	% AH	10	0.84*	0.0023	17	0.40	0.1084

Fuente: Infostat, 2015.

Los resultados para la correlaciones de los ácidos fúlvicos (AF) presentan alta significancia al asociarlas con el % MO, % CET, y % CAH con índices de Pearson de 0.90, 0.97, y 0.84 para los suelos agrícolas y de 0.63 y 0.86 para los suelos forestales. En el análisis de regresión la variabilidad presentada por los modelos lineales estimados son de baja confiabilidad con variabilidades del 59.0 % para las tierras agrícolas y del 26.0 % para las tierras forestales (ver anexo 2.24A y 2.25A).

2.9. CONCLUSIONES

- 2.9.1.** Los rangos de carbono extraíble total (CET) de los suelos Andisoles para las tierras agrícolas del departamento de Chimaltenango varían entre los 0.65 a 2.98 %, y para las tierras forestales entre 0.79 a 4.16 %. Los porcentajes de carbono orgánico de los AH de las tierras agrícolas se encuentran entre 0.35 a 1.27 %, y para las tierras forestales de 0.16 a 2.16 %. Para los AF el rango de carbono orgánico fue de 0.21 a 2.0 % para las tierras agrícolas y de 0.15 a 1.71 % para las tierras forestales. La relación AH / AF para las tierras agrícolas fue de 1.01 y para las tierras forestales de 0.82.
- 2.9.2.** El contenido de materia orgánica (MO) para los 27 suelos estudiados varió entre 2.13 a 17.64 %, la capacidad de intercambio catiónico varió de 3.75 a 40.31 Cmol⁽⁺⁾ .Kg⁻¹, y para el pH los valores variaron de 5.0 a 6.8.
- 2.9.3.** Las propiedades físicas como el porcentaje de arcilla osciló en el rango de 1.13 a 64.45 % y la retención de humedad de 5.44 a 37.96 % para los suelos del orden Andisol en el departamento de Chimaltenango.
- 2.9.4.** Para los suelos agrícolas y forestales la capacidad de intercambio catiónico correlacionó positivamente con las arcillas + limos con un coeficiente de Pearson de 0.65 y 0.51 respectivamente más no con la materia orgánica debido a los coeficientes de Pearson de -0.19 y -2.50E-04 que presentó.

2.10. RECOMENDACIONES

- 2.10.1.** Realizar estudios similares tomando en cuenta una mayor cantidad de puntos de muestreo y profundidades mayores de 0 – 0.20 m. en el mismo orden de suelos.

- 2.10.2.** Realizar estudios en otros departamentos en el mismo orden de suelo Andisol tanto para las tierras agrícolas como las forestales para observar si presentan el mismo comportamiento los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) a los encontrados en el departamento de Chimaltenango.

2.11. BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, Y *et al.* 2008. Fraccionamiento de metales y materia orgánica en un suelo de la península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela (en línea). *MultiCiencias* 8(39-47). Venezuela. Consultado 28 abr 2015. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90411691006>
2. Arnaldo, J; Armado, M. 2009. Fraccionamiento de carbono orgánico y su relación con la actividad microbiológica, biomasa microbiana, y cantidad de ADN en suelos cacaoteros venezolanos (en línea). *Rev. Soc. Quím. Perú* 7(1). Consultado 6 mar 2013. Disponible en <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v75n1/a07v75n1.pdf>
3. Bertsch H., Floria. 1987. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. 2 ed. Costa Rica, Editorial de la Universidad de Costa Rica. 81 p.
4. Broquen, P. 2004. Relaciones entre el carbono orgánico y propiedades edáficas y del sitio en suelos derivados de cenizas volcánicas, del oeste de Neuquén (Argentina). *Ciencia del Suelo* 22(2). Consultado 23 feb 2013. Disponible en http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_22n%202/broquen_73-82.pdf
5. Chinchilla, M *et al.* 2011. Andisoles, Inceptisoles y Entisoles de la subcuenca del río Pirris, región de los Santos, Talamanca, Costa Rica (en línea). *Agronomía Costarricense* 35(1). Consultado 28 abr 2015. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_agr/v35n01_083.pdf
6. Dalzell, HW; Biddlestone, AJ; Gray, KR; Thurairajan, K. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Roma, Italia, FAO. 178 p.
7. Fassbender, HW; Bornemisza, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. San José, Costa Rica, IICA. 409 p.
8. González Osorio, H. 2008. Fraccionamiento de la materia orgánica en suelos de la zona cafetera de caldas (en línea). *Cenicafé* 59(4):310-320. Consultado 22 feb 2013. Disponible en [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc059\(04\)310-320.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc059(04)310-320.pdf)
9. Guerrero P, J. 1974. Influencia de la materia orgánica y materiales amorfos en la capacidad de intercambio catiónico de algunos suelos de la región del volcán Irazú. Turrialba, Costa Rica, IICA. 139 p.
10. InfoStat. 2015. Software estadístico versión estudiantil (en línea). Argentina. Consultado 07 mayo 2015. Disponible en <http://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=37>

11. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2015. Zonas climáticas de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 4 mayo 2015. Disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/zonas%20climaticas.htm>
12. Jackson, ML. 1976. Análisis químico de suelos. 3 ed. Barcelona, España, Omega. 662 p.
13. Janampa, N *et al.* 2014. Variación de sustancias húmicas de abonos orgánicos en cultivos de papa y maíz (en línea). Ciencia del Suelo 32(1). Argentina. Consultado 28 abr 2015. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672014000100014&script=sci_arttext
14. Jaramillo J, DF. 2011. Caracterización de la materia orgánica del horizonte superficial de un Andisol hidromórfico del oriente Antioqueño (en línea). Rev. Acad. Colom. Cienc. 35(134). Consultado 28 abr 2015. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v35n134/v35n134a03.pdf>
15. Kass, D. 1996. Fertilidad de suelos. 2 ed. San José, Costa Rica, EUNED. 234 p.
16. Kononova, MM. 1982. Materia orgánica del suelo. Trad. E. Bordas. Madrid, España, Oikos. 365 p.
17. Labrador M, J. 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Madrid, España, Mundi-Prensa. 86 p.
18. Meléndez, G *et al.* 2001. Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica (en línea). Costa Rica, CIA / UCR. Disponible en <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilidad%20de%20Suelos.pdf>
19. Salas, G De Las. 1979. La materia orgánica del suelo. San José, Costa Rica, CATIE. 33 p.
20. Silva, A. 2004. La materia orgánica del suelo (en línea). Montevideo, Uruguay, Universidad de la república de Uruguay, Facultad de Agronomía. Consultado 28 feb 2015. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Curso%202014/Material/organica.pdf>
21. Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1,000 p.
22. Stevenson, F. 1982. Humus chemistry: genesis, composition and reactions. 2 ed. New York, US, Wiley. 442 p.

23. Thompson, LM; Troeh, FR. 1988. Los suelos y su fertilidad. 4 ed. Barcelona, España, Reverté. 641 p.
24. UPGGR (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, GT). 2010. Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Chimaltenango, Guatemala. Guatemala, Don Quijote. 969 p.
25. Wild, A. 1989. Condiciones de suelo y desarrollo de las plantas según Rusell. Madrid, España, Palermo. 1024 p.
26. Zamboni C, IR *et al.* 2006. Caracterización de ácidos húmicos y fúlvicos de un Mollisol bajo dos coberturas diferentes (en línea). Rev. Colomb. Quím. 35(2). Colombia. Consultado 28 abr 2015. Disponible en <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/858/1667>

2.12. ANEXOS

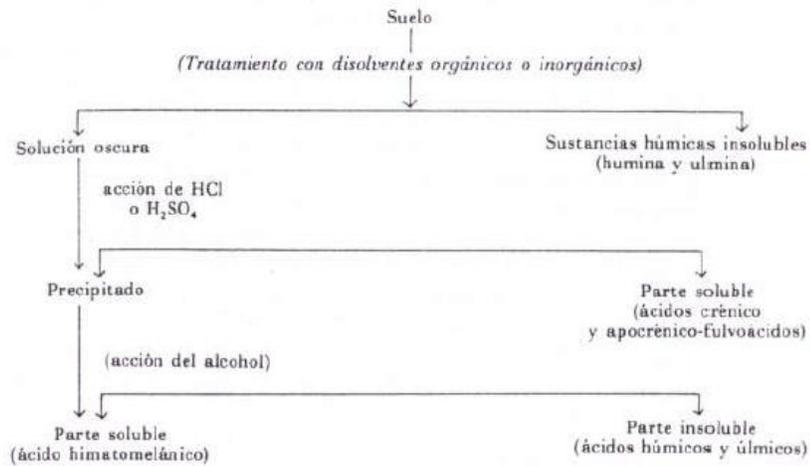


Figura 2.9A. Esquema de la extracción de sustancias húmicas del suelo.

Fuente: Kononova, 1982.

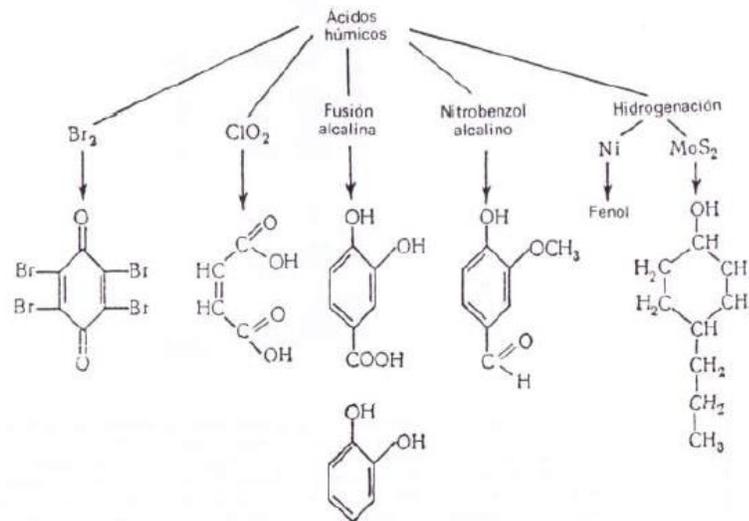


Figura 2.10A. Estructura de la molécula del ácido fúlvicos y productos de desintegración de los ácidos fúlvicos naturales.

Fuente: Kononova, 1982.

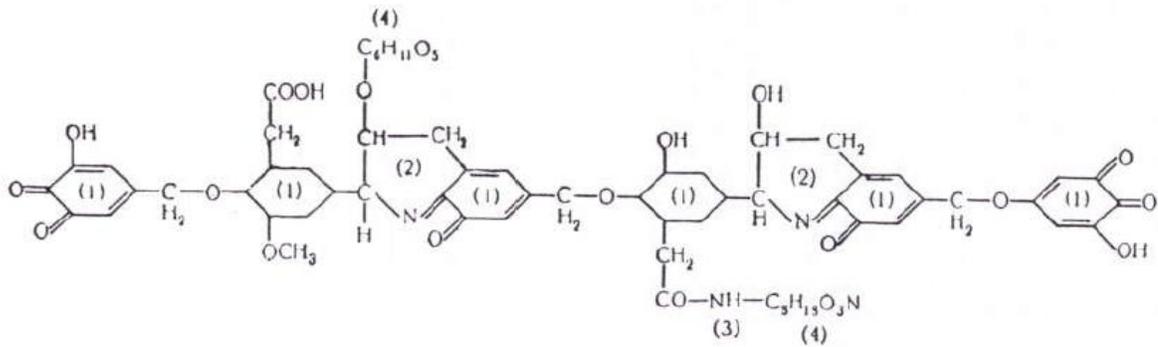


Figura 2.11A. Estructura de la molécula del ácido húmico y productos de desintegración de los ácidos húmicos naturales.

Fuente: Kononova, 1982.

Cuadro 2.21A. Propiedades generales de las sustancias húmicas.

PROPIEDADES	ACIDOS FÚLVICOS	ACIDOS HÚMICOS	HUMINAS
Color	Amarillo a pardo	Pardo a negro	Negro
Peso molecular.....	Bajo	Medio	Alto
% de carbono.....	40-50	55-60	>55
% de nitrógeno.....	<4	3-4	>4
% de oxígeno.....	44-48	33-36	32-34
<i>Grupos funcionales (meq/g)</i>			
Acidez total.....	10-14	6-10	5-6
Grupos carboxílicos (COOH)....	8-9	2-5	3-4
Grupos metoxílicos (OCH ₃)	<0,5	<0,5	<0,5
Grupos alcohólicos (OH).....	3-6	<1-4	-
Grupos fenólicos (OH)	3-6	2-6	2
Grupos carbonil (C=O).....	1-3	1-5	5-6

Fuente: Labrador, 1996.

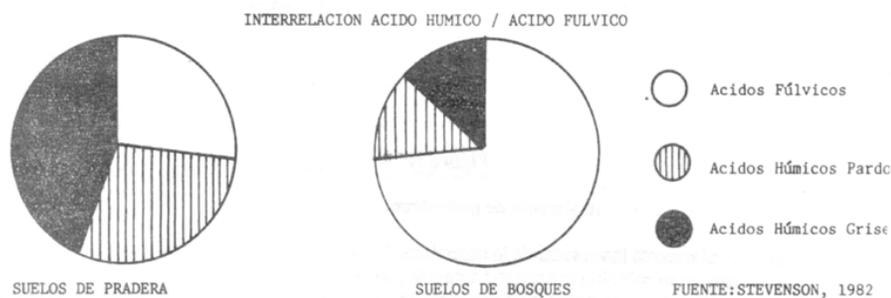


Figura 2.12A. Composición del humus de acuerdo a la vegetación.

Fuente: Stevenson, 1982.

Cuadro 2.22A. Clasificación y propiedades de los ácidos húmicos según Scheffer y Ulrich (1975) citados por Fassbender (1994).

Características	Acidos fúlvicos	Acidos húmicos			Humina
		Acido himatomelánico	Acido húmico pardo	Acido húmico gris	
Color	amarillo amarillo- marrón	marrón	marrón oscuro	gris-negro	negro
Solubilidad en: bromuro de acetilo	soluble	soluble	insoluble	insoluble	insoluble
agua	soluble	insoluble	insoluble	insoluble	insoluble
alcohol	soluble	soluble	insoluble	insoluble	insoluble
soda	soluble	soluble	soluble	soluble	insoluble
Precipitabilidad con ácidos en extractos de soda	no factible	condicional	factible	muy factible	—
Contenido de C	43-52%	58-62%	50-60%	58-62%	nd.
Peso molecular aproximado	100	150-200	300	250	nd.

Fuente: Fassbender (1994).

Cuadro 2.23A. Resultados de análisis de regresión para el % CAH y el % MO de los suelos forestales.

Suelos de uso agrícola			
Variable	N	R ²	R ² Aj
% CAH	16	0.42	0.38

Coefficiente	Estimados	T	p-valor
Intercepto	0.16	0.70	0.4949
% MO	0.09	3.18	0.0067

Fuente: Infostat, 2015.

Cuadro 2.24A. Resultados de análisis de regresión para el % CAF y el % MO de los suelos agrícolas.

Suelos de uso agrícola			
Variable	N	R ²	R ² Aj
% CAH	9	0.59	0.53

Coefficiente	Estimados	T	p-valor
Intercepto	0.22	1.51	0.1746
% MO	0.08	3.14	0.0163

Fuente: Infostat, 2015.

Cuadro 2.25A. Resultados de análisis de regresión para el % CAF y el % MO de los suelos forestales.

Suelos de uso agrícola			
Variable	N	R ²	R ² Aj
% CAH	16	0.26	0.21

Coefficiente	Estimados	T	p-valor
Intercepto	0.26	0.66	0.5188
% MO	0.11	2.22	0.0431

Fuente: Infostat, 2015.

CAPÍTULO III.

SERVICIOS PROFESIONALES REALIZADOS

3.1. PRESENTACIÓN

El análisis químico de suelos es uno de los métodos que se utiliza con mayor frecuencia para evaluar la fertilidad de los suelos, debido al tiempo corto que se necesita para realizarlo. Es una excelente herramienta que los agricultores utilizan para fundamentar los programas de nutrición de los cultivos indicando el o los nutrientes necesarios a aplicar.

El Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos (FAUSAC), presta el servicio de análisis de suelos, tejido vegetal y de aguas en favor del agro guatemalteco. Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) se brindó el apoyo en la realización de los análisis químicos de suelos. Los análisis realizados fueron la capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de nitrógeno total (Nt), porcentaje de materia orgánica (MO), y potencial de hidrógeno (pH) y en las propiedades físicas siguientes: textura y densidad aparente de los suelos. Se analizaron 25 muestras de suelo provenientes de diferentes regiones del territorio nacional. Se realizó el análisis de 10 muestras de aguas con fines agrícolas determinando las propiedades químicas potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), y la relación de adsorción de sodio (RAS). Se analizaron los elementos esenciales (macronutrientes y micronutrientes) a diferentes tejidos vegetales de maranta roja (*Marantha* sp.), marble queen (*Scindapsus* sp.), papaya (*Carica papaya*), pepino (*Cucumis sativus*), lima persa (*Citrus latifolia*), arveja china (*Pisum sativum*), y melón (*Cucumis melo*).

El segundo servicio ejecutado fue la implementación de la metodología para la cuantificación del carbono extraíble total (CET), carbono (C) de los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) de la materia orgánica (MO). Se analizaron 10 muestras de suelos provenientes de bosques de Ixchiguán, San Marcos obtenidas a una profundidad de 0.00 – 0.15 m.

El tercer servicio realizado fue la capacitación a un grupo de 25 agricultores procedentes del municipio de San Raymundo, Guatemala. Los temas de la capacitación

fueron las técnicas de muestreo de suelos y la interpretación de análisis químicos de suelos. La actividad se realizó en las instalaciones del edificio de la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos (UVIGER) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos (FAUSAC).

3.2. APOYO A LOS ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, USAC, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA.

3.2.1. MARCO CONCEPTUAL

Las diferentes actividades se realizaron en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” de la FAUSAC. Estas iniciaron con la recepción de las muestras de suelos. Su preparación conllevó actividades como: el secado, la molienda, el tamizado y almacenado. A las diferentes muestras se le realizaron análisis químicos y físicos como se describen en el cuadro 3.26.

Cuadro 3.26. Análisis químicos y físicos realizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC y metodologías empleadas.

ANÁLISIS QUÍMICOS	
Tipo de análisis	Metodología utilizada
Materia orgánica	Walkley-Black modificado
Capacidad de intercambio	Acetato de amonio $\text{CH}_3\text{COONH}_4$
Nitrógeno total	Kjeldahl
pH	Electrométricamente electrodo de vidrio
Fracciones disponibles (K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn)	Espectrofotometría de Absorción Atómica
ANÁLISIS FÍSICOS	
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos

Fuente: Jackson, 1976 y MAGA.UPGGR, 2010.

3.2.1.1. Materia orgánica

A. Importancia de la materia orgánica

La fracción orgánica del suelo participa en la regulación de procesos químicos, e influye sobre las propiedades físicas y es el centro de todas las actividades biológicas que suceden (Bornemisza, 1982). En los procesos químicos se puede mencionar el suministro

de elementos nutritivos como el nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y micronutrientes productos de la mineralización. También, influye en la estabilización del pH del suelo, y contribuye en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos entre otras. Los beneficios que aporta en las propiedades físicas de los suelos está la estabilidad estructural de los suelos y el uso eficiente del agua mejorando la infiltración. (Bornemisza, 1982).

B. Composición de la materia orgánica

Bornemisza (1982) detalla que los principales componentes de la materia orgánica (MO) puede ser, hidratos de carbono (azúcares, almidones, hemicelulosa, pectinas), proteínas, aminoácidos, grasas, ceras, aceites, resinas, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, lignina, compuestos carbocíclicos, alcaloides, entre otras.

C. Mineralización y humificación de la materia orgánica

El proceso por el cual las sustancias llegan al suelo a formar mezclas más uniformes se llama humificación. Este proceso es aeróbico y requiere contenidos de humedad adecuadas debido a que es un fenómeno biológico sintetizado por bacterias y hongos del suelo (Bornemisza, 1982). La descomposición de la materia orgánica es afectada por factores internos y factores externos. Dentro de los factores internos podemos mencionar a la humedad, el tamaño de la partícula y la composición química. Dentro los factores externos se pueden mencionar a la temperatura que puede acelerar los procesos químicos y el pH.

3.2.1.2. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una reacción físico química reversible. Los materiales minerales menores a 2.0 micras forman con la materia orgánica humificada una micela coloidal que actúa como acidoide, con cargas negativas en su mayoría que le confieren la propiedad de adsorber cationes. Estos pueden ser reversiblemente reemplazados por los que se encuentran en la solución del suelo

(Schweizer, 1980). Existen dos que se consideran, la primera es la capacidad de cambio que depende fundamentalmente de la naturaleza del mineral arcilloso que forma parte del suelo y del tamaño de las partículas y la segunda, los cationes de intercambio específico cuya adsorción está en función de la valencia del ión, radios iónicos hidratados, concentración de la solución y porcentaje de posiciones ocupadas (Schweizer, 1980).

3.2.1.3. Nitrógeno total (Nt)

La mayor parte del nitrógeno (N) se encuentra en los suelos en forma orgánica. Ordinariamente se presentan cantidades relativamente pequeñas en forma de compuestos de amonio (NH_4^+) y nitratos (NO_3^-), que son las formas asimilables (Jackson, 1976). En general, la mayor parte del nitrógeno (N) del suelo se encuentran formando parte de la materia orgánica (MO). Sólo el 5.0 al 10.0 % del nitrógeno (N) se encuentra en formas inorgánicas, amonios (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), o nitritos (NO_2^-). Casi todo el nitrito y nitrato se encuentran en la solución del suelo mientras que la forma catiónica se encuentra bien sea en forma intercambiable o adsorbida en la estructura de ciertos minerales (Rojas, 1989).

3.2.1.4. Textura del suelo

Cuando se habla de textura de un suelo se está haciendo referencia al porcentaje de partículas de arcilla, limo y arena que existen (Bertsch, 1987). El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos las clasifica de la siguiente manera como se muestra en el cuadro 3.27.

Cuadro 3.27. Clasificación de las partículas del suelo según los sistemas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y de la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo.

Fracción del suelo	Diámetros (límites en mm)
Arena muy gruesa	2.00 – 1.00
Arena gruesa	1.00 – 0.50
Arena media	0.50 – 0.25
Arena fina	0.25 – 0.10
Arena muy fina	0.10 – 0.05
Limos	0.05 – 0.02
Arcilla	menor de 0.02

Fuente: Gavande, Sampat A, 1976.

Según Bertsch (1987) entre más fina sean las partículas del suelo, habrá mayor cantidad de coloides susceptibles a cargarse en el suelo, por lo tanto será mayor su capacidad de intercambio de cationes (CIC). Lo contrario sucede con las arenas o texturas gruesas, poseen poca actividad superficial y menor CICE (capacidad de intercambio catiónica efectiva). El tamaño de las partículas está relacionado con la fertilidad potencial de los suelos.

La textura también afecta la porosidad o espacio ocupado por el aire y la solución nutritiva. Texturas gruesas contienen poros grandes que favorecen el drenaje y la lixiviación de nutrientes. En un suelo arcilloso la porosidad total es mayor por lo cual es capaz de retener mayores cantidades de agua aumentando sus propiedades nutritivas (Bertsch, 1987).

3.2.1.5. Potencial de hidrógeno (pH)

El primer indicador relacionado con el estado nutricional y la acidez de un suelo es el pH. Puede determinarse en agua, o en soluciones de sales neutras. El pH determinado en agua hace referencia a la acidez activa de los suelos, mientras que el pH en cloruro de potasio (KCl) incluye además de la acidez activa la acidez intercambiable, por lo tanto constituye un mejor indicador del problema porque hace referencia a la acidez total.

Generalmente en los suelos ácidos el aluminio (Al) de la solución se disocia y genera nuevos hidrógenos (H) que favorecen aún más su solubilidad y la de otros elementos como manganeso (Mn) y hierro (Fe). Un alto contenido de aluminio Intercambiable desplaza las bases o cationes mayores, calcio (Ca), magnesio (Mg), y potasio (K) del complejo de cambio, disminuyendo su disponibilidad y promoviendo el lixiviado. El fósforo (P) se vuelve no disponible al precipitar como fosfatos de aluminio (Al) y de hierro (Fe). En los suelos ácidos también los procesos microbiológicos del suelo se ven desfavorecidos pues disminuye la actividad bacterial (Bertsch, 1987).

3.2.2. MARCO REFERENCIAL

3.2.2.1. Ubicación geográfica

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

3.2.3. OBJETIVOS

3.2.3.1. General

- A. Apoyar los análisis químicos y físicos que se les realiza a las muestras de suelo, tejido vegetal, y aguas que ingresan al Laboratorio de Suelo, Planta y Agua “Salvador Castillo” provenientes de diferentes regiones del país haciendo más eficiente el servicio prestado.

3.2.3.2. Específicos

- A. Determinar en muestras de suelos las propiedades químicas y físicas siguientes: materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno total (Nt) y textura.
- B. Determinar en muestras de agua las propiedades químicas siguientes: pH (potencial de hidrógeno), conductividad eléctrica (CE), y relación de adsorción de sodio (RAS).
- C. Determinar en muestras vegetales y/o materiales orgánicos los elementos totales siguientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).

3.2.4. METODOLOGÍA

3.2.4.1. Determinación de materia orgánica en suelos (método Walkley-Black modificado)

El método se basa en la combustión húmeda del carbono (C) mediante la adición de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$, agente oxidante) y ácido sulfúrico (H_2SO_4).

A. Procedimiento

Se colocó en un erlenmeyer de 500 mL 0.5 g de suelo seco ya tamizado, para suelos con apariencia mineral y 0.25 para suelos con apariencia orgánica. Luego se agregaron 10.0 mL de $K_2Cr_2O_7$ [1N] y 20.0 mL de H_2SO_4 concentrado. Paso seguido se agitó vigorosamente durante un minuto y se dejó en reposo por un lapso de tiempo de 30 minutos. Se agregaron 200.0 mL de agua, 5.0 mL de H_3PO_4 y 3 gotas del indicador difenilamina para luego titular la solución con sulfato ferroso [1N], hasta que el color de la solución viró de un azul parduzco a verde brillante. Se tituló también un blanco de la misma forma para estandarizar el sulfato ferroso.

3.2.4.2. Determinación de la CIC en suelos (método de Peech)

El método empleó tres pasos, 1. La saturación del suelo con una solución de acetato de amonio pH 7.0 [1N] que implicó el reemplazo total de todos los cationes presentes en el complejo coloidal por NH_4^+ 2. El lavado para eliminar el exceso de la sal utilizando alcohol a fin de reducir al mínimo la hidrólisis. 3. Saturación del suelo con NaCl para desplazar el NH_4^+ de las posiciones de intercambio.

A. Procedimiento

Se pesaron 5.0 g de suelo en tubos plástico con rosca y se adicionaron alícuotas de 30.0 mL de la solución de CH_3COONH_4 [1N] a pH 7. Luego se agitó mecánicamente durante

10 minutos y se centrifugó por 5 minutos a una velocidad de 1,500 RPM. El proceso continuó con el filtrado del contenido apoyándose de embudos plásticos y se colocó el sobrenadante en balones de aforo de capacidad de 100.0 mL. El proceso se repitió tres veces. Luego se lavó el exceso de la sal amónica con alcohol etílico agregando alícuotas de 30.0 mL; se agitó nuevamente durante 10 minutos mecánicamente y se centrifugó. El proceso se repitió tres veces. El contenido de alcohol etílico se desechó. Se adicionaron tres alícuotas de 30.0 mL de la solución de NaCl [1N] y luego se trasladó el sobrenadante a balones de aforo de 100.0 mL.

Luego las muestras se destilaron mediante el método Kjeldahl utilizando un volumen de 10.0 mL. Se titularon luego las muestras con una solución de H₂SO₄ [0.02N].

3.2.4.3. Determinación del nitrógeno total en suelos (método Kjeldahl)

El método de Kjeldahl se fundamenta esencialmente en un proceso de oxidación por vía húmeda, que permite la combustión del nitrógeno (N) de la muestra a nitrógeno gaseoso como N₂ cuyo volumen puede ser medido.

A. Procedimiento

Se pesaron 0.25 g de suelo seco y tamizado a dos milímetros de diámetro y se depositó en un balón de digestión semi-microkjeldahl. Se agregaron 2.0 g de la mezcla catalizadora y 10.0 mL de H₂SO₄. Luego se mezcló mediante agitación manual y se dejó en reposo durante la noche. Los balones se colocaron en el digestor y se calentó a 380 grados centígrados durante 2 horas. Se dejó enfriar y se agregó lentamente por las paredes del balón 25.0 mL de agua.

Se conectaron los balones de digestión al sistema de destilación Kjeldahl. El sistema adicionó hidróxido de sodio (NaOH) [50.0 % P/P], y el N₂ se depositó en un erlenmeyer de 125.0 mL con la mezcla de ácido bórico (3.0 %P/V) e indicador rojo de metilo. Se tituló la

muestra del destilado con H_2SO_4 [0.02N] utilizando la bureta de 50.0 mL. El color cambió en el punto final de la titulación de un verde a un rojo.

3.2.4.4. Determinación de la textura en suelos (método hidrómetro Bouyoucos)

A. Procedimiento

Se procedió a secar la muestra al aire y luego se pasó por un tamiz de 2.0 mm de diámetro. Se pesaron 50.0 g de suelo seco y se le agregaron 5.0 mL de la solución dispersante y 50.0 mL de agua y se dejó en reposo durante la noche. Seguidamente se trasvasó la muestra al vaso con ayuda de una piseta, se le agregó agua hasta llegar a las 3/4 partes del volumen del vaso de agitación. Se sometió la muestra a dispersión mecánica durante 10 minutos. Se vertió el contenido del vaso a un cilindro de sedimentación con ayuda de la piseta a la marca inferior 1,130 mL, con el hidrómetro sumergido. Se agitó la suspensión de forma vertical durante 40 segundos y luego se introdujo cuidadosamente el hidrómetro. Se anotó el dato de la primera lectura del hidrómetro a los 40 segundos de haber cesado la agitación. Luego se retiró el hidrómetro y se tomó la lectura de temperatura. Se dejó la suspensión en reposo. Después de haber transcurrido 2 horas se sumergió nuevamente el hidrómetro y se anotó la lectura, también se realizó la lectura de temperatura.

3.2.4.5. Determinación del pH en aguas (potencial de hidrógeno)

Una vez calibrado el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras, se procedió a determinar el pH de la muestra. Se midió un volumen de la muestra de agua a analizar (50.0 mL por ejemplo) en un beacker y se realizó la lectura del potenciómetro.

3.2.4.6. Determinación de elementos totales en plantas

A. Procedimiento

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 grados centígrados 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 grados centígrados durante 4 horas.

Para la recuperación de los minerales 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) y manganeso (Mn) se realizó en el extracto inicial. El sodio (Na) se determinó 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. Luego se dejó en reposo por media hora y se determinó el elemento en el colorímetro a una longitud de onda de 880 nanómetros.

3.2.5. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de las diferentes muestras de suelos, plantas y aguas analizadas en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la Facultad de Agronomía (FAUSAC).

3.2.5.1. Análisis de suelos

Se analizaron 25 muestras de suelos provenientes de tres municipios de los departamentos de Alta y Baja Verapaz. Del municipio de Tukurú se analizaron cuatro muestras de la finca Bello Amanecer y del municipio de Cobán se analizaron nueve muestras procedentes de la finca Tesucún, del departamento de Alta Verapaz. Del municipio de Purulhá, Baja Verapaz se analizaron 12 muestras. Los resultados de las propiedades químicas y físicas evaluadas se muestran en los cuadros 3.28 al 3.33.

Cuadro 3.28. Datos de pH, materia orgánica, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos de la finca Bello Amanecer, Tukurú, Alta Verapaz.

Identificación	pH en H ₂ O	M.O.	N total	CIC Cmol (+) .Kg ⁻¹
M-1 M1CR	5.2	2.43	0.19	16.52
M-2 M2CR	5.1	2.45	0.22	20.43
M-3 M3CR	5.2	2.71	0.19	11.3
M-4 M4CR	5.3	3.95	0.29	22.17

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

Cuadro 3.29. Datos de arcilla, limo, y arena de las muestras de suelo procedentes de la finca Bello Amanecer, Tukurú, Alta Verapaz.

Identificación	Arcilla %	Limo %	Arena %	Clase textural
M-1 M1CR	41.2	20.24	38.55	Arcilloso
M-2 M2CR	39.1	18.14	42.75	Franco arcilloso
M-3 M3CR	20.2	22.34	57.45	Franco arcillo arenoso
M-4 M4CR	26.5	24.44	49.05	Franco arcillo arenoso

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

Los rangos de materia orgánica (MO) para la finca Bello Amanecer fue de 2.43 a 3.95 %, para la CIC fue de 11.3 a 22.17 Cmol (+) .Kg⁻¹, para el pH fue de 5.1 a 5.3, y para el Nt fue de 0.19 a 0.29 %. Son suelos medianamente ácidos con valores ligeramente bajos de MO y una fertilidad potencial ligeramente baja. Desde el punto de vista de las propiedades físicas de los suelos, son suelos con dominancia de arenas y arcillas.

Cuadro 3.30. Datos de pH, materia orgánica, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos de la finca Tesucún, Cobán, Alta Verapaz.

Identificación	pH en H ₂ O	M.O.	N total	CIC Cmol (+) .Kg ⁻¹
M-1 U1HoA	5.8	7.5	0.49	35.42
M-2 U1HoB	5.8	3.68	0.28	36.67
M-3 U2HoA	4.8	9.26	0.43	30.83
M-4 U2HoB	4.9	4.35	0.24	25.42
M-5 U3HoA	6.2	9.89	0.68	40.83
M-6 U3HoB	6.5	2.41	0.12	32.5
M-7 U4HoA	5.4	6.99	0.53	31.67
M-8 U4HoB1	5.5	2.51	0.23	25
M-9 U4HoB2	5.6	1.2	0.13	37.5

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

Cuadro 3.31. Datos de arcilla, limo, y arena de las muestras de suelo procedentes de la finca Tesucún, Cobán, Alta Verapaz.

Identificación	Arcilla %	Limo %	Arena %	Clase textural
M-1 U1HoA	45.78	31.5	22.72	Arcilloso
M-2 U1HoB	62.58	21	16.42	Arcilloso
M-3 U2HoA	14.28	27.3	58.42	Franco arenoso
M-4 U2HoB	20.58	39.9	39.52	Franco
M-5 U3HoA	37.38	27.3	35.32	Franco arcilloso
M-6 U3HoB	54.18	18.9	26.92	Arcilloso
M-7 U4HoA	37.38	31.5	31.12	Franco arcilloso
M-8 U4HoB1	58.38	21	20.62	Arcilloso
M-9 U4HoB2	58.38	21	20.62	Arcilloso

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

Los rangos de materia orgánica (MO) para la finca Tesucún se encuentran entre 1.20 a 9.89 %, para la CIC de 25.0 a 40.83 Cmol (+) .Kg⁻¹, para el pH de 4.8 a 6.5, y para el Nt de 0.12 a 0.68 %. Son suelos que van de fuertemente ácidos a mediamente ácidos con valores bajos a muy altos de MO y una fertilidad potencial clasificada como adecuada a alta. Desde el punto de vista de las propiedades físicas de los suelos, son suelos con dominancia arcillosa.

Cuadro 3.32. Datos de pH, materia orgánica, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos de la finca Biotopón, Purulhá, Baja Verapaz.

Identificación	pH en H ₂ O	M.O.	N total	CIC Cmol (+) .Kg ⁻¹
M-1 M1A 0-40	5.5	7.07	0.35	27.92
M-2 M1B 40-100	5.6	1.11	0.13	14.78
M-3 M2A 0-40	5.7	13.76	0.55	40.42
M-4 M2B 40-100	5.7	0.42	0.08	8.7
M-5 M3A 0-30	5.2	6.49	0.14	28.26
M-6 M3B 30-90	5.4	0.42	0.14	+
M-7 M4A 0-30	5.5	10.32	0.53	25.65
M-8 M4B 30-105	5.6	1.44	0.14	12.61
M-9 M5A 0-20	5.4	4.61	0.35	20.87
M-10 M5B 20-70	5.6	0.74	0.11	8.26
M-11 M6A 0-40	5.6	3.58	0.20	20.43
M-12 M6B 40-80	5.6	0.84	0.13	16.52

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

Los rangos de materia orgánica (MO) para la finca Biotopón se encuentran entre 0.74 a 13.76 %, para la CIC de 8.26 a 40.42 Cmol (+) .Kg⁻¹, para el pH de 5.2 a 5.7, y para el Nt de 0.08 a 0.55 %. Son suelos medianamente ácidos con valores de materia orgánica que van de bajos a muy altos. La fertilidad potencial de esos suelos se encuentra entre los rangos de baja muy alta.

Cuadro 3.33. Datos de arcilla, limo, y arena de las muestras de suelo procedentes de la finca Biotopón, Purulhá, Baja Verapaz.

Identificación	Arcilla	Limo	Arena	Clase textural
	%	%	%	
M-1 M1A 0-40	20.58	24.44	54.98	Franco arcillo arenoso
M-2 M1B 40-100	54.18	24.44	21.38	Arcilloso
M-3 M2A 0-40	10.08	39.14	50.78	Franco arenoso
M-4 M2B 40-100	31.08	37.04	31.88	Franco arcilloso
M-5 M3A 0-30	33.18	41.24	25.58	Franco arcilloso
M-6 M3B 30-90	62.58	30.74	6.68	Arcilloso
M-7 M4A 0-30	12.18	22.34	65.48	Franco arenoso
M-8 M4B 30-105	52.08	24.44	23.48	Arcilloso
M-9 M5A 0-20	28.98	24.44	46.58	Franco arcillo arenoso
M-10 M5B 20-70	41.58	39.14	19.28	Arcilloso
M-11 M6A 0-40	37.38	30.74	31.88	Franco arcilloso
M-12 M6B 40-80	58.38	26.54	15.08	Arcilloso

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

Desde el punto de vista de las propiedades físicas de los suelos, son suelos con texturas franco arcilloso en la superficie y arcilloso en la segunda profundidad.

3.2.5.2. Análisis de aguas

Se analizaron 10 muestras de aguas provenientes de varios departamentos del país. La procedencia de las muestras se describe en el cuadro 3.34. Los resultados de las propiedades químicas evaluadas se presentan a continuación.

Cuadro 3.34. Datos de pH, conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio y clasificación del agua método USDA, procedencias de las muestras.

Procedencia de la muestra	pH	C.E. $\mu\text{S/cm}$	RAS	CLASE
Guatemala, Guatemala	6.7	368	0.75	C2S1
Nentón, Huehuetenango	7.5	662	0.04	C2S1
San Pedro Sacatepéquez	7.5	195.8	0.54	C1S1
Telemán, Panzós	7.3	90.4	0.47	C1S1
Dolores, Petén	6.6	453	0.06	C2S1
Dolores, Petén	7.0	73.8	0.21	C1S1
Asunción Mita, Jutiapa	6.7	6840	13.3	C4S2
Asunción Mita, Jutiapa	6.9	6760	8.65	C4S1
Estanzuela, Zacapa	6.3	26.9	0.1	C1S1
Guastatoya, El Progreso	7.1	130.8	0.17	C1S1
Guastatoya, El Progreso	6.1	10.6	0.18	C1S1

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

Los resultados de los análisis indican que el 50.0 % de las muestras son clasificadas según el USDA como aguas C1S1, es decir no tienen problemas de salinidad ni sodicidad, y son aguas aptas para el uso agrícola. Las aguas de Asunción Mita, Jutiapa son clasificadas como aguas C4S2 y C4S1. Son aguas con problemas de salinidad y su uso es restringido únicamente para cultivos tolerantes a la salinidad.

3.2.5.3. Análisis de plantas (elementos totales)

Los resultados de los análisis de tejido vegetal realizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua a diferentes cultivos se presentan en el cuadro 3.35.

Cuadro 3.35. Elementos totales en porcentajes (%) y partes por millón (ppm) de los análisis de tejido vegetal de diferentes cultivos.

Cultivo	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Fe	Mn
Maranta roja	3.0	0.2	4.6	0.7	0.4	700.0	10.0	35.0	120.0	90.0
Maranta roja	3.1	0.1	4.4	0.7	0.4	800.0	10.0	45.0	165.0	105.0
Marble queen	2.8	0.3	2.9	1.4	0.5	6125.0	450.0	255.0	235.0	380.0
Papaya	2.2	0.3	1.4	3.3	0.9	625.0	5.0	50.0	150.0	85.0
Pepino	4.0	0.3	2.9	3.7	0.5	2000.0	150.0	195.0	80.0	165.0
Pepino	2.1	0.2	1.7	2.2	0.3	1700.0	225.0	155.0	70.0	95.0
Lima persa	1.9	0.1	1.2	3.3	0.3	60.0	15.0	15.0	125.0	15.0
Lima persa	2.0	0.1	1.1	3.6	0.3	65.0	5.0	15.0	90.0	1.0
Arveja china	3.8	0.2	1.5	0.9	0.2	235.0	10.0	40.0	210.0	15.0
Melón	5.5	0.4	2.4	2.8	0.5	75.0	15.0	25.0	175.0	95.0

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

Cada cultivo analizado cuenta con diferentes rangos de suficiencia según Mills (1996). Para el cultivo de maranta roja (*Marantha* sp.) las cantidades de fósforo (P) y calcio (Ca) se encuentran por debajo de los rangos aceptados. Para el cultivo de marble queen (*Scindapsus* sp.) las cantidades de cobre (Cu), hierro (Fe) y zinc (Zn) sobrepasan los rangos de suficiencia. En el cultivo de papaya (*Carica papaya*) se denota una leve deficiencia de potasio (K) mientras que para las muestras de pepino (*Cucumis sativus*) se observa a los elementos nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) por debajo de los niveles críticos. La lima persa (*Citrus latifolia*) manifiesta valores bajos de nitrógeno (N) y manganeso (Mn). Los niveles de los elementos nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) para el cultivo de arveja china (*Pisum sativum*) se encuentran debajo de los rangos de suficiencia. Para el cultivo de melón (*Cucumis melo*) el elemento potasio (K) se presenta deficiente (Mills, 1996).

3.2.6. CONCLUSIONES

- 3.2.6.1.** Los suelos de la finca Bello Amanecer, del municipio de Tukurú, Alta Verapaz están catalogados como suelos con mediana fertilidad, ácidos, con bajos contenidos de MO y clase textural franca. Los suelos de la finca Tesucún, Cobán, A.V., y Biotopón, Purulhá, B.V., son similares a los de la finca Bello Amanecer con la diferencia de que poseen una fertilidad potencial alta y el subsuelo arcilloso.
- 3.2.6.2.** Los resultados de las aguas analizadas procedentes de diferentes regiones del país indican que el 80.0 % son clasificadas según el USDA como aguas C1S1 y C2S1, consideras como aptas para el riego agrícola. Los análisis de las aguas procedentes de Asunción Mita, Jutiapa, son aguas clasificadas como C4S1 y C4S2, no aptas para el uso agrícola, por su alto contenido de sales.
- 3.2.6.3.** Los análisis químicos de nutrientes de tejido vegetal realizados a los distintos cultivos indicaron deficiencias y desbalances de los mismos.

3.2.7. RECOMENDACIONES

- 3.2.7.1.** Realizar aplicaciones de enmiendas con carbonato de calcio (CaCO_3) y cal dolomita y materiales orgánicos para modificar el pH, y la materia orgánica de los suelos, así como los elementos que se encuentran deficientes.
- 3.2.7.2.** Utilizar aguas con las clasificaciones C1S1 y C2S1, para uso agrícola, y no así las aguas clasificadas como C4S1 y C4S2.
- 3.2.7.3.** Realizar aplicaciones de los elementos que se encuentran debajo de los rangos de suficiencia, según lo indicado en cada análisis realizado a los diferentes cultivos.

3.3. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EXTRAÍBLE TOTAL (CET), CARBONO (C) DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL LABORATORIO DE SUELO, PLANTA Y AGUA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, USAC, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA.

3.3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.3.1.1. Fraccionamiento de la materia orgánica

Los ácidos fúlvicos (AF) representan la fracción del humus extraíble por alcalis, que no forma precipitados por ácidos y tiene un color amarillento rojo. Generalmente son compuestos fenólicos de pequeño peso molecular. Los ácidos húmicos (AH) se extraen con hidróxidos y precipitan en presencia de ácidos. Son polímeros de alto peso molecular y alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), por los grupos funcionales COOH y OH que presenta y pueden ser de color pardos y grises. Las huminas (Hu) representan la fracción que únicamente es soluble en NaOH caliente.

El método clásico de fraccionamiento del humus está basado en la extracción de la materia orgánica (MO) con hidróxido de sodio (NaOH) y en la diferenciación del extracto por precipitación parcial con HCl y solubilización parcial en alcohol. La figura 3.13 se detalla en forma resumida el fraccionamiento de la materia orgánica y el humus.

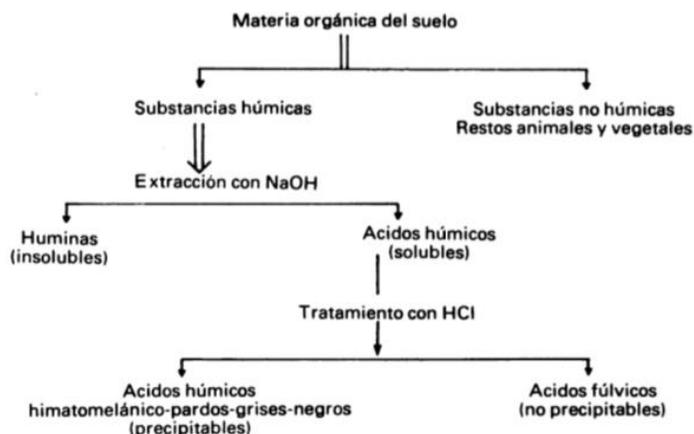


Figura 3.13. Esquema del fraccionamiento de la MO y el humus en AH y AF.

FUENTE: Fassbender (1994).

3.3.2. MARCO REFRENCIAL

3.3.2.1. Ubicación geográfica

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

3.3.3. OBJETIVOS

3.3.3.1. General

- A. Implementar la metodología para la cuantificación de carbono extraíble total (CET), carbono (C) de los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) de la materia orgánica en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la Facultad de Agronomía.

3.3.3.2. Específicos

- A. Cuantificar el carbono extraíble total (CET) en 10 muestras de suelos forestales a una profundidad de 0.00 – 0.15 m procedentes de la parte alta de Ixchiguán, San Marcos.
- B. Determinar el carbono (C) de ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) en 10 muestras de suelos forestales procedentes de Ixchiguán, San Marcos.
- C. Correlacionar la materia orgánica (MO), ácidos húmicos (AH), ácido fúlvicos (AF), con la propiedad físico- química capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el porcentaje de arcilla, en 10 muestras de suelos forestales procedentes de Ixchiguán, San Marcos.

3.3.4. METODOLOGÍA

3.3.4.1. Extracción de sustancias húmicas del suelo con mezcla de pirofosfato de sodio más hidróxido de sodio

1. Se pesaron 5.0 g de suelo previamente tamizado a 2.0 mm en un erlenmeyer de 125.0 mL utilizando la balanza semianalítica.
2. Luego se agregaron 100.0 mL de la mezcla recién preparada de pirofosfato sódico [0.1 M] más hidróxido de sodio [0.1 M] usando una probeta de 100.0 mL.
3. La solución de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – NaOH de concentración [0.1 M] se preparó disolviendo 44.6 g $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ y 4.0 g de NaOH en un litro de solución. Luego se vertieron ambos reactivos en un balón de 1,000.0 mL y se aforó.
4. El pH de esta solución fue de aproximadamente 13.0 (solución alcalina).
5. Se tapó el erlenmeyer de 125.0 mL con tapones de hule horadados para aislar la mezcla del CO_2 y aire.
6. Se dejó en reposo la mezcla durante 24 horas como mínimo.
7. Al siguiente día se midieron 75.0 mL del sobrenadante de la mezcla de suelo y $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ [0.1 M] – NaOH [0.1 M] en una probeta de 100.0 mL teniendo el mayor cuidado posible de no agitar la mezcla para poder facilitar el proceso de filtrado.
8. Se filtró luego la mezcla en un nuevo erlenmeyer de 125.0 mL apoyándose de un embudo plástico y papel filtro.
9. El papel filtro utilizado fue de la marca “whatman” #1.
10. Luego se identificó bien el erlenmeyer y se colocaron tapones horadados para luego determinar el contenido de carbono extraíble total (CET), contenido de carbono (C) de ácidos húmicos (AH) y contenido de ácidos fúlvicos (AF) mediante el método de Walkley-Black modificado.

3.3.4.2. Determinación del contenido del carbono extraíble total (CET)

1. Se taró un erlenmeyer de 250.0 mL en una balanza semianalítica y se anotó su masa.
2. Luego se agregaron 5.0 mL del extracto de suelo más $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ [0.1 M] – NaOH [0.1 M] filtrado en un erlenmeyer de 250.0 mL previamente tarado, esto si la intensidad de la coloración es negra. Si la intensidad es de color marrón se utilizaron 15.0 mL del extracto.
3. Luego se neutralizó el contenido previamente medido agregando de 2 a 3 gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado hasta que la mezcla se tornó ligeramente turbia.
4. El pH del extracto luego de la adición del H_2SO_4 concentrado fue de aproximadamente 7.0.
5. Se midió luego el pH con tiras de papel tornasol, porque no se necesitó ser preciso en este paso.
6. Luego se colocó el erlenmeyer de 250.0 mL con el extracto previamente neutralizado en una estufa eléctrica a una temperatura de unos 75 °C hasta llegar a sequedad. Se evitaron las proyecciones y así de esta manera se logró que los ácidos húmicos y fúlvicos se concentraran en el fondo del erlenmeyer.
7. El paso anterior tomó un lapso de tiempo entre 1 a 2 horas.
8. Se dejó que el erlenmeyer de 250.0 mL perdiera temperatura hasta que se pudo sujetar con la mano, no se dejó enfriar completamente.
9. Luego se pesó el contenido del erlenmeyer apoyándose de una balanza semianalítica y se anotó la masa.
10. Por diferencia con respecto a la tara se determinaron los gramos de ácidos húmicos y fúlvicos contenidos en el erlenmeyer de 250.0 mL.
11. Los gramos de ácidos húmicos y fúlvicos corresponden al carbono total del extracto de suelo.
12. Se procedió a determinar el porcentaje de carbono extraíble total mediante el método de Walkley-Black modificado.

3.3.4.3. Cuantificación del contenido de carbono extraíble total por el método de Walkley-Black modificado

1. Se agregaron 10.0 mL de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) de concentración [1.0 N] a un erlenmeyer de 250.0 mL que contiene los ácidos húmicos y fúlvicos anteriormente llevados a sequedad.
2. Luego se llevó a la campana de extracción de gases, y se agregaron 20.0 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) grado industrial.
3. Se guardaron las medidas de seguridad necesarias para evitar cualquier accidente por el tipo de reacción que se generó.
4. Se dejó enfriar hasta que el erlenmeyer llegó a temperatura ambiente y se agregaron 200.0 mL de agua.
5. Luego se añadieron 10.0 mL de ácido fosfórico concentrado (H_3PO_4) al erlenmeyer de 250.0 mL que contiene la mezcla de ácidos húmicos y fúlvicos anteriormente oxidados.
6. Se agregaron de 5 a 7 gotas de difenilamina. Este reactivo se preparó añadiendo 0.5 g de difenilamina disuelta en 100.0 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y 20.0 mL de agua destilada.
7. Se valoró luego la mezcla de ácidos húmicos y fúlvicos con sulfato ferroso ($FeSO_4$) de concentración [1.0 N]. Esta solución se preparó disolviendo 278.0 g de $FeSO_4$ y 20.0 mL de H_2SO_4 concentrado en un balón de aforo de 1,000.0 mL.
8. Esta solución se valoró con una solución de $K_2Cr_2O_7$ de concentración [1.0 N] (testigo) antes de la valoración de la mezcla de ácidos húmicos y fúlvicos.

3.3.4.4. Determinación del contenido de carbono (C) de los ácidos húmicos en el extracto.

1. Se midieron 25.0 mL del extracto de suelo más $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ [0.1 M] – NaOH [0.1 M] filtrado en un erlenmeyer de 125.0 mL, si la intensidad de la coloración es negra y se agregaron 50.0 mL si la intensidad es de color marrón. Se utilizó una pipeta de 25.0 mL.

2. Luego se agregó gota a gota ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y se agitó simultáneamente hasta que apareció un precipitado en el extracto.
3. El pH del extracto luego de la adición del ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado fue de aproximadamente 2.0.
4. Luego se midió el pH con tiras de papel tornasol, porque no se necesitó ser preciso en este paso.
5. Se calentó el precipitado durante 30 minutos a una temperatura de 80 grados centígrados. El erlenmeyer que contiene la mezcla de ácidos húmicos y fúlvicos fue tapado con asbesto.
6. Luego se dejó enfriar a temperatura ambiente y se reposó por 24 horas.
7. Los erlenmeyer se quedaron con tapones horadados para aislar la mezcla de ácidos húmicos y fúlvicos del CO_2 y aire.
8. Al día siguiente se filtró el precipitado de ácidos húmicos en un balón de aforo de 100.0 mL agregando solución ácida (H_2SO_4) de concentración [0.02 N] apoyándose de un embudo plástico.
9. Se trató de que no quedasen residuos de precipitado de ácidos húmicos en las paredes del erlenmeyer.
10. Se repitió el lavado con ácido sulfúrico (H_2SO_4) por lo menos tres veces agregando alícuotas de 25.0 mL evitando sobrepasar el volumen de 100.0 mL del balón de aforo hasta que se obtuvo un filtrado incoloro.
11. Se aforó el balón de 100.0 mL con agua destilada.
12. Este balón corresponde al extracto de ácidos fúlvicos.
13. Luego se colocó el embudo plástico y papel filtro (whatman #1) con el precipitado de ácidos húmicos en un nuevo balón de aforo de 100.0 mL.
14. Se procedió a disolver el precipitado de ácidos húmicos contenido en el papel filtro con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) de concentración [0.05 N].
15. Se repitió el lavado con NaOH las veces que fueran necesarias evitando sobrepasar el volumen de 100.0 mL del balón de aforo hasta que no quedara residuos en el papel filtro.
16. Se aforó el balón de 100 mL.
17. Este balón corresponde al extracto de ácidos húmicos.

18. Luego se procedió a determinar el porcentaje de carbono (C) de los ácidos húmicos mediante el método de Walkley-Black modificado siguiendo la metodología de la cuantificación del contenido de carbono extraíble total descrita en el inciso 3.3.4.3.

3.3.4.5. Determinación del contenido de carbono (C) de los ácidos fúlvicos en el extracto

- Se determinó por la diferencia entre el contenido del carbono extraíble total (CET) y el contenido de carbono (C) de los ácidos húmicos (CAH).

3.3.5. RESULTADOS

3.3.5.1. Carbono extraíble total y sustancias húmicas

Las muestras analizadas fueron suelos forestales procedentes de la parte alta del municipio de Ixchiguán, San Marcos. Se realizó el fraccionamiento de la materia orgánica (MO) a 10 muestras y se cuantificó el carbono (C) de los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF). Los resultados se presentan en el cuadro 3.36.

Cuadro 3.36. Análisis de la materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), ácidos húmicos (AH), y ácidos fúlvicos (AF) de suelos forestales de Ixchiguán, San Marcos a una profundidad de 0.00 – 0.15 m.

Identificación		MO	CO	CET	AH	AF	Relación
		%	%	%	%	%	AH/AF
M-1	Nodrizal la piedrona 0-15	7.99	4.63	1.99	0.28	1.71	0.17
M-2	Nodrizal la loma 0-15	7.32	4.25	1.80	0.42	1.37	0.31
M-3	Pinabete arriba calle 0-15	21.97	12.74	4.06	1.01	3.06	0.33
M-4	Nodrizas arriba calle 0-15	26.63	15.45	4.59	1.27	3.31	0.38
M-5	P 1 PNa 0-15	6.39	3.71	1.63	0.25	1.37	0.19
M-6	P 3 PNc 0-15	13.65	7.92	4.06	1.04	3.01	0.35
M-7	P7 Plantas en escoba 0-15	29.96	17.38	4.14	0.87	3.27	0.27
M-8	P # 1 C. Cotzil 0-15	22.5	13.05	2.63	0.52	2.11	0.25
M-9	P # 3 C. Cotzil 0-15	18.64	10.81	3.32	0.64	2.68	0.24
M-10	P # 8 C. Cotzil 0-15	11.65	6.76	2.55	0.87	1.68	0.52

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

Los resultados de la materia orgánica (MO) de los suelos forestales estudiados muestran una variación alta que oscila entre 6.39 % a 26.0 % consideradas como adecuadas a muy altas. Esta variación se puede deber a los factores internos (C/N, ácidos / bases, lignina / celulosa, entre otras), o a factores externos como humedad, temperatura, pH, pendiente. Se encuentra una relación directa con el carbono extraíble total (CET). Con relación a las fracciones analizadas los contenidos de ácidos fúlvicos (AF) son mayores que los ácidos húmicos (AH) característico de los suelos forestales (Stevenson, 1982).

3.3.5.2. Influencias de coloides orgánicos e inorgánicos sobre la CIC

Cuadro 3.37. Correlaciones de la materia orgánica (MO), carbono extraíble total (CET), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), y el porcentaje de arcilla sobre la CIC de los suelos de Ixchiguán, San Marcos a la profundidad de 0.00 – 0.15 m.

	MO	CET	AH	AF	Arcilla
	%	%	%	%	%
CIC Cmol (+) .Kg⁻¹	0.6672*	0.5833*	0.6449*	0.5256*	0.0747

* Significativa al 5.0 %

Fuente: Infostat, 2015.

La materia orgánica (MO), los ácidos húmicos (AH), y los ácidos fúlvicos correlacionan positivamente sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC) con índices de 0.6672, 0.6449, y 0.5256 respectivamente. La CIC de los suelos de Ixchiguán, San Marcos, está influenciada en gran medida por los coloides orgánicos y no por el porcentaje de arcilla.

3.3.6. CONCLUSIONES

- 3.3.6.2.** El contenido de carbono extraíble total (CET) de los suelos forestales procedentes de Ixchiguán, San Marcos a la profundidad de 0.00 – 0.15 m, presentan rangos de 1.80 a 4.59 %.
- 3.3.6.3.** El rango de carbono orgánico (CO) para los AH de los suelos forestales procedentes de Ixchiguán, San Marcos a la profundidad de 0.00 – 0.15 m, fue de 0.28 a 1.27 % y para los AF de 1.37 a 3.31 %. La relación AH/AF fue menor a 1.0 en el 100.0 % de las muestras, característico de los suelos forestales.
- 3.3.6.4.** La capacidad de intercambio catiónico (CIC) para los suelos forestales de Ixchiguán, San Marcos correlaciona positivamente con la materia orgánica con un índice de Pearson 0.66, para los ácidos húmicos de 0.64, y para los ácidos fúlvicos de 0.52, no así con el porcentaje de arcilla con un índice de 0.07.

3.3.7. RECOMENDACIONES

- 3.3.7.1.** Realizar evaluaciones de los contenidos de carbono (C) de los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) en suelos con diferentes contenidos de materia orgánica, utilizando la metodología implementada en el presente estudio.

3.4. CAPACITACIÓN A LOS AGRICULTORES DEL MUNICIPIO DE SAN RAYMUNDO, GUATEMALA EN TÉCNICAS DE MUESTREOS DE SUELOS E INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS QUÍMICOS EN LA FACULTAD DE AGRONOMÍA, USAC, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA.

3.4.1. OBJETIVOS

3.4.1.1. General

- A. Capacitar a los agricultores del municipio de San Raymundo, Guatemala en técnicas de muestreo e interpretación de análisis químicos de suelos como parte de los servicios prestados al agro guatemalteco por parte del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

3.4.1.2. Específicos

- A. Exponer la metodología y principios del muestreo de suelos a los 22 agricultores procedentes de 12 comunidades del municipio de San Raymundo, Guatemala.
- B. Interpretar los resultados de los análisis químicos de suelos con fines de fertilidad a los agricultores.
- C. Interpretar los resultados de los análisis químicos de agua con fines de uso agrícola a los agricultores de acuerdo a la metodología del USDA.

3.4.2. METODOLOGÍA

La actividad se desarrolló en dos fases, la fase (I) visita de laboratorio y la fase (II) capacitación. Las doce muestras de suelos y aguas provinieron de diferentes regiones del municipio de San Raymundo, Guatemala. Las comunidades fueron: Cruz Blanca, Loma Alta, Las Trojes I y II, Asunción Chivoc, Pilar I y II, Lo de Ramos, Santa Fe Ocaña, Los Guamuch, Los Pajoques, y Cruz Ayapan.

3.4.2.3. Fase (I) visita de laboratorio

Consistió en la visita de los agricultores a las instalaciones del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la Facultad de Agronomía (FAUSAC) ubicado en el edificio de Gestión y Vinculación de Recursos (UVIGER), con el objetivo de conocer los diferentes pasos que se llevan a cabo en la realización de los análisis de suelos, aguas y tejido vegetal (ingreso de la muestra, preparación de la muestra, análisis físicos y químicos, elaboración del informe), y el equipo utilizado en los distintos análisis.

3.4.2.4. Fase (II) capacitación

Se realizó una presentación con el apoyo de equipo audiovisual en las instalaciones de la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos (UVIGER), donde se detalló la metodología para la realización de un muestreo de suelo. También, se proyectó el resultado de los análisis de suelos y aguas de las muestras enviadas con anterioridad. La actividad se desarrolló de 10:00 am a 12:30 pm y se contó con la presencia y participación de los agricultores, promotores y el coordinador del Laboratorio.

3.4.3. RESULTADOS

3.4.3.3. Análisis de suelos

Se llevó a cabo la actividad en un 100.0 % donde se capacitó a un total de 22 agricultores procedentes de diferentes comunidades del municipio de San Raymundo, Guatemala. Los resultados de las propiedades químicas y físicas de los suelos analizados se detallan en los cuadros 3.38 y 3.39.

Cuadro 3.38. Resultados de los análisis químicos de los suelos procedentes de las diferentes comunidades de San Raymundo, Guatemala, parte I.

		CRUZ BLANCA	LOMA ALTA	LAS TROJES I	LAS TROJES II	ASUNCIÓN CHIVOC	PILAR I
	pH	6.5	6.6	6.9	7.2	6.3	5.5
μS/cm	C.E.	1015.0	976.5	2570.0	1235.0	505.5	2165.0
Ppm	P	114.0	72.0	24.0	14.0	103.0	84.0
	Cu	1.5	0.5	1.0	0.1	3.0	3.5
	Zn	50.0	13.5	95.0	12.0	13.0	14.5
	Fe	13.0	8.0	12.0	0.1	30.5	14.0
	Mn	38.5	16.0	152.5	10.0	69.5	47.0
Meq / 100 g	CIC	25.7	23.9	17.8	22.6	12.2	24.4
	Ca	15.5	11.7	10.5	52.4	6.5	10.0
	Mg	3.6	3.3	2.8	2.2	1.3	2.9
	Na	0.3	0.4	1.0	0.4	0.1	0.1
	K	1.6	1.8	1.6	2.2	1.1	1.2
%	SB	81.7	72.0	88.6	>100	73.2	58.2
	M.O.	3.7	3.1	3.4	2.2	2.2	4.8

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

Cuadro 3.39. Resultados de los análisis químicos de los suelos procedentes de las diferentes comunidades de San Raymundo, Guatemala, parte II.

		PILAR II	LO DE RAMOS	SANTA FE OCAÑA	LOS GUAMUCH	LOS PAJOQUES	CRUZ AYAPAN
	pH	4.6	4.2	6.4	5.6	5.4	5.3
μS/cm	C.E.	1975.0	907.5	1595.0	716.0	1720.0	2835.0
Ppm	P	107.0	89.0	138.0	86.0	90.0	25.0
	Cu	3.0	3.5	1.5	2.0	1.0	1.5
	Zn	13.5	8.0	29.0	7.5	15.0	23.0
	Fe	59.5	90.0	1.0	31.5	27.0	11.5
	Mn	55.5	27.0	22.5	25.5	87.5	42.0
	CIC	25.7	15.2	28.7	22.1	21.7	30.4
Meq / 100 g	Ca	7.0	2.0	17.0	8.2	7.0	9.3
	Mg	2.1	0.7	4.3	2.0	2.1	2.6
	Na	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2
	K	0.8	0.3	2.6	0.6	1.9	1.6
	%	SB	39.6	20.1	84.2	50.1	51.2
	M.O.	4.0	2.1	4.5	2.9	4.2	5.1

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

3.4.3.4. Análisis de aguas

Los resultados de las propiedades químicas de doce muestras de aguas procedentes de las comunidades de San Raymundo, Guatemala se muestran en los cuadros 3.40 y 3.41.

Cuadro 3.40. Resultados de las muestras de agua de las comunidades de San Raymundo, Guatemala, parte I.

		CRUZ BLANCA	LOMA ALTA	LAS TROJES I	LAS TROJES II	ASUNCIÓN CHIVOC	PILAR I
	pH	6.6	7.4	8.0	6.3	7.8	6.3
$\mu\text{S/cm}$	C.E.	304.0	131.8	342.0	196.8	520.0	193.1
Meq/Litro	Ca	1.3	0.6	1.3	0.9	2.9	0.8
	Mg	1.0	0.2	0.4	0.5	1.5	0.6
	Na	0.5	0.4	0.3	0.4	0.7	0.5
	K	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
ppm	Cu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Zn	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Fe	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	Mn	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	RAS	1.1	0.6	0.3	0.5	0.5	0.6
	CLASE	C2S1	C1S1	C2S1	C1S1	C2S1	C1S1

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

Cuadro 3.41. Resultados de las muestras de agua de las comunidades de San Raymundo, Guatemala, parte II.

		PILAR II	LO DE RAMOS	SANTA FE OCAÑA	LOS GUAMUCH	LOS PAJOQUES	CRUZ AYAPAN
	pH	6.4	6.4	-	7.1	7.2	6.4
$\mu\text{S/cm}$	C.E.	271.0	215.0	-	151.6	169.2	131.8
Meq/Litro	Ca	1.3	0.9	-	0.7	0.8	0.6
	Mg	0.8	0.6	-	0.4	0.5	0.4
	Na	0.5	0.6	-	0.4	0.4	0.3
	K	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1
Ppm	Cu	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0
	Zn	0.0	0.3	-	0.0	0.0	0.0
	Fe	0.0	0.0	-	2.2	0.0	0.0
	Mn	0.0	0.0	-	0.2	0.0	0.0
	RAS	0.5	0.7	-	0.5	0.4	0.4
	CLASE	C1S1	C1S1	-	C1S1	C1S1	C1S1

Fuente: Datos del Laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la FAUSAC.

3.4.4. CONCLUSIONES

- 3.4.4.3.** Se concluyó que el principal error que se comete en los análisis químicos de suelos con fines de fertilidad fue el muestreo de suelos, ya que no se realiza siguiendo los pasos recomendados para el mismo.

- 3.4.4.4.** Tomando como base los análisis químicos de suelos de los agricultores se determinó que en la mayoría de los mismos existe una sobre fertilización, lo que ha incidido en la acumulación de los mismos y desbalance.

- 3.4.4.5.** Los resultados de los análisis químicos de aguas indican que las aguas que se utilizan en la región para uso agrícola son de buena calidad, clasificadas como C2S1 y C1S1.

3.5. BIBLIOGRAFÍA

1. Bertsch, F, Ramírez, F. 1987. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. 2 ed. Costa Rica, Costa Rica, Editorial de la Universidad de Costa Rica. 81 p.
2. Bornemisza, E. 1982. Introducción a la química de suelos. Washington, DC., US, Eva V. Chesneau. 73 p.
3. Fassbender, HW; Bornemisza, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. San José, Costa Rica, IICA. 409 p.
4. Gavande, A; Sampat, A. 1976. Física de suelos. México, Limusa. 351 p.
5. Guerrero P, J. 1974. Influencia de la materia orgánica y materiales amorfos en la capacidad de intercambio catiónico de algunos suelos de la región del volcán Irazú. Turrialba, Costa Rica, IICA. 139 p.
6. Jackson, ML. 1976. Análisis químico de suelos. 3 ed. Barcelona, España, Omega. 662 p.
7. Mills, HA. 1996. Plant analysis. Georgia, US, Yash P. Kalra. 422 p. (Handbook 2).
8. Rojas, E; Leyla, A *et al.* 1989. El análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá, Colombia, CENICAFE. 253 p.
9. Schweizer L, S. 1980. Metodología para análisis de suelos plantas y aguas. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura. 32 p.
10. Silva, A. 2004. La materia orgánica del suelo. (en línea). Facultad de Agronomía, Montevideo, UY. Consultado 28 feb 2015. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Curso%202014/Material/organica.pdf>
11. Stevenson, F. 1982. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2 ed. New York, US, Wiley. 442 p.
12. UPGGR (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, GT). 2010. Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Chimaltenango, Guatemala. Guatemala, Don Quijote. 969 p.

3.6. ANEXOS

FECHA DE INGRESO: 19/4/2013

ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

IDENTIFICACION		pH		CO ₃	ppm								%	
		H ₂ O	NaF		P	Cu	Zn	Fe	Mn	B	S	M.O	N total	
RANGO ADECUADO		6-6.5	8.1		12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	0.5-0.8	30-40	4-5	0.2-0.3	
M-1	M1A 0-40	5.5	9.7	NR	1.99	0.50	0.50	9.50	59.00	0.01	5.49	7.07	0.35	
M-2	M1B 40-100	5.6	9.5	NR	1.94	0.50	0.10	38.50	48.00	0.82	4.00	1.11	0.13	
M-3	M2A 0-40	5.7	11.2	NR	1.82	0.10	0.50	3.50	17.50	1.00	5.00	13.76	0.55	
M-4	M2B 40-100	5.7	9.2	NR	1.99	0.50	0.50	25.50	0.50	0.68	3.51	0.42	0.08	
M-5	M3A 0-30	5.2	9.9	NR	2.11	0.50	2.50	19.50	56.50	1.32	4.23	6.49	0.14	
M-6	M3B 30-90	5.4	9.7	NR	1.99	0.50	3.00	28.50	9.00	1.19	3.24	0.42	0.14	
M-7	M4A 0-30	5.5	9.7	NR	1.99	0.10	0.50	8.50	27.50	1.30	4.00	10.32	0.53	
M-8	M4B 30-105	5.6	9.4	NR	2.05	0.50	0.50	31.50	2.50	0.57	2.97	1.44	0.14	
M-9	M5A 0-20	5.4	9.3	NR	2.22	1.00	0.50	33.00	24.00	0.42	3.74	4.61	0.35	
M-10	M5B 20-70	5.6	9.6	NR	2.05	0.50	0.50	25.00	2.50	0.79	3.74	0.74	0.11	
M-11	M6A 0-40	5.6	9.3	NR	2.05	1.00	1.00	23.00	59.50	1.00	3.51	3.58	0.20	
M-12	M6B 40-80	5.6	9.1	NR	2.28	0.50	1.50	27.00	5.00	1.06	14.04	0.84	0.13	

NR: No hay reacción con ácido clorhídrico al 10%

Figura 3.14 A. Resultados de los análisis químicos de suelos de 12 muestras procedentes de la finca Biotopón, Purulhá, Baja Verapaz a dos diferentes profundidades, parte I.

Fuente: Laboratorio de Suelo, Planta y Agua, 2013.

FECHA DE INGRESO: 19/4/2013

ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

IDENTIFICACION		Meq/100 gr							% SB	%		
		CICe	CIC	Ca	Mg	Na	K	Al+H		Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K
RANGO ADECUADO		10-12	20-25	4-8	1.5-2	-----	0.27-0.38	<0.50	75-90			
M-1	M1A 0-40	5.87	27.92	3.49	1.60	0.08	0.10	0.60	21.02	2.18	15.64	49.69
M-2	M1B 40-100	2.82	14.78	2.00	0.66	0.07	0.09	0.00	19.08	3.03	7.55	30.44
M-3	M2A 0-40	4.66	40.42	2.99	1.48	0.10	0.09	0.00	11.54	2.02	16.98	51.32
M-4	M2B 40-100	2.12	8.70	1.75	0.66	0.06	0.05	0.00	28.88	2.65	14.25	52.10
M-5	M3A 0-30	3.82	28.26	0.50	0.49	0.09	0.14	2.60	4.33	1.01	3.44	6.91
M-6	M3B 30-90	5.68	+	0.37*	0.27*	+	0.04*	5.00	+	1.37	6.75	16.00
M-7	M4A 0-30	7.80	25.65	4.99	1.81	0.12	0.28	0.60	28.08	2.76	6.41	24.11
M-8	M4B 30-105	3.30	12.61	2.50	0.62	0.09	0.09	0.00	26.10	4.05	6.68	33.71
M-9	M5A 0-20	4.77	20.87	2.74	1.32	0.10	0.11	0.50	20.45	2.09	11.66	35.99
M-10	M5B 20-70	2.12	8.26	1.50	0.49	0.08	0.05	0.00	25.60	3.03	10.69	43.13
M-11	M6A 0-40	2.90	20.43	2.00	0.70	0.09	0.11	0.00	14.14	2.86	6.49	25.03
M-12	M6B 40-80	5.07	16.52	3.24	1.64	0.10	0.09	0.00	30.69	1.97	18.87	56.07

+ Muestra coagulada *Datos obtenidos con solución extractora Carolina del Norte

Figura 3.15 A. Resultados de los análisis químicos de suelos de 12 muestras procedentes de la finca Biotopón, Purulhá, Baja Verapaz a dos diferentes profundidades, parte II.

Fuente: Laboratorio de Suelo, Planta y Agua, 2013.

FECHA DE INGRESO: 19/4/2013

ANALISIS FISICOS DE SUELOS

IDENTIFICACION		gr/cc Da	gr/cc Dr	Porosidad total	%			CLASE TEXTURAL
					Arcilla	Limo	Arena	
M-1	M1A 0-40	1.0000	2.4420	59.05	20.58	24.44	54.98	FRANCO ARCILLO ARENOSO
M-2	M1B 40-100	1.0526	2.4817	57.59	54.18	24.44	21.38	ARCILLOSO
M-3	M2A 0-40	0.8000	2.0058	60.12	10.08	39.14	50.78	FRANCO ARENOSO
M-4	M2B 40-100	1.3333	2.6114	48.94	31.08	37.04	31.88	FRANCO ARCILLOSO
M-5	M3A 0-30	0.9756	2.4503	60.18	33.18	41.24	25.58	FRANCO ARCILLOSO
M-6	M3B 30-90	1.1765	2.7343	56.97	62.58	30.74	6.68	ARCILLOSO
M-7	M4A 0-30	0.9302	2.2749	59.11	12.18	22.34	65.48	FRANCO ARENOSO
M-8	M4B 30-105	1.1111	2.6364	57.85	52.08	24.44	23.48	ARCILLOSO
M-9	M5A 0-20	1.0526	2.4011	56.16	28.98	24.44	46.58	FRANCO ARCILLO ARENOSO
M-10	M5B 20-70	1.2121	2.560	52.76	41.58	39.14	19.28	ARCILLOSO
M-11	M6A 0-40	1.1111	2.3219	52.15	37.38	30.74	31.88	FRANCO ARCILLOSO
M-12	M6B 40-80	1.2121	2.7692	56.23	58.38	26.54	15.08	ARCILLOSO

Figura 3.16 A. Resultados de los análisis físicos de suelos de 12 muestras procedentes de la finca Biotopón, Purulhá, Baja Verapaz a dos diferentes profundidades.

Fuente: Laboratorio de Suelo, Planta y Agua, 2013.

FECHA DE INGRESO: 5/7/2013

ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

IDENTIFICACION		pH		CO ₃	ppm								%	
		H ₂ O	NaF		P	Cu	Zn	Fe	Mn	B	S	M.O	N total	
RANGO ADECUADO		6-6.5	8.1		12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	0.5-0.8	30-40	4-5	0.2-0.3	
M-8	M1CR	5.2	9.6	NR	3.37	3.50	1.50	20.00	12.00	1.00	0.00	2.43	0.19	
M-9	M2CR	5.1	9.2	NR	11.48	3.00	3.00	20.00	42.00	0.68	0.00	2.45	0.22	
M-10	M3CR	5.2	10.1	NR	25.96	3.50	2.00	21.00	28.00	1.02	0.00	2.71	0.19	
M-11	M4CR	5.3	10.1	NR	9.30	2.50	3.50	17.50	54.00	0.88	0.00	3.95	0.29	

NR: No hay reacción con ácido clorhídrico al 10%

Figura 3.17 A. Resultados de los análisis químicos de suelos de 4 muestras procedentes de la finca Bello Amanecer, Tukurú, Alta Verapaz a dos diferentes profundidades, parte I.

FECHA DE INGRESO: 5/7/2013

ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

IDENTIFICACION		Meq/100 gr							% SB	Ca/Mg Mg/K (Ca+Mg)/K		
		CICe	CIC	Ca	Mg	Na	K	Al+H				
RANGO ADECUADO		10-12	20-25	4-8	1.5-2	----	0.27-0.38	<0.50	75-90			
M-8	M1CR	3.05	16.52	1.25	0.70	0.08	0.62	0.40	18.46	1.78	1.13	3.14
M-9	M2CR	3.55	20.43	1.00	0.62	0.07	0.46	1.40	17.38	1.62	1.34	3.50
M-10	M3CR	2.67	11.30	1.00	0.58	0.11	0.28	0.70	23.63	1.73	2.04	5.58
M-11	M4CR	3.84	22.17	1.75	0.70	0.10	0.34	0.95	17.32	2.50	2.03	7.12

Figura 3.18 A. Resultados de los análisis químicos de suelos de 4 muestras procedentes de la finca Bello Amanecer, Tukurú, Alta Verapaz a dos diferentes profundidades, parte II.
Fuente: Laboratorio de Suelo, Planta y Agua, 2013.

FECHA DE INGRESO: 5/7/2013

ANALISIS FISICOS DE SUELOS

IDENTIFICACION		gr/cc Da	gr/cc Dr	Porosidad total	%			CLASE TEXTURAL
					Arcilla	Limo	Arena	
M-8	M1CR	0.9302	2.6491	64.89	41.20	20.24	38.55	ARCILLOSO
M-9	M2CR	0.8889	2.6185	66.05	39.10	18.14	42.75	FRANCO ARCILLOSO
M-10	M3CR	0.9302	2.3996	61.22	20.20	22.34	57.45	FRANCO ARCILLO ARENOSO
M-11	M4CR	0.8511	2.3898	64.39	26.50	24.44	49.05	FRANCO ARCILLO ARENOSO

Figura 3.19 A. Resultados de los análisis físicos de suelos de 4 muestras procedentes de la finca Bello Amanecer, Tukurú, Alta Verapaz a dos diferentes profundidades.
Fuente: Laboratorio de Suelo, Planta y Agua, 2013.

FECHA DE INGRESO: 6/5/2013

ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

IDENTIFICACION		pH		CO ₃	ppm								%	
		H ₂ O	NaF		P	Cu	Zn	Fe	Mn	B	S	M.O	N total	
RANGO ADECUADO		6-6.5	8.1		12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	0.5-0.8	30-40	4-5	0.2-0.3	
M-1	U1HoA	5.8	9.2	NR	3.18	1.00	1.50	5.00	49.50	0.00	0.92	7.50	0.49	
M-2	U1HoB	5.8	9.3	NR	2.89	1.00	0.50	7.50	48.00	0.04	0.67	3.68	0.28	
M-3	U2HoA	4.8	11.3	NR	3.93	0.50	1.50	2.50	8.00	0.48	1.38	9.26	0.43	
M-4	U2HoB	4.9	11.3	NR	3.07	0.50	1.00	2.00	10.00	0.80	1.38	4.35	0.24	
M-5	U3HoA	6.2	9.1	NR	2.72	0.10	1.50	2.00	37.50	0.34	0.92	9.89	0.68	
M-6	U3HoB	6.5	10.0	NR	2.54	0.10	0.50	2.00	13.50	0.12	1.39	2.41	0.12	
M-7	U4HoA	5.4	9.3	NR	2.66	1.00	2.50	4.50	61.00	0.44	0.21	6.99	0.53	
M-8	U4HoB1	5.5	10.1	NR	2.49	1.00	1.00	4.00	36.50	0.28	0.17	2.51	0.23	
M-9	U4HoB2	5.6	10.0	NR	2.49	0.50	0.50	9.00	32.00	0.48	0.21	1.20	0.13	

NR: No hay reacción con ácido clorhídrico al 10%

Figura 3.20 A. Resultados de los análisis químicos de suelos de 9 muestras procedentes de la finca Tesucún, Cobán, Alta Verapaz a dos diferentes profundidades, parte I.

Fuente: Laboratorio de Suelo, Planta y Agua, 2013.

FECHA DE INGRESO: 6/5/2013

ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

IDENTIFICACION		Meq/100 gr							% SB	%		
		CICe	CIC	Ca	Mg	Na	K	Al+H		Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K
RANGO ADECUADO		10-12	20-25	4-8	1.5-2	-----	0.27-0.38	<0.50	75-90			
M-1	U1HoA	15.14	35.42	12.97	1.81	0.09	0.27	0.00	42.74	7.17	6.66	54.39
M-2	U1HoB	12.35	36.67	10.73	1.36	0.07	0.19	0.00	33.68	7.91	7.15	63.69
M-3	U2HoA	2.18	30.83	0.25	0.04	0.07	0.12	2.10	8.36	6.07	0.33	2.36
M-4	U2HoB	0.84	25.42	0.25	0.04	0.06	0.09	0.40	3.30	6.07	0.45	3.15
M-5	U3HoA	21.44	40.83	16.72	4.36	0.10	0.26	0.00	52.51	3.84	17.00	82.19
M-6	U3HoB	15.73	32.50	14.47	1.03	0.08	0.15	0.00	48.40	14.08	6.68	100.74
M-7	U4HoA	9.41	31.67	7.49	1.23	0.09	0.30	0.30	29.71	6.07	4.15	29.31
M-8	U4HoB1	8.00	25.00	5.99	0.58	0.06	0.17	1.20	32.00	10.40	3.40	38.74
M-9	U4HoB2	8.50	37.50	7.73	0.49	0.07	0.21	0.00	22.67	15.68	2.41	40.11

Figura 3.21 A. Resultados de los análisis químicos de suelos de 9 muestras procedentes de la finca Tesucún, Cobán, Alta Verapaz a dos diferentes profundidades, parte II.

Fuente: Laboratorio de Suelo, Planta y Agua, 2013.

FECHA DE INGRESO: 6/5/2013

ANALISIS FISICOS DE SUELOS

IDENTIFICACION		gr/cc Da	gr/cc Dr	Porosidad total	%			CLASE TEXTURAL
					Arcilla	Limo	Arena	
M-1	U1HoA	1.0000	2.4965	59.94	45.78	31.50	22.72	ARCILLOSO
M-2	U1HoB	0.9524	2.8644	66.75	62.58	21.00	16.42	ARCILLOSO
M-3	U2HoA	0.8163	2.5333	67.78	14.28	27.30	58.42	FRANCO ARENOSO
M-4	U2HoB	0.8000	2.7360	70.76	20.58	39.90	39.52	FRANCO
M-5	U3HoA	0.8696	2.5182	65.47	37.38	27.30	35.32	FRANCO ARCILLOSO
M-6	U3HoB	1.0256	2.4380	57.93	54.18	18.90	26.92	ARCILLOSO
M-7	U4HoA	0.9091	2.5235	63.98	37.38	31.50	31.12	FRANCO ARCILLOSO
M-8	U4HoB1	1.0256	2.7214	62.31	58.38	21.00	20.62	ARCILLOSO
M-9	U4HoB2	0.9302	2.7287	65.91	58.38	21.00	20.62	ARCILLOSO

Figura 3.21 A. Resultados de los análisis físicos de suelos de 9 muestras procedentes de la finca Tesucún, Cobán, Alta Verapaz a dos diferentes profundidades.

Fuente: Laboratorio de Suelo, Planta y Agua, 2013.