

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA
VARIABILIDAD DEL CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS DEL
DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS
REALIZADOS EN LA UNIDAD DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA, FACULTAD DE AGRONOMÍA, GUATEMALA, C.A.**

ELENA VICTORIA MORATAYA GARCÍA

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA VARIABILIDAD DEL CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN LA UNIDAD DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, FACULTAD DE AGRONOMÍA, GUATEMALA, C.A.

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

POR

ELENA VICTORIA MORATAYA GARCÍA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERA AGRÓNOMA

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA, 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. Ariel Abderramán Ortiz López

VOCAL PRIMERO

Dr. Ariel Abderramán Ortiz López.

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

Br. Sergio Alexander Soto Estrada

SECRETARIO

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales

GUATEMALA, ABRIL 2015

GUATEMALA, ABRIL 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: **ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA VARIABILIDAD DEL CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN LA UNIDAD DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, FACULTAD DE AGRONOMÍA, GUATEMALA, C.A.**, como requisito previo a optar el título de Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciada.

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Elena Victoria Morataya García

ACTO QUE DEDICO A:

AL ETERNO Dador de la vida, fuente de sabiduría e inspiración

MIS PADRES David Morataya y Lucrecia García por haber depositado en mí la confianza para culminar mis estudios, y en todo momento apoyarme incondicionalmente a superar mis metas trazadas.

MIS ABUELITOS Clarita Rivas y Abigail Morataya por ser la fuente de sabiduría terrenal y proveerme de consejos en todos los aspectos de mi vida, tanto profesionales como personales.

HERMANOS Y SOBRINOS David Morataya, y Mirna Morataya por ser mis ejemplos a seguir, apoyarme en mis sueños y metas, y mis dos sobrinos favoritos Héctor David y Charlie, son una alegría en la familia, a mi cuñada Reveca De León.

FAMILIA EN GENERAL A mis tías García, Marta, Elcira, Verónica y Lidia, a mis tíos, Roberto y Juan, muy especialmente a mi tía Canche (QEPD) por ser parte muy importante en una etapa de mi formación profesional y siempre creer que esta era la carrera adecuada para mí. Tíos Morataya: Josué, Alfredo, Fernando y Frank José, Primos y Sobrinos.

PROMOCIÓN FORESTALES 05-07

A mis amigos de vida y compañeros de estudios, todos y cada uno forman parte importante de mi vida con los cuales inicié esta etapa de formación única en la rama de los Recursos Naturales: Melanie Herrera, Cindy Estrada, Verónica Tax, Yaraví López, Álvaro Serrano, Rolando Curley, Luis Rajpop. Todos y cada uno sin importar el orden merecen mención.

AMIGOS EN GENERAL

Alejandro Peña Díaz. A mis compañeros ENCA-FAUSAC primeramente por estar conmigo ya por diez años de convivencias inolvidables: Cindy Estrada (ck), Francisco Delgado, Mario Chávez, Rayza Puluc y a todos mis compañeros FAUSAC: Renato De León. Daunno Chew, Andrea Herrera, Raúl Álvarez, Isi Guerra, Katy Pico, Miguel Muñoz, Linda Gasparico, Laura García, Laura Zuleta, Mafer Ugarte, Alex Silva, Carlos Mansilla (Calush), Edson Hernández, Lucho Si, Daniel Dubón, José Antonio Calderón.

AGRADECIMIENTOS

MIS ASESORES

Ing. Msc. Hugo A. Tobías y Dr. Aníbal Sacbajá

Por haberme guiado en este camino de la realización de la investigación y en el Ejercicio Profesional Supervisado, por haberme proporcionado los conocimientos necesarios para llegar a un feliz término, por ayudarme a formarme profesionalmente, tener la paciencia de corregir documentos y permitirme formar lazos de amistad con cada uno, muy agradecida por la oportunidad de formación.

MI SUPERVISOR

Ing. Agr. Pedro Pelaéz

Por todo el apoyo en todo el proceso del EPS, así como en la dirección y guía durante la culminación del mismo, tener la paciencia durante esta etapa que al fin culmina. Así mismo por permitirme también formar una amistad en este tiempo transcurrido.

MENTORES

Muy especialmente al Dr. Pablo Prado por la ayuda en la revisión del documento, por la amistad formada en estos años en mi estadía en la Facultad. Dr. Marvin Salguero, Dr. Tomás Padilla, Dr. Iván Dimitri.

SUB ÁREA MANEJO DE SUELO Y AGUA

Por permitirme estar como auxiliar de cátedra en estos años, por la experiencia adquirida y todo el apoyo brindado. Especialmente a las secretarias: Elma y Brenda.

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO, AGUA Y PLANTA -SALVADOR CASTILLO ORELLANA-

Por el apoyo brindado a lo largo de estos años de auxiliatura, especialmente a la Inga. Agr. Celena Carias, Ing. Agr. Norvin Ramos, Romael Alfaro, Ranferí Ampudia.

MI ALMA MATER ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA – ENCA-

Por ser la única de su tipo en formación de educación media en el campo de Agricultura y Recursos Naturales, por haberme permitido incursionar en este campo tan amplio y por permitirme formarme con el lema Aprender Haciendo.

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Por la formación superior en la especialización de mi carrera, con técnicas más actualizadas, procesos distintos y experiencias diferentes.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Tricentenaria Universidad, la única de su tipo en el país, gracias por la oportunidad de estudios superiores en la Universidad Pública del Estado.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
Resumen General	v
Listado De Acrónimos	vii
1. Capitulo I.....	1
1.1. Presentación	2
1.2. Marco Referencial	3
1.3. Objetivos	5
1.4. Metodología	6
1.5. Resultados Y Análisis.....	8
1.6. Conclusiones.....	21
1.7. Recomendaciones.....	21
1.8. Bibliografía	22
1.9. Anexos	23
2. Capitulo II.....	26
2.1. Presentación	27
2.2. Marco Teorico	29
2.2.1. Marco Teórico Conceptual.....	29
2.2.2. Marco Teórico Referencial.....	43
2.3 Hipotesis	62
2.4 Objetivos	62
2.5. Materiales Y Métodos.....	63
2.6 Resultados	71
2.7 Conclusiones.....	109
2.8 Recomendaciones.....	110
2.9 Literatura Consultada	111
2.10 Anexos	115
2.11 Apendice	119
2.11.1 Glosario	119

Contenido	Página
3 Capitulo III Informe De Servicios Realizados.....	125
3.1. Presentación	126
3.2. Preparación Y Organización De Base De Datos Espaciales Referentes A Estudios De Suelos En El Departamento Chimaltenango	127
3.2.1. Objetivos.....	127
3.2.3. Metodología	128
3.2.4. Resultados.....	129
3.2.5. Conclusiones	133
3.2.6 Bibliografía	134
3.3 Apoyo Al Curso De Mapeo Y Clasificación De Suelos Primer Semestre 2013 ...	135
3.3.1 Introducción	135
3.3.2 Objetivos.....	136
3.3.3 Metodología.....	137
3.3.4 Resultados.....	137
3.3.5 Conclusiones	141
3.3.6 Bibliografía.....	142

Índice de Cuadros

Cuadro	Página
Cuadro 1 Instituciones visitadas que poseen Unidades de Información Geográfica	8
Cuadro 2 Tipo de servicios que realizan las instituciones visitadas	10
Cuadro 3 Listado de las unidades de datos espaciales (Información Geográfica) del departamento de Escuintla.....	11
Cuadro 4 Listado de las unidades de datos espaciales (Información Geográfica) del departamento de Guatemala.....	12
Cuadro 5 Listado de las unidades de datos espaciales (Información Geográfica) del departamento de Chimaltenango	13
Cuadro 6 Listado de las unidades de datos espaciales (Información Geográfica) del departamento de Sacatepéquez	13
Cuadro 7 Listado de las unidades de datos espaciales (Información Geográfica) del departamento de Sololá	14
Cuadro 8 Instituciones a las que se les realizó la encuesta	14
Cuadro 9 Masa estimada de carbono orgánico en los suelos del mundo	31
Cuadro 10 Distribución de los órdenes de suelo en el departamento de Chimaltenango ..	32
Cuadro 11 Coordenadas de ubicación del departamento de Chimaltenango	43
Cuadro 12 Ubicación de estaciones meteorológicas en el departamento de Chimaltenango	48
Cuadro 13 Datos de precipitación pluvial (mm/año) y evapotranspiración (mm/año) de la estación Santa Cruz Balanyá del año 1990 a 2008.....	48
Cuadro 14 Datos de precipitación y evapotranspiración de la estación El Recuerdo para los años 1989 a 1998.....	50
Cuadro 15 Datos de precipitación (mm/año) y temperatura (°C) de la estación San Martín Jilotepeque para los años 1990 a 2012.....	51
Cuadro 16 Datos de precipitación y temperatura de la estación Alameda ICTA para los años 1990 a 2012.....	53
Cuadro 17 Población total por municipios del departamento de Chimaltenango	60
Cuadro 18 Listado de características de interés para ingresar a la base de datos	64
Cuadro 19 Instituciones visitadas en el departamento de Chimaltenango	72
Cuadro 20 Registro total de puntos de muestreo	73
Cuadro 21 Prueba de t (student) para la variable de carbono orgánico	77
Cuadro 22 Prueba de Shapiro–Wilks modificada.....	77
Cuadro 23 Equivalencia de rangos de Carbono orgánico con rangos de Materia orgánica	83
Cuadro 24 Variación de carbono orgánico en relación al material originario	85
Cuadro 25 Variación de carbono orgánico en relación a órdenes de suelo	88

Cuadro 26 Variación de carbono orgánico en relación al uso de la tierra	92
Cuadro 27 Variación de carbono orgánico en relación a la altitud	95
Cuadro 28 Variación de carbono orgánico en relación a la temperatura.....	98
Cuadro 29 Variación de carbono orgánico en relación a la precipitación pluvial.....	101
Cuadro 30 Almacenamiento de Carbono en distintos usos del terreno.....	106
Cuadro 31 Distribución del carbono orgánico (t/ha) a un metro de profundidad en relación a los órdenes de suelo	107
Cuadro 32 Listado de tesis y documentos de instituciones consultados	115
Cuadro 33 Descripción del perfil	122
Cuadro 34 Análisis químico de suelo de Santa Cruz Balanyá	123
Cuadro 35 Análisis físico de suelo estudiado en Santa Cruz Balanyá.	123
Cuadro 36 Clasificación taxonómica del suelo estudiado en Santa Cruz Balanyá.....	124
Cuadro 37 Total de puntos de muestreo localizados en el departamento de Chimaltenango	129
Cuadro 38 Base de documentos utilizados	132

Índice de Figuras

Figura	Página
Figura 1 Mapa de localización del área de trabajo	4
Figura 2 Tipo de dependencia de las instituciones.....	15
Figura 3 Principales servicios que prestan las unidades de información geográfica	16
Figura 4 Ámbitos de trabajo de las unidades de información geográfica visitadas	17
Figura 5 Nivel de especialización de los expertos en SIG.....	18
Figura 6 Limitaciones que poseen las unidades de SIG	19
Figura 7 Reservas de carbono e intercambio continuo entre océano-suelo y atmosfera ..	33
Figura 8 Mapa de localización del área de estudio	44
Figura 9 Mapa de zonas de vida vegetal en el departamento de Chimaltenango	46
Figura 10 Mapa de zonas climáticas del departamento de Chimaltenango	47
Figura 11 Climadiagrama de la estación Santa Cruz Balanyá. Datos de 1990 al 2010	49
Figura 12 Clima diagrama de la estación El Recuerdo	51
Figura 13 Climadiagrama de la estación San Martín Jilotepeque	52
Figura 14 Clima diagrama de la estación Alameda ICTA.....	54
Figura 15 Mapa de clasificación taxonómica a nivel de órdenes escala 1:250,000 del departamento de Chimaltenango	57
Figura 16 Mapa de suelos del departamento de Chimaltenango a escala 1:50,000,	58
Figura 17 Etnias y Género departamento de Chimaltenango	61
Figura 18 Mapa de puntos totales de muestreo en el departamento de Chimaltenango ...	74
Figura 19 Histograma de valores de carbono orgánico	75
Figura 20 Resumen de análisis estadístico utilizando el método logarítmico.....	76
Figura 21 Diagrama de caja (Box-plot) de carbono orgánico %.....	76
Figura 22 Mapa de distribución de carbono orgánico (IDW)	79
Figura 23 Resultado de la matriz de correlación variables climáticas	80
Figura 24 Mapa de distribución superficial de carbono orgánico (Cokriging)	82
Figura 25 Mapa de distribución de Carbono Orgánico en rangos aplicados a la Materia Orgánica.....	84
Figura 26 Distribución del carbono orgánico en relación al material parental	86
Figura 27 Mapa de distribución de carbono orgánico en función al material parental	87
Figura 28 Distribución del carbono orgánico en relación a la clasificación taxonómica a nivel de órdenes de suelo.....	88
Figura 29 Mapa de distribución de carbono orgánico en función a la clasificación taxonómica	90
Figura 30 Distribución del carbono orgánico en relación al uso de la tierra	91
Figura 31 Mapa de distribución de carbono orgánico en función al uso de la tierra.....	94
Figura 32 Distribución del carbono orgánico en relación a la altitud	96

Figura 33 Mapa de distribución de carbono orgánico en función a la altitud.....	97
Figura 34 Distribución del carbono orgánico en relación a la temperatura.....	99
Figura 35 Mapa de distribución de carbono orgánico en relación a la temperatura	100
Figura 36 Distribución de carbono orgánico en relación a la precipitación pluvial.....	102
Figura 37 Mapa de distribución de carbono orgánico en relación a la precipitación pluvial	103
Figura 38 Distribución del carbono orgánico a 100 cm de profundidad.....	105
Figura 39 Reserva de Carbono Orgánico a un metro de profundidad en relación a los órdenes de suelo.....	107
Figura 40 Pasos metodológicos para la realización del servicio dos.....	137
Figura 41 Grupo de estudiantes recibiendo la charla informativa previa a realizar su trabajo especial en campo	138
Figura 42 Ejemplo de la información proporcionada a los estudiantes	138
Figura 43 Apoyo en campo a estudiantes en la realización de calicatas en el municipio asignado.....	139
Figura 44 Apoyo en las giras de campo	140

ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA VARIABILIDAD DEL CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN LA UNIDAD DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, FACULTAD DE AGRONOMÍA, GUATEMALA, C.A

Resumen General

El presente documento posee tres capítulos, el diagnóstico del estado actual de las unidades de información geográfica en las instituciones dedicadas al estudio de los recursos naturales y ambiente en los departamentos de Guatemala, Sololá, Escuintla, Chimaltenango y Sacatepéquez. La investigación estudió los principales factores que intervienen en la variabilidad del carbono orgánico en los suelos del departamento de Chimaltenango, el tercer capítulo presenta los servicios realizados durante la realización del presente documento.

El diagnóstico se realizó en la Unidad de Sistemas de Información Geográfico –USIG-, de la Facultad de Agronomía, sobre el estado actual de las unidades de sistemas de información geográfica en los cinco departamentos en estudio, los cuales fueron: Chimaltenango, Escuintla, Guatemala, Sacatepéquez y Sololá, se visitaron alrededor de 20 instituciones de carácter público y privadas, que trabajan en ámbitos de Recursos Naturales y el Ambiente, para obtener la información necesaria mediante, encuestas directas, a los encargados de cada laboratorio o unidad y así poder elaborar un resumen del estado actual de cada Institución.

La investigación se realizó en el departamento de Chimaltenango, en donde existe una alta variabilidad de las características físicas y químicas del suelo, debido principalmente a condiciones de génesis de los suelos. Esta variabilidad se expresa en la existencia de cinco zonas de vida vegetal, debido a la diversidad de altitudes que van desde los 650 msnm hasta los 2000 y 3975 en el pico del volcán de Acatenango. Con base en algunos estudios sobre los suelos de esta zona (MAGA 2010, MAGA 2006, la Primera Aproximación al mapa de la clasificación taxonómica 2000), se demostró la variabilidad de las características físicas y químicas del departamento de Chimaltenango, lo cual sugiere la necesidad de estudiar los factores que intervienen de manera directa en la distribución superficial del carbono orgánico, estudio que pudiera ser recreado en un futuro para otros

departamentos de Guatemala. Como parte de los resultados obtenidos se determinó que el carbono orgánico superficial mantiene una estrecha relación con los factores evaluados, acumulándose especialmente en los suelos de origen volcánico, con material parental de piroclastos con un contenido medio del 2.8%, orden de suelos Andisol, con una media de 2.92%. Además del uso de la tierra bosques mixtos, categoría que incluye los bosques de las siguientes especies: *P. oocarpa*, *P. maximinoi*, y *P. montezumae*; y de los géneros *Quercus*, *Q. aatay* *Q. pacayana*), con una media de 2.78% de carbono orgánico, sitios con altitudes mayores a 2700 msnm, con precipitaciones medias anuales entre los 2000 a 2400 mm y temperaturas entre 12 y 15°C, presentaron las mayores cantidades de carbono orgánico superficial expresado en porcentaje.

En cuanto al inventario de carbono orgánico para el departamento de Chimaltenango a una profundidad de 100 cm es de 27,116.65 tm, el mayor almacenamiento de carbono orgánico, a un metro de profundidad, se encontró en suelos taxonómicamente clasificados como Andisoles, con un valor de 159 t/C/ha.

Dentro de los servicios realizados encuentran dos los cuales fueron: la preparación y organización de base de datos espaciales referentes a estudios de suelos en el departamento Chimaltenango. Consistió en sistematizar la base de datos de los estudios edafológicos consultados en la realización del presente servicio. Se obtuvo un total de registros de 1085 celdas, conteniendo 313 puntos correspondientes a muestreos superficiales y calicatas, con 36 variables recolectadas. El segundo servicio consistió en el apoyo del curso de Mapeo y clasificación de suelos en el primer semestre del año 2013, para lo cual se programaron charlas de introducción al trabajo especial de laboratorio, gabinete inicial y acompañamientos a las visitas de campo, para orientar, ayudar, familiarizar y resolver dudas a los estudiantes del curso antes mencionado, en el trabajo especial que se les solicita. Dentro de las actividades realizadas se pueden mencionar: (i) la realización de una presentación en clase acerca de la metodología a emplear; (ii) el acompañamiento a realizar fase de campo; y (iii) el acompañamiento al grupo a giras de campo.

LISTADO DE ACRÓNIMOS

FAUSAC	Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala
MAGA	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación
IGN	Instituto Geográfico Nacional
UPGGR	Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo
CEDIA	Centro de Documentación e Información Agrícola
UVG	Universidad del Valle de Guatemala
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
CONRED	Coordinadora Nacional para la reducción de desastres
CECON	Centro de Estudios Conservacionistas de la USAC
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
RIC	Registro de Información Catastral
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
INAB	Instituto Nacional de Bosques
ICC	Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
CENGICAÑA	Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña
CO	Carbono Orgánico
COT	Carbono Orgánico Total
MO	Materia Orgánica

1. CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS UNIDADES DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LAS INSTITUCIONES DEDICADAS AL ESTUDIO DE LOS RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE EN LOS DEPARTAMENTOS DE ESCUINTLA, GUATEMALA, CHIMALTENANGO, SACATEPÉQUEZ Y SOLOLÁ.

1.1. PRESENTACIÓN

Las unidades de Sistemas de Información Geográfica-SIG- en el país representan un instrumento de apoyo en el campo de los recursos naturales y el ambiente, para solucionar principalmente problemas en la organización de la infraestructura de datos espaciales y tabulares. Ayudan a crear una base de datos estable altamente desarrollada dirigida a la planificación y mejoramiento de los recursos naturales y ambiente. Disminuyen el error por pérdida de la información que se presenta muchas veces en las instituciones debido al mal manejo de información en formato físico.

Los Sistemas de Información Geográfica facilitan el manejo de información en la base de datos y espacial en planes de investigación encaminados hacia el manejo sustentable de los Recursos Naturales y el Ambiente, por ejemplo el Recurso hídrico, Suelo y Bosque, almacenando, editando y analizando información de características geográficas y socioeconómicas para generar modelos idealizados. (De León, 2013)

Así mismo los SIG facilitan la adquisición, análisis, almacenamiento, edición e impresión de datos espaciales y tabulares minimizando tiempo y costos en cuanto a actividades productivas en la planificación y ejecución de proyectos para el manejo de recursos naturales.

Por dichas razones se elaboró el presente diagnóstico del estado actual de las unidades de sistemas de información geográfica en los cinco departamentos en estudio los cuales fueron: Chimaltenango, Escuintla, Guatemala, Sacatepéquez y Sololá, visitando alrededor de 20 instituciones incluidas de carácter público y privadas que trabajan en ámbitos de Recursos Naturales y el Ambiente, esto para obtener la información necesaria mediante encuestas directas a los encargados de cada laboratorio o unidad y poder elaborar un resumen del estado actual de cada Institución.

1.2. MARCO REFERENCIAL

La Unidad de Sistemas de Información Geográfico –USIG- de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presta servicios de asesoría en el área de los sistemas de información geográfica atendiendo estudiantes, personas de entidades gubernamentales y no gubernamentales, estudiantes de EPS, tesis y profesores de diversas unidades académicas; también se presta servicio de atención a los proyectos que se estén ejecutando en elaboración de mapas, así como apoyo en capacitaciones, etc. (De León, 2013)

Según se indica en el normativo de funcionamiento de la unidad de sistemas de información geográfica-USIG-, del normativo de la Facultad de Agronomía:“ es una unidad estructural de la Facultad de Agronomía, adscrita al Instituto de Investigaciones Agronómicas –IIA-, creada con el propósito de desarrollar la tecnología de Sistemas de Información Geográfica y generar información en este campo. La unidad de Sistemas de Información Geográfica servirá de apoyo a la Investigación y docencia en la FAUSAC, así como para la prestación de servicios a personal e instituciones que lo requieran”.

Los objetivos de la Unidad de Sistemas de Información Geográfica son: Contar con una unidad para el mejoramiento y actualización de los programas de investigación del Instituto de Investigaciones Agronómicas, apoyar las actividades docentes a través de la capacitación del personal profesional que participa en las tareas de enseñanza aprendizaje y que demanden el uso de las tecnologías de los Sistemas de Información Geográfica, ofrecer los medios necesarios para que el sector estudiantil de la FAUSAC pueda conocer tecnologías en el estudio de los recursos naturales y la planificación y manejo de los medios de producción, disponer de una unidad para la prestación de servicios universitario y extrauniversitario dentro y fuera del país, mantener la comunicación, intercambio de información y coordinación con otros centros o unidades. (FAUSAC 2007)

La USIG, que es la Unidad de Sistemas de Información Geográfica de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, cuenta con 16 máquinas o

computadoras de escritorio para el servicio de clases, cursos, diplomados, entre otros. Así mismo cuenta con tres computadoras dos para los técnicos que trabajen dentro de USIG, y otra para el coordinador de la unidad, también posee un Plotter marca hP, para la impresión de planos y mapas que requieran las autoridades de la facultad de Agronomía.

El laboratorio de USIG se encuentra ubicado en el salón 3-13, del edificio T-9, de la facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.



Figura 1 Mapa de localización del área de trabajo

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. General

1.3.1.1. Determinar el estado actual de los laboratorios o unidades de información geográfica en los departamentos de Guatemala, Chimaltenango, Sololá, Sacatepéquez y Escuintla, identificando, las características generales, a través de la recopilación de información confiable.

1.3.2. Específicos

1.3.2.1. Identificar instituciones en los departamentos en estudio con líneas de trabajo relacionadas a los recursos naturales y el ambiente

1.3.2.2. Identificar a los expertos y realizar entrevistas personales en instituciones privadas o estatales en los departamentos en estudio, como fuente de información primaria

1.3.2.3. Analizar la información recopilada dentro de los departamentos en estudio para realizar una clasificación en base a servicios que prestan y capacidad espacial que poseen

1.4. METODOLOGÍA

Procedimiento

Para la elaboración del diagnóstico se establecieron las siguientes etapas principales:



1.4.1. Primera Etapa

La primera fase consistió en la ubicación de las instituciones en los departamentos de Guatemala, Chimaltenango, Sololá, Sacatepéquez y Escuintla, que poseen líneas de trabajo con referencia a los recursos naturales y el ambiente, recopilando información primaria y secundaria, con los expertos en las unidades de información geográfica.

Esto se logró mediante revisión de literatura en bibliotecas principalmente: Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Biblioteca Central USAC, ubicando documentos de graduación, informes anuales, perfiles ambientales, estudios de suelos, estudios de recursos naturales renovables y ambiente. Se observaron los mapas elaborados en dichos estudios y se anotaron los nombres de las instituciones de los autores de los mapas, para localizar dichos laboratorios o unidades de información geográfica.

1.4.2. Segunda Etapa

Se visitaron 21 instituciones dentro de los cinco departamentos, ubicando a la persona encargada de cada unidad de información geográfica, a la cual se le solicitó que anotara los datos que se requería en las boletas previamente elaboradas, las cuales contenían una serie de preguntas clave para conocer el estado actual de las unidades de información geográfica, así como la obtención del número de laboratorios que existen a

nivel nacional y principalmente en los departamentos en estudio, conociendo así la información que poseen, la infraestructura de datos espaciales la capacidad productiva y la disponibilidad de compartir dicha información.

1.4.3. Tercera Etapa

En la última etapa del presente diagnóstico se realizó el análisis de la información recolectada en las fases anteriores, estableciendo la capacidad productiva que poseen las unidades, debilidades institucionales, programas que utilizan para el ingreso, manejo, análisis y almacenamiento de la bases de datos espaciales, tipo de instalaciones físicas,

En base a la cantidad de recursos que poseen los laboratorios tanto humanos como informáticos, así fueron clasificados, elaborando gráficas con las atribuciones de cada unidad, manteniendo la confidencialidad de la información proporcionada por las distintas instituciones visitadas, esto con el fin de lograr la unificación de la información recabada, geo posicionando cada laboratorio y conociendo la información que poseen y la disponibilidad de brindar la información que generan.

1.5.RESULTADOS Y ANÁLISIS

Mediante el seguimiento de los pasos indicados en la metodología se logró llegar a los resultados que a continuación se presentan, en el cuadro se muestran las instituciones visitadas en el presente diagnóstico, incluyendo la información de su ubicación y servicios que prestan

Cuadro 1 Instituciones visitadas que poseen Unidades de Información Geográfica

No.	Institución	Nombre de la Unidad	Dirección	Servicios que presta
1	FAUSAC	Unidad de Sistemas de Información Geográfica	Ciudad Universitaria Zona 12, USAC, Edificio T-9 Facultad de Agronomía	Capacitación, base de datos, talleres, Elaboración de Inf. Geográfica, académicos
2	IGN	División técnica de Información Geográfica	Avenida Las Américas 5-76 Zona 13	Cartográficos, Académicos, investigación, generación y venta de información geográfica y catastral
3	UVG	Laboratorio de SIG del Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad CEAB	18 avenida 11-95 zona 15, Vista Hermosa III	Capacitación, base de datos, talleres, Elaboración de inf. Geográfica
4	MAGA	Dirección de información geográfica, estratégica y gestión de riesgo DIGEGR-MAGA	7a. Avenida 12-90 zona 13,	Base de datos nacional, cartografía suelos, riesgos, desastres, alertas, Mapas temáticos, capacitaciones.
5	INAB	Unidad de Sistemas de Información geográfica	7 av. 12-90 zona 13, Ciudad de Guatemala	Mapas de cobertura boscosa, Estudios de capacidad de uso de la Tierra, tierras de vocación forestal, deforestación anual
6	CONAP	Unidad de Sistemas de Información Geográfica	5 av. 6-06 zona 1, Edificio IPM 5to., 6to. y 7mo. Nivel	Sistema de áreas protegidas, deforestación anal, áreas en alerta, Especies en peligro de extinción, eco regiones.
7	CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres SIG CONRED	Avenida Hincapié 21-72, Zona 13 Guatemala,	Monitoreo de eventos, incendios, Elaboración de mapas de riesgo y vulnerabilidad, situaciones de alerta
8	INSIVUMEH	Unidad de Información Geográfica	7a. Av. 14 - 57, zona 13	Mapas de amenazas, volcánicas, deslizamientos, sismología, inundaciones
9	RIC	Información Geográfica del Registro de Información Catastral	21 calle 10-58, Zona 13 Colonia Aurora II	Zonas en proceso catastral, planos topográficos, capacitación.
10	CECON	CDC unidad técnico-científica del Centro de Estudios Conservacionistas	Avenida La Reforma 0 – 63 Zona 10	Recopilación, generación, procesamiento, análisis y difusión de información, relacionados al manejo y conservación de la diversidad biológica y recursos naturales.

11	IARNA	Unidad de Información estratégica ambiental	Universidad Rafael Landívar, Campus Central, Vista Hermosa III, zona 16	Investigación, perfil ambiental del país, cambio climático
12	MARN	Unidad de Sistemas de Información Ambiental	20 calle 28-58 zona 10, Guatemala	Recursos naturales, cuencas hidrográficas, monitoreo ambiental, elaboración de mapas, Estudios de coberturas, Información ambiental, Estadísticas ambientales
13	CENGICAÑA	Unidad de Información geográfica	Km 92,5 carretera a Mazatenango, Edificio Cengicaña, Segundo nivel	Investigación principalmente en áreas destinadas a cultivo de caña de azúcar Estudios de capacidad de uso de la tierra, fertilidad de suelos, cobertura
14	ICC	Unidad de Información Geográfica	Km 92,5 carretera a Mazatenango, Edificio Cengicaña	Investigación, cartográficos, académicos, medio ambiente, recursos naturales, Áreas protegidas, biodiversidad, riesgos y alertas, agricultura de precisión.
15	Municipalidad de Chimaltenango	Departamento de Educación Ambiental	1 calle y 1 av. Z.2 Chimaltenango	Educación ambiental, riesgo y adaptación al cambio climático
16	INAB Sub Región V-2	Dirección de desarrollo forestal	Antigua Guatemala	Análisis de información geográfica generada por la sede central Estudios de capacidad de uso de la tierra
17	Municipalidad de Sacatepéquez	Departamento de Educación Ambiental	4a. calle del ayuntamiento Antigua Guatemala	Educación ambiental, riesgo y adaptación al cambio climático
18	INAB Sub Región V-1	Dirección de desarrollo forestal	Antigua Guatemala	Análisis de información geográfica generada por la sede central Estudios de capacidad de uso de la tierra
19	AMSCLAE	Información Geográfica (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno)	Calle del Frutal 01-79 zona 2, Panajachel, Sololá,	Investigación, estudios de suelos, cuencas hidrográficas
20	MANCOMUNIDAD Manctzolojya	El Sistema de información Geográfica – SIG- de la oficina técnica de la Mancomunidad y de los municipios Mancomunados	5 Avenida 8-00, zona 1, Barrio San Antonio, Sololá.	Cartografía, planificación de proyectos de obra gris, proyectos de construcción
21	ATI 'T ALA'	Organización Ati't Ala'	San Juan La Laguna, Sololá	Educación ambiental, riesgo y adaptación al cambio climático Mapas para protección del lago de Atitlán
22	MAGA SOLOLÁ	Unidad de Sistemas de Información	5ta Ave. 14-93 Zona 1 Edificio MAGA	Análisis de información generada en la sede central Suelos, uso de la tierra, fertilización, población, extensión agrícola

Fuente: Obtenido en la fase de campo

1.5.1. Servicios que realizan las instituciones visitadas

A continuación se detallan las actividades que realiza cada institución visitada en el presente diagnóstico, como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2 Tipo de servicios que realizan las instituciones visitadas

No.	Institución	Servicios que realizan			
		Genera Datos	Procesa y Analiza	Consulta	Publica
1	FAUSAC				
2	IGN				
3	UVG				
4	MAGA				
5	INAB				
6	CONAP				
7	CONRED				
8	INSIVUMEH				
9	RIC				
10	CECON				
11	IARNA				
12	MARN				
13	CENGICAÑA				
14	ICC				
15	Municipalidad de Chimaltenango				
16	INAB Sub Región V-2				
17	Municipalidad de Sacatepéquez				
18	INAB Sub Región V-1				
19	AMSCLAE				
20	Mancomunidad Manctzolojya				
21	ATI ´T ALA´				
22	MAGA Sololá				

Fuente: Obtenido en la fase de campo del diagnóstico

Las distintas instituciones visitadas poseen servicios y actividades diferentes unas de otras, sin embargo las que se tomaron como actividades comunes fueron cuatro: Generan datos, Analizan y procesan, Consultan y Publican, de allí se tomó como base para realizar la encuesta que se menciona en los resultados del presente diagnóstico, ya que solamente se realizó la encuesta a las instituciones que generan información.

1.5.2. Descripción de las Unidades de Información Geográfica en los departamentos en estudio

1.5.2.1. Escuintla

Dentro del departamento de Escuintla se ubicaron 2 instituciones que poseen unidades de información geográfica y que se dedican al estudio y trabajo de los recursos naturales renovables y el ambiente, en el cuadro 4 se presenta la información de las mismas:

Cuadro 3 Listado de las unidades de datos espaciales (Información Geográfica) del departamento de Escuintla

DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA				
No.	Institución	Nombre		Dirección
1	CENGICAÑA	Unidad de Información geográfica	Ing. Braulio Villatoro	Km 92,5 carretera a Mazatenango, Edificio Cengicaña Segundo nivel
2	ICC	Unidad de Información geográfica	Gonzalo López	Km 92,5 carretera a Mazatenango, Edificio Cengicaña

Fuente: Elaboración propia obtenido en fase de campo

1.5.2.2. Guatemala

El departamento de Guatemala posee la mayor cantidad de unidades de información geográfica, esto debido a que las sedes centrales de las instituciones se encuentran dentro de dicho departamento, por lo que poseen los principales laboratorios dentro de los alrededores de la ciudad capital. Dentro del departamento de Guatemala se encuentran 12 instituciones que poseen unidades de información geográfica y que se dedican al estudio y trabajo de los recursos naturales renovables y el ambiente, en el cuadro 4 se presenta la información de las mismas:

Cuadro 4 Listado de las unidades de datos espaciales (Información Geográfica) del departamento de Guatemala

No.	Institución	Nombre de la Unidad	Persona encuestada
1	FAUSAC	Unidad de Sistemas de Información Geográfica	Ing. Agr. Daniel Dubón
2	IGN	División técnica de Información Geográfica	Ing. Milton Nuñez, Ing. Iván Paredes, Lic. Saúl Palma
3	UVG	Laboratorio de SIG del Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad CEAB	Ing. Margarita Vides
4	MAGA	Dirección de información geográfica, estratégica y gestión de riesgo DIGEGR-MAGA	Ing. Rovoham Monzón
5	INAB	Unidad de Sistemas de Información geográfica	Lic. Ximena Villagrán
6	CONAP	Unidad de Sistemas de Información Geográfica	Ing. Adalberto López
7	CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres SIG CONRED	Ing. Danilo E. Juarros
8	INSIVUMEH	Unidad de Información Geográfica	Ing. Walter Bardales
9	RIC	Información Geográfica del Registro de Información Catastral	Ing. Betsy J. Jiménez G
10	CECON	CDC unidad técnico-científica del Centro de Estudios Conservacionistas	Lic. Mercedes Barrios
11	IARNA	Unidad de Información Estratégica Ambiental	Ing. Gerónimo Pérez
12	MARN	Unidad de Sistemas de Información Ambiental	Ing. José David Díaz

Fuente: Elaboración propia obtenido en fase de campo

1.5.2.3. Chimaltenango

Dentro del departamento de Chimaltenango se ubicaron 2 instituciones que poseen unidades de información geográfica y que se dedican al estudio y trabajo de los recursos naturales renovables y el ambiente, en el cuadro 3 se presenta la información de las mismas:

Cuadro 5 Listado de las unidades de datos espaciales (Información Geográfica) del departamento de Chimaltenango

DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO			
No.	Institución	Nombre	Dirección
1	Municipalidad de Chimaltenango	Departamento de Educación Ambiental	1 calle y 1 av. Z.2 Chimaltenango
2	INAB	Dirección de desarrollo forestal	6 C. Entre 4 y 5 Av. Z.1 Chimaltenango

Fuente: Elaboración propia obtenido en fase de campo

Las instituciones visitadas en el departamento de Chimaltenango no generan información de datos espaciales, al igual que en Sacatepéquez y Sololá, lo que consultan ha sido generado principalmente por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA), de la Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos - **DIGEGR**-, y el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

1.5.2.4. Sacatepéquez

Dentro del departamento de Sacatepéquez solamente se encuentran dos instituciones que manejan Información Geográfica, sin embargo ninguna de estas genera información propia, solamente analizan, procesan y consultan.

Cuadro 6 Listado de las unidades de datos espaciales (Información Geográfica) del departamento de Sacatepéquez

DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ			
No.	Institución	Nombre	Dirección
1	Municipalidad de Sacatepéquez	Departamento de Educación Ambiental	4a. calle del ayuntamiento Antigua Guatemala
2	INAB Sub Región V-1	Dirección de desarrollo forestal	Antigua Guatemala

Fuente: Elaboración propia obtenido en fase de campo

1.5.2.5. Sololá

Dentro del departamento de Sololá se ubicaron 4 instituciones que poseen unidades de información geográfica y que se dedican al estudio y trabajo de los recursos naturales renovables y el ambiente, en el cuadro 2 se presenta la información de las mismas, dichas instituciones se visitaron en la fase de campo y se habló con la persona encargada para conocer si generaban información geográfica o tenían bajo su cargo una unidad de sistemas de información geográfica como tal.

Cuadro 7 Listado de las unidades de datos espaciales (Información Geográfica) del departamento de Sololá

DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ			
No.	Institución	Nombre	Dirección
1	AMSCLAE	Información Geográfica (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Utatlán y su Entorno)	Calle del Frutal 01-79 zona 2, Panajachel, Sololá,
2	MANCOMUNIDAD Manctzolojya	El Sistema de información Geográfica –SIG- de la oficina	5 Avenida 8-00, zona 1, Barrio
		técnica de la Mancomunidad y de los municipios Mancomunados	San Antonio, Sololá.
3	ATI 'T ALA'	Organización Ati't Ala'	San Juan La Laguna, Sololá
4	MAGA SOLOLÁ	Unidad de Sistemas de Información	5ta Ave. 14-93 Zona 1 Edificio MAGA

Fuente: Elaboración propia obtenido en fase de campo

1.5.1. Realización de encuesta

Se realizaron encuestas a las instituciones que generan información geográfica y que poseen unidades o laboratorios de información geográfica, esto mediante la elaboración de una boleta, en donde se colocaron las características principales a evaluar como: capacidad técnica, capacidad productiva, tipo de programas informáticos, nivel de especialización de los técnicos, limitaciones, entre otras.

No todas las instituciones mencionadas en los cuadros por departamento fueron encuestadas, solamente 14 esto debido a que no generan información geográfica espacial (sedes departamentales), más todas fueron visitadas en la etapa inicial del presente diagnóstico. Las instituciones encuestadas se mencionan a continuación:

Cuadro 8 Instituciones a las que se les realizó la encuesta

No.	Institución	No.	Institución
1	FAUSAC	8	INSIVUMEH
2	IGN	9	RIC
3	UVG	10	CECON
4	MAGA	11	IARNA
5	INAB	12	MARN
6	CONAP	13	CENGICAÑA
7	CONRED	14	ICC

Fuente: Elaboración propia obtenido en fase de campo

1.5.2. Análisis de la encuesta

Mediante la realización de la encuesta en cada institución se logró recolectar y llenar una base de información importante acerca del estado actual de las unidades de información geográfica del país, instituciones que se dedican al estudio de los recursos naturales y el ambiente.

1.5.2.6. Carácter institucional

Principalmente lo que se deseaba conocer mediante esta pregunta era el total de instituciones que financiaba el gobierno y cuáles eran de carácter privado. Esto para dar a conocer el interés que han tenido los principales ministerios del país, en atender la demanda de análisis de información geográfica como en la prevención de desastres, sistemas de alertas tempranas, manejo de los recursos naturales renovables, conservación de los recursos naturales y el ambiente. Como se observa en la figura 1, del total de instituciones visitadas que poseen unidades de información geográfica el 71% que corresponden a 10 son de carácter Estatal, y el resto son de carácter privado.

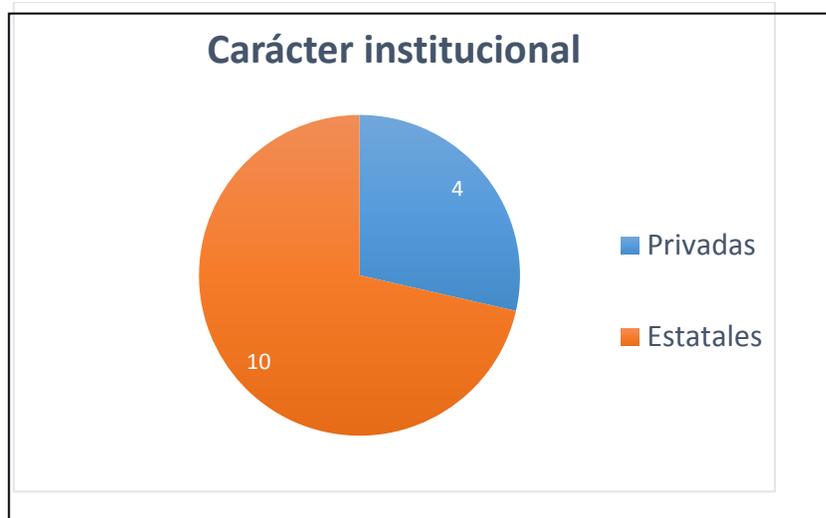


Figura 2 Tipo de dependencia de las instituciones

El 71% puede significar que el Estado posee interés en poseer laboratorios o unidades de información geográfica, como parte principal para la generación, análisis y manejo de datos espaciales para resolver y solventar problemas de interés nacional, tales como

desastres naturales, riesgos a desastres, uso y manejo de los recursos naturales renovables, ordenamiento territorial, entre otros.

1.5.2.7. Tipo de servicios que prestan las instituciones

El 85% de las instituciones visitadas que poseen laboratorios de información geográfica se dedican a la investigación, lo cual corresponde a generación de nuevas metodologías para procesos, análisis estadísticos, análisis espacial, uso de imágenes satelitales, evaluación de nuevas propuestas que estén involucrados los recursos naturales y el ambiente. Dichas investigaciones pueden ser propiamente de las instituciones o compartiendo créditos con otras dependencias, como parte de programas o estudio a nivel nacional, que requieran el asesoramiento de más instituciones para generar información compleja e integrando elementos.

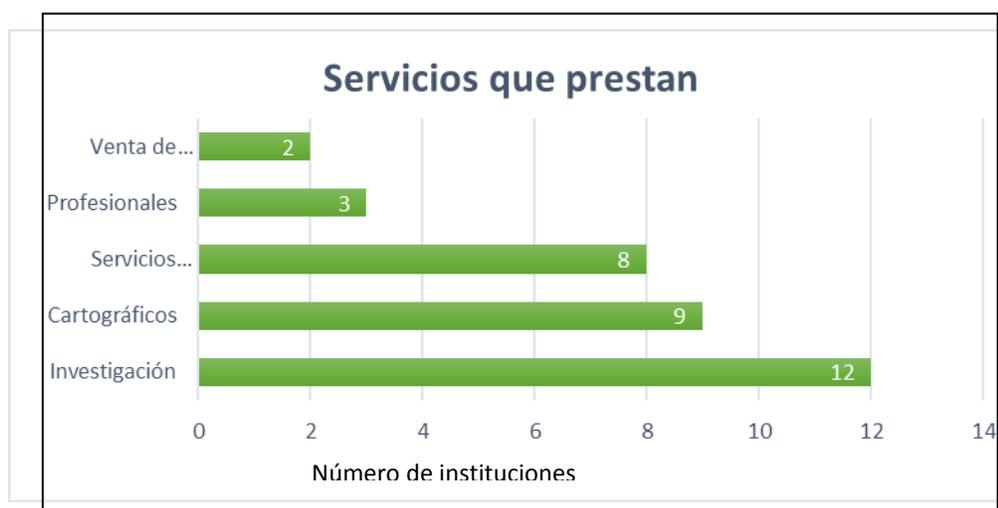


Figura 3 Principales servicios que prestan las unidades de información geográfica

La segunda actividad a la que más se dedican las instituciones con un 64% es a servicios cartográficos lo cual está representado por el ingreso de información a bases de datos, generación y análisis de información cartográfica, principalmente mapas temáticos, topográficos, catastrales, geodésicos, entre otros. Así mismo el uso y manejo de fotografías aéreas, mapas topográficos,

Otro 57% de las unidades de información geográfica se dedican a servicios académicos, los cuales corresponden a atención a estudiantes, asesoramiento de investigaciones, capacitaciones acerca del uso y manejo de nuevas tecnologías, aceptación de practicantes o estudiantes de ejercicio profesional supervisado, lo cual indica la existencia de instituciones abiertas a asesorar a estudiantes en el campo de los sistemas de información geográfica.

1.5.2.8. Ámbitos de trabajo de las Unidades de Información Geográfica

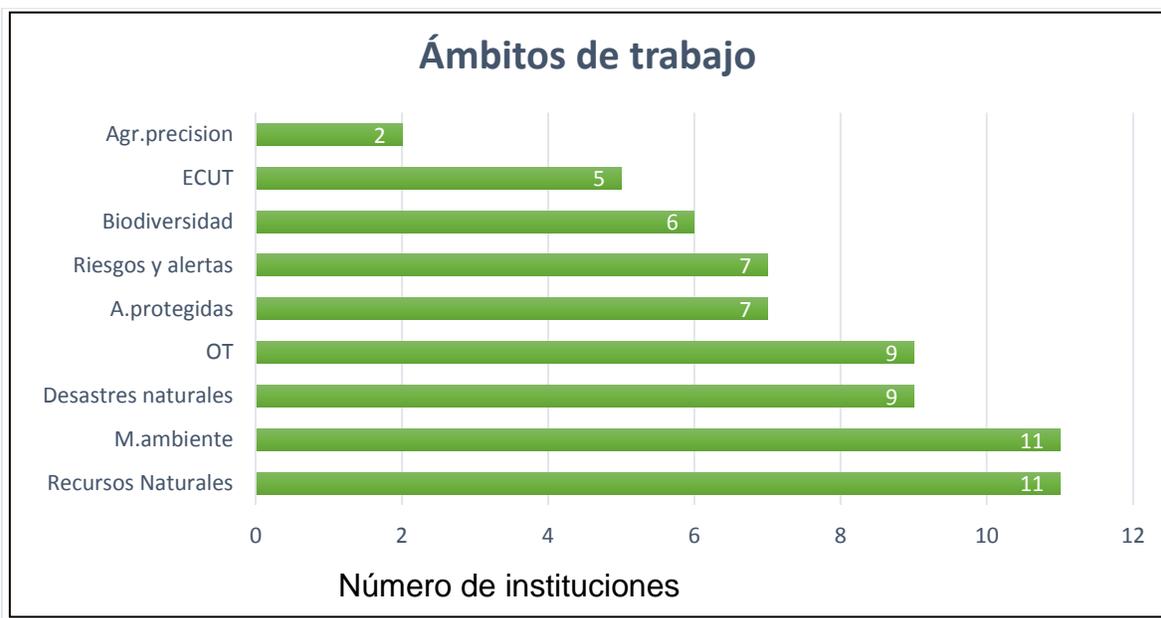


Figura 4 Ámbitos de trabajo de las unidades de información geográfica visitadas

Dentro de los ámbitos de trabajo más predominantes se encuentra el tema de Recursos naturales y el medio ambiente ambos con un 79% el cual corresponde a 11 instituciones las cuales contestaron que se dedican a esos dos temas.

En segundo lugar con un 64% se encuentran los temas de desastres naturales y ordenamiento territorial, dicho porcentaje corresponde a 9 instituciones, lo cual puede estar sujeto a que en los tiempos actuales ha tomado bastante importancia el tema de la

prevención de desastres naturales debido a los efectos que se han podido percibir del cambio climático, por lo cual se han tenido que tomar nuevas medidas de prevención para evitar tragedias humanas, materiales y naturales, por lo que las instituciones han implementado los -SIG- para prevenir, restablecer y minimizar los efectos de los desastres naturales.

Así mismos el ordenamiento territorial ha tomado gran importancia debido a que ha existido un mal ordenamiento en cuanto a los territorios, generando reglas claras para tener cada proyecto en el lugar más adecuado, y así mantener una sostenibilidad, proteger los recursos naturales y a la población en general al prevenir desastres naturales.

Dentro de los siguientes ámbitos de trabajo se encuentran: el manejo de áreas protegidas, riesgos y alertas, biodiversidad, estudios de capacidad de uso de la tierra y agricultura de precisión, debido a que son temas muy puntuales, pocas instituciones se dedican directa y exclusivamente a ellas, menos del 50% de las instituciones visitadas se dedican a trabajar los temas antes mencionados.

1.5.2.9. Nivel de especialización de los técnicos en SIG

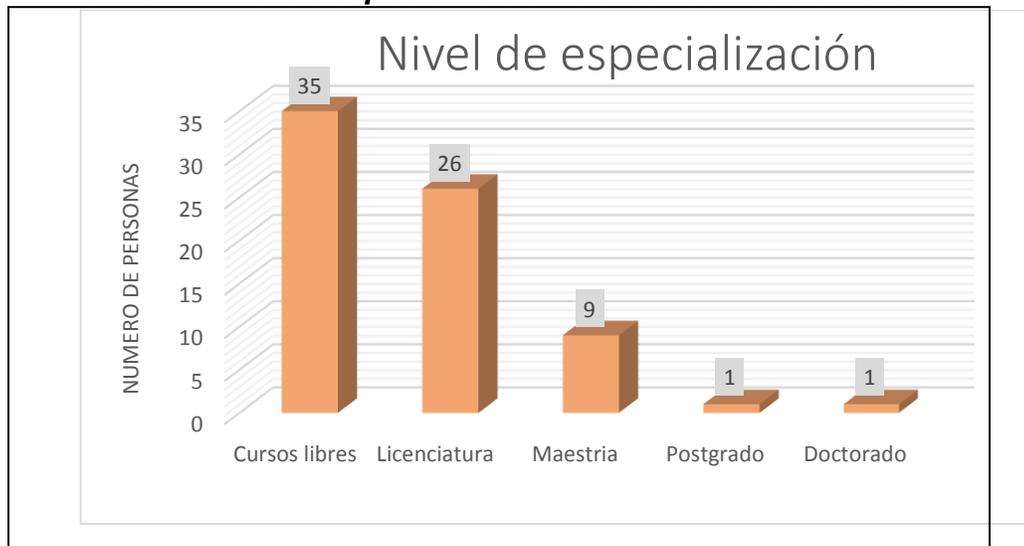


Figura 5 Nivel de especialización de los expertos en SIG

Dentro de las unidades de información geográfica se encontró que un 86% de los técnicos que se dedican a trabajar con información geográfica (generación, análisis y uso de bases de datos), poseen el grado de Licenciatura, principalmente en las carreras de Agronomía,

Ingeniería y Arquitectura. Un 71% correspondiente a 10 instituciones solamente poseen cursos libres, indicando que todavía no poseen un título universitario.

Un 64% de las personas que trabajan en las instituciones dedicadas al uso de los sig poseen un grado de maestría.

Un dato importante es el de personas que poseen un grado de doctorado ya sea en el ámbito de los recursos naturales o no, ya que solamente 2 personas en todas las instituciones que se dedican al uso de los sistemas de información geográfica lo poseen, dejando una brecha importante entre la necesidad de poseer más personal capacitado que dirija las instituciones dedicadas al uso de los sig.

1.5.2.10. Limitantes en las unidades de Información Geográfica

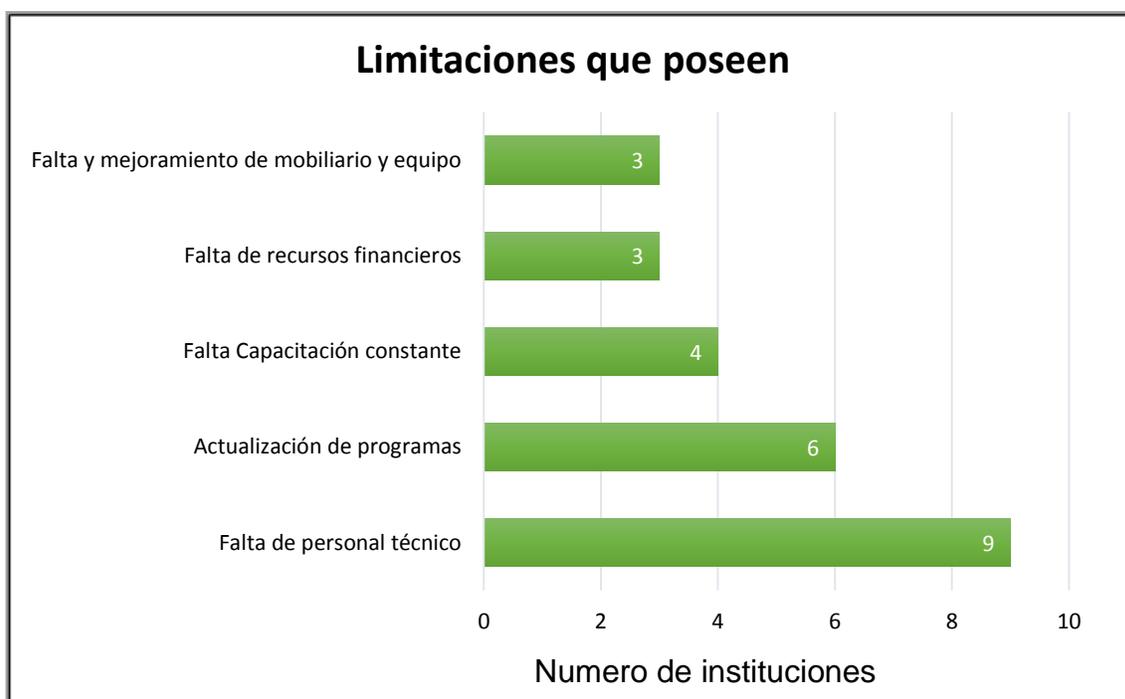


Figura 6 Limitaciones que poseen las unidades de SIG

Dentro de las unidades de información geográfica del país que trabajan en ámbitos de recursos naturales y el ambiente se presentan algunas limitaciones, las cuales fueron priorizadas en base a las respuestas de las encuestas en cada institución, por lo que se puede decir que la mayor limitante que poseen las unidades o laboratorios es la falta de

personal técnico, esto indica un 64% de las instituciones encuestadas indicaron este problema, lo cual dificulta la generación de nueva información geográfica, el análisis de esta y así mismo realizar propuestas a los problemas nacionales que afectan relacionados con los recursos naturales y el ambiente.

En segunda posición se encuentra la limitante de actualización de programas informáticos y/o de análisis espacial, con un 43% del total de las instituciones, el cual según indicaron las instituciones entrevistadas esto genera atrasos en el análisis de la información, así como en la publicación de nueva información por falta de nuevas licencias y nuevas versiones de los programas informáticos, la actualización de los software acelera procesos espaciales, disminuyendo el tiempo de espera entre procesos, aumentando así la cantidad y calidad del trabajo realizado.

1.6. CONCLUSIONES

- 1.6.1.** Se identificaron 20 instituciones dentro de los cinco departamentos bajo estudio, las cuales trabajan en ámbitos de Recursos Naturales y el Ambiente, las cuales poseen unidades de información geográfica.
- 1.6.2.** Las instituciones encuestadas fueron 14, las cuales se eligieron debido a que generan información en relación a Recursos Naturales y el Ambiente, así mismo se entrevistó a cada persona encargada de las unidades de información geográfica.
- 1.6.3.** De las instituciones encuestadas el 71% que corresponden a 10 son de carácter Estatal, el 85% se dedican a la investigación, dentro de los ámbitos de trabajo más predominantes se encuentra el tema de Recursos Naturales y el medio ambiente ambos con un 79%, un 86% de los técnicos), poseen el grado de Licenciatura, 64% poseen maestría y la mayor limitante que poseen las unidades o laboratorios es la falta de personal técnico, esto indica un 64%.

1.7. RECOMENDACIONES

- A las instituciones encargadas velar por el mejoramiento de las unidades de información geográfica, para contribuir al desarrollo del país en ámbitos de recursos naturales renovables.
- A los Gobiernos locales, departamentales y del país, velar por la implementación de Unidades de Información geográfica ya que estas contribuyen al desarrollo del país mediante el estudio de los Recursos Naturales y el Ambiente.

1.8. BIBLIOGRAFÍA

1. ESRI, US. 1996. ArcGIS the geographic information system for everyone (version en Español). US. 250 p
2. FAUSAC (USAC, Facultad de Agronomía, GT). 2007. Normativos de la Facultad de Agronomía. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 183 p.
3. León, RR De. 2013. Trabajo de graduación: Manual para la elaboración de mapas de vulnerabilidad a deslizamientos y sequías utilizando como herramienta sistemas de información geográfica. Informe Graduación. Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 130-133p
4. MAGA (Ministerios de Agricultura Ganadería y Alimentación, GT) 2006. Mapas temáticos de la República de Guatemala a escala 1:250,000. Guatemala. 1 CD.



1.9. ANEXOS

Anexo 1 Boleta de campo para el diagnóstico de las USIG

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Agronomía Ejercicio Profesional Supervisado –EPSA–
Encuesta para Unidades de información Geográfica

1. Nombre de la Institución: _____

2. Nombre del encargado del laboratorio: _____

3. ¿Posee infraestructura física

SI NO

Propia
 Compartida

4. ¿Número de personal que labora en el laboratorio?

_____ Técnicos
 Profesionales

5. ¿Tipo de programa informático que utilizan?

_____ Libre
 Licencia

6. ¿Nivel de especialización de los técnicos? Cantidad de personas

Licenciatura
 Maestría
 Doctorado Otro: _____ especifique
 Curso libre

7. Áreas temáticas de trabajo:

8. Ambitos de trabajo y servicios que prestan:

Ámbito			Servicios
Recursos Naturales	<input type="checkbox"/>	Agr. Precisión	<input type="checkbox"/>
M. Ambiente	<input type="checkbox"/>	Áreas protegidas	<input type="checkbox"/>
Desastres naturales	<input type="checkbox"/>	Riesgos, alertas	<input type="checkbox"/>
ECUT	<input type="checkbox"/>	Biodiversidad	<input type="checkbox"/>
Ordenamiento territorial	<input type="checkbox"/>		

9. Es de carácter:

Privado
 Semiprivado
 Estatal

10. ¿Qué limitantes poseen, institucionales?

Anexo 2 Fotografías tomadas en la fase de campo del Diagnóstico

Departamento de Guatemala



Departamento de Escuintla



Departamento de Sololá



Departamento de Chimaltenango



2. CAPÍTULO II

**ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA
VARIABILIDAD DEL CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS DEL DEPARTAMENTO
DE CHIMALTENANGO, GUATEMALA, C.A.**

**STUDY OF MAIN FACTORS INVOLVED IN THE VARIABILITY OF SOIL ORGANIC
CARBON IN THE DEPARTMENT OF CHIMALTENANGO, GUATEMALA, C.A.**

2.1. PRESENTACIÓN

El carbono orgánico del suelo es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001), así mismo se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el N cuyo aporte mineral es normalmente deficitario. El carbono orgánico asociado a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico. Su efecto en las propiedades físicas se manifiesta mediante la modificación de la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo. (Martínez. H 2008).

El contenido de materia orgánica ha sido estudiado en una gran cantidad de suelos en el mundo y su mayor o menor proporción ha sido atribuida a diferentes factores: precipitación, temperatura, humedad relativa, contenido de arcilla, factor biótico, altitud (asociada con la disminución de temperatura), material parental, etc. (Ochoa, G 2000)

Se estima que la fijación de carbono orgánico por el suelo es más elevada que la de la atmósfera y la masa boscosa según Crops, Soils, Agronomy News (2009), el manejo agrícola convencional de suelos, con uso intensivo del arado, promueve la liberación de carbono hacia la atmósfera, mientras que el uso conservacionista favorece la acumulación de carbono en formas orgánicas dentro del suelo. (Martínez. H, et al. 2008).

Al conocer los factores que intervienen directamente en la distribución del Carbono orgánico en los suelos del departamento de Chimaltenango (clima, suelo y vegetación), se logró establecer las características adecuadas en las que se acumula mayor cantidad de carbono orgánico superficial; así mismo en el presente estudio se lograron conocer las reservas de carbono orgánico del suelo.

La presente investigación se realizó en el departamento de Chimaltenango, en donde existe una alta variabilidad de las características físicas y químicas del suelo, debido principalmente a condiciones de génesis de los suelos. Esta variabilidad se expresa en la existencia de cinco zonas de vida vegetal, debido a la diversidad de altitudes que van desde los 650 msnm hasta los 2000 y 3975 en el pico del volcán de Acatenango.

Con base en algunos estudios sobre los suelos de esta zona (MAGA 2010, MAGA 2006, La Primera Aproximación al mapa de la clasificación taxonómica 2000), se ha demostrado la variabilidad de las características físicas y químicas del departamento de Chimaltenango, lo cual sugiere la necesidad de estudiar los factores que intervienen de manera directa en la distribución superficial del carbono orgánico, estudio que pudiera ser recreado en un futuro para otros departamentos de Guatemala.

La presente investigación se realizó como un estudio innovador, en el departamento de Chimaltenango, Guatemala; durante el período agosto 2012 a mayo de 2013, utilizando información previamente generada en levantamientos edafológicos de instituciones del gobierno, entidades privadas, municipalidades, universidades, entre otras, de las cuales se recolectó toda la información posible referente al tema y que fuese de acceso a todo público, al existir áreas con poca o nula presencia de datos se generó información en campo, para identificar las cantidades existentes de carbono orgánico en los suelos expresado en toneladas por hectárea, del departamento de Chimaltenango a una profundidad de 100 cm, para cuantificar el total de Carbono orgánico del suelo y realizar un inventario de la reserva de existente en los suelos de Chimaltenango, en donde se determinó que el carbono orgánico superficial mantiene una estrecha relación con los factores evaluados, acumulándose especialmente en los suelos de origen volcánico con material parental de piroclastos con un contenido medio del 2.8%, orden de suelos Andisol, con una media de 2.92%, uso de la tierra bosques mixtos, categoría que incluye los bosques de las siguientes especies del género *Pinus*: *P. oocarpa*, *P. maximinoi*, y *P. montezumae*; y del género *Quercus*, *Q. aatay* *Q. pacayana*), con una media de 2.78% de carbono orgánico, sitios con altitudes mayores a 2700 msnm, precipitaciones medias anuales entre los 2000 a 2400 mm y temperaturas entre 12 y 15°C, presentaron las mayores cantidades de carbono orgánico superficial expresado en porcentaje.

En cuanto al inventario de carbono orgánico para el departamento de Chimaltenango a una profundidad de 100 cm se determinó que es de 27,116.65 tm, y el mayor almacenamiento de carbono orgánico a un metro de profundidad de encontró en suelos taxonómicamente clasificados como Andisoles, con un valor de 159 t/C/ha.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.2.1.1. Importancia del carbono orgánico en el suelo

La importancia de la materia orgánica para mejorar la productividad del suelo fue detectada hace milenios por los agricultores de modo que la práctica de agregar materia orgánica al suelo es muy antigua. En general la fracción orgánica del suelo tiene un papel importante: regula los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas y, es el centro de casi todas las actividades biológicas en el mismo, incluyendo la micro flora, la fauna y hasta el sistema de raíces de plantas superiores. (Bornemisza 1982)

2.2.1.2. Carbono orgánico del suelo o terrestre y la atmósfera

Los flujos entre el carbono orgánico del suelo o terrestre y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de CO₂.

Houghton (1995) estima que las emisiones correspondientes al cambio de uso de la tierra -deforestación e incremento del pastoreo y de las tierras cultivadas- fueron cerca de 140 Pg. entre 1850 y 1990 (de 0,4 Pg. /año en 1850 a 1,7 Pg. /año en 1990), con una liberación neta hacia la atmósfera de 25 Pg. de carbono. De acuerdo con IPCC (2000). En el pasado, el desarrollo de la agricultura fue la principal causa del incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, pero hoy día, los mayores contribuyentes son la combustión de los combustibles fósiles por parte de la industria y el transporte (6,5 Pg. /año). Un hecho importante, es que mientras la deforestación de muchas áreas tropicales produce emisiones de carbono estimadas en 1,5 Pg. /año, al mismo tiempo se produce una acumulación en los ecosistemas terrestres de 1,8 a 2 Pg. /año. (FAO 2002)

Los principales factores que actúan sobre la evolución de la materia orgánica conciernen a la, composición de las plantas, los factores climáticos -condiciones de temperatura y humedad- y las propiedades del suelo -textura, contenido y mineralogía de la arcilla, acidez. (FAO 2002)

Según Bornemisza 1982, dentro de los procesos químicos en los que interviene la materia orgánica procede mencionar:

- El suministro de elementos nutritivos por la mineralización en particular la liberación de nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes disponibles para las plantas.
- La estabilización de la acidez del suelo por su poder amortiguador
- La contribución a la capacidad de cambio catiónico de los suelos, muy valiosa para los de textura arenosa y los muy antiguos que contienen arcilla de reducida capacidad de cambio y baja retención de cationes.
- Regularización de los niveles de disponibilidad de elementos mayores y de elementos menores mediante la formación de sustancias orgánicas que constituyen compuestos solubles, no iónicos con cationes de valencia variable.
- La volatilización del azufre y del nitrógeno a partir de los suelos, sobre todo procedentes de la materia orgánica que se descompone fácilmente
- Los fenómenos de absorción, entre los que son de particular importancia la inactivación de plaguicidas y la fijación de fósforo.

El carbono orgánico también afecta algunas propiedades físicas muy importantes del suelo y, entre ellas, cabe mencionar:

- La estructura del suelo (favorece la formación de agregados individuales, disminuye la plasticidad)
- Uso más eficiente del agua (mejora la infiltración, mejora drenaje de suelos con textura fina, reduce la pérdida del agua por evaporación, promueve un sistema de raíces más profundas que permiten el uso del agua en una capa del suelo también más profunda) (Bornemisza 1982)

En el cuadro 1 se presentan las cantidades de carbono orgánico presentes en cada orden de suelo en el mundo indicando la extensión que ocupa cada uno (10^3 km^2), expresado en Gt (Giga toneladas)

Cuadro 9 Masa estimada de carbono orgánico en los suelos del mundo

Ordenes de suelo	t/ km ² *
Alfisoles	6900
Otros Suelos	2405
Aridisoles	3498
Vertisoles	5791
Ultisoles	9299
Entisoles	9901
Oxisoles	10101
Mollisoles	13099
Spodosoles	14600
Inceptisoles	16299
Gelisoles	20010
Andisoles	30564
Histosoles	204522
Totales	346989

Fuente: *Crops, soils, agronomy News (2009)*

* Expresado en toneladas de suelo por unidad de superficie (kilómetro cuadrado)

Según el cuadro 1, los suelos que poseen la mayor cantidad de carbono orgánico terrestre es el orden de suelos Histosoles con 204,522 t/ km², seguido por el orden Andisoles con un total de 30,564t/ km², y en tercer lugar de poseer la mayor reserva de carbono orgánico, es el orden de suelos Gelisoles.

El orden que posee la mayor cantidad acumulada de carbono orgánico está representado por los Histosoles que indica un 59%, esto está en base del total de 12 órdenes de suelos, más otros suelos del mundo.

En segunda posición de contenidos de carbono orgánico se encuentran los Andisoles con un 9%, estos suelos si se encuentran presentes en el departamento de Chimaltenango ocupando un 33.37% de la superficie del departamento, sin embargo no existe una referencia ni estudio comprobado que demuestre la cuantificación de la masa de carbono orgánico presente en este orden de suelo.

Cuadro 10 Distribución de los órdenes de suelo en el departamento de Chimaltenango

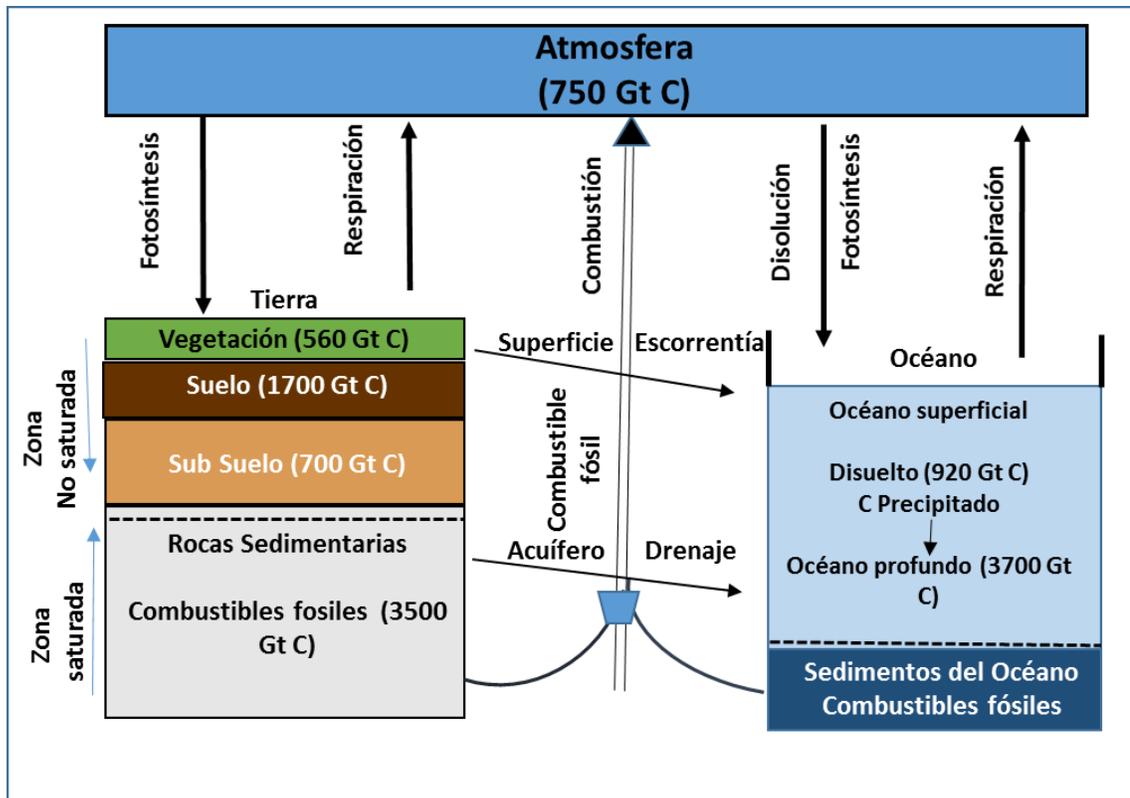
Orden	Area Km ²	%
Entisoles	327	17.71
Inceptisoles	635	34.15
Andisoles	621	33.37
Molisoles	228	12.23
Alfisoles	39	2.19
Vertisoles	3	0.35
Total	1,854	100

Fuente: Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Chimaltenango (MAGA 2010)

Como se puede observar en el *Cuadro 10 Distribución de los órdenes de suelo en el departamento de Chimaltenango*, los órdenes presentes en el departamento de Chimaltenango son seis del total de órdenes del mundo que son 12. El que ocupa la primera posición en cuanto a superficie total del departamento son los Inceptisoles con un 34.27%, seguido por los Andisoles con 33.49.

En la figura 7, se ejemplifica la distribución del carbono orgánico atmosférico, terrestre y del agua, en donde se puede observar las cantidades existentes en giga toneladas de carbono orgánico.

La mayor cantidad del carbono orgánico terrestre está ubicado en las rocas sedimentarias lo que son los combustibles fósiles, y en segundo lugar se encuentra concentrado en el suelo, el contenido de carbono orgánico del suelo es mayor que los contenidos de este en la atmosfera y vegetación.



Fuente: Adaptado a partir de Crops, soils, agronomy News (2009)

Figura 7 Reservas de carbono e intercambio continuo entre océano-suelo y atmosfera

2.2.1.3. Ciclo del Carbono

El ciclo del carbono es la sucesión de transformaciones que sufre el carbono a lo largo del tiempo. Es un ciclo biogeoquímico de gran importancia para la regulación del clima de la Tierra, y en él se ven implicadas actividades básicas para el sostenimiento de la vida. El ciclo comprende dos fases que suceden a distintas velocidades (Céspedes 2011).

2.2.1.4. Ciclo biológico

Comprende los intercambios de carbono (CO_2) entre los seres vivos y la atmosfera, es decir la fotosíntesis, proceso mediante el cual el carbono queda retenido en las plantas y la respiración que lo devuelve a la atmosfera. Este ciclo es relativamente rápido, estimándose que la renovación del carbono atmosférico se produce cada 20 años. (Céspedes 2011)

2.2.1.5. Ciclo biogeoquímico

Regula la transferencia de carbono entre la atmósfera y la litosfera (océanos y suelo). El CO₂ atmosférico se disuelve con facilidad en agua, formando ácido carbónico que ataca los silicatos que constituyen las rocas, resultando iones bicarbonato. Estos iones disueltos en agua alcanzan el mar, los cuales son asimilados por los animales para formar sus tejidos, y tras su muerte se depositan en los sedimentos. (Céspedes 2011)

2.2.1.6 Cálculo de contenido de carbono orgánico

Existen algunos métodos directos para determinar la biomasa microbiana, la cual representa de uno a cinco por ciento del total de la materia orgánica del suelo y es una fuente de reserva de nutrientes. Los diferentes reservorios de carbono que existen en el suelo tienen distintos tiempos medios de residencia variando de uno a pocos años, dependiendo de la composición bioquímica.

2.2.1.7 Ecosistemas forestales: emisión de CO₂ y captura de carbono en los suelos

El almacenamiento de carbono y su liberación por los ecosistemas forestales -ya sea a causa de la forestación, la reforestación o la deforestación están considerados en el Artículo 3.3 del Protocolo de Kyoto. Sin embargo, el Artículo 3.4 también se considera cuando se trata del manejo de bosques en zonas tropicales en razón de las importantes interacciones con la captura de carbono en los suelos. (FAO 2002)

Los bosques cubren el 29 por ciento de las tierras y contienen el 60 por ciento del carbono de la vegetación terrestre. El carbono almacenado en los suelos forestales representa el 36 por ciento del total del carbono del suelo a un metro de profundidad (1 500 Pg.) (FAO 2002)

Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos que contienen cerca del 40 por ciento del total del carbono- son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques. Por lo general, en los bosques naturales el carbono del suelo está en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación o la reforestación, ese equilibrio es afectado. Actualmente, se estima que cada año son deforestadas entre 15 y 17 millones de hectáreas, sobre todo en los trópicos y que muy a menudo parte del carbono orgánico se

pierde dando lugar a una considerable emisión de CO₂. Por lo tanto, donde la deforestación no puede ser detenida, es necesario un manejo correcto para minimizar las pérdidas de carbono. La reforestación, sobre todo en los suelos degradados con bajo contenido de materia orgánica, será una forma importante de secuestro de carbono a largo plazo, tanto en la biomasa como en el suelo. (Martínez 2008)

2.2.1.8 Factores que afectan directamente el contenido de carbono orgánico en el suelo

El contenido de MO de un suelo es el resultado de la interacción de los factores edafogenéticos en un determinado tiempo. Intervienen el material parental, el clima, el relieve, el bioma y factores antrópicos como el manejo y uso del suelo.

El clima afecta los procesos biológicos a través de sus componentes humedad y temperatura. Las tasas más activas de crecimiento biológico ocurren en zonas cálidas y húmedas, mientras que las más bajas corresponden a zonas frías y áridas. Por lo tanto, en regiones de clima frío hay acumulación de materia orgánica y bajas tasas de humificación y mineralización con niveles altos de materia orgánica en los suelos (Universidad Nacional de la Pampa 2004)

La materia orgánica varía de un ambiente a otro en función de las formas de manejo, en general aumenta cuanto mayor es la precipitación anual, con la temperatura media anual, el contenido de arcilla, la cantidad de residuos incorporados en el perfil superficial, vegetación nativa y con los sistemas de laboreo de conservación comparados con el convencional. Terralia 2009

2.2.1.9 Factores formadores del suelo

El suelo puede ser considerado como una determinada combinación de sus factores formadores. Esta concepción del suelo fue expresada por primera vez por Jenny en 1940 según la siguiente ecuación:

$$S = f (cl, o, r, p, t)$$

Representando "S" al suelo, "f" es una función, "cl" al clima, "o" a los organismos, "r" al relieve, "p" a la roca madre y "t" al tiempo. (Duchaufour, 1987)

Esta ecuación es muy importante pues representa que para una determinada combinación de los factores formadores sólo puede existir un tipo de suelo (la misma combinación de factores originará siempre el mismo tipo de suelo independientemente del lugar geográfico en que se encuentre). Igualmente importante es que la magnitud de cualquiera de las propiedades del suelo, tales como pH, contenido en arcillas, porosidad, etc., está determinada por la combinación de estos factores formadores. (Duchaufour, 1987)

Para evaluar la influencia de cada factor formador en las propiedades del suelo, basta en teoría con mantener constantes todos los demás, (hecho que frecuentemente es difícil de encontrar en la práctica). Así para ver la importancia del tiempo, la ecuación fundamental quedaría así:

$S = f(t, cl, o, r, p)$; siendo cl, o, r, p, = constantes.

2.2.1.5.1. Roca

La roca representa la fuente de los materiales sólidos. Generalmente, los minerales del suelo proceden directamente o indirectamente de la roca madre. El influjo de las rocas en los constituyentes y propiedades de los suelos es muy marcado para los suelos más jóvenes, pero esta relación se va volviendo cada vez menos patente conforme va transcurriendo el tiempo.

Por otro lado la granulometría gruesa da lugar a materiales muy porosos, con poros lo suficientemente grandes como para la rápida circulación del agua (al ser grandes los granos dejan al empaquetarse huecos de tamaño también grande). Los materiales arcillosos ofrecen unos comportamientos opuestos, mientras que los materiales de granulometrías equilibradas dan resultados intermedios. (Núñez, J. 1946)

2.2.1.5.2. El clima

La decisiva acción del clima en la formación del suelo se desprende al considerar que el clima va a regular el aporte de agua al suelo, así como su temperatura, también influye directamente en otros factores formadores, como es el factor biótico y el relieve.

La disponibilidad y el flujo de agua regulan la velocidad de desarrollo de la mayoría de los procesos edáficos. Es por ello que la intensidad de percolación (infiltración) se considera un factor decisivo en la formación del suelo (condicionada por factores climáticos, cantidad y distribución anual de las precipitaciones, y algunos parámetros edáficos, como la permeabilidad). (Núñez, J. 1946)

2.2.1.5.3. El relieve

Desde el punto de vista edáfico los elementos del relieve más importantes son la inclinación y longitud de las laderas, la posición fisiográfica y la orientación, los procesos edáficos repercuten en el relieve y viceversa.

2.2.1.5.4. Acciones del relieve

El relieve ejerce tres acciones fundamentales para la evolución del suelo.

a) Transporte

Por la acción de la gravedad, en el relieve se produce el transporte de todo tipo de materiales que se trasladan pendiente abajo. Dependiendo de su posición en el paisaje, el suelo se ve sometido a la acción de erosión o por el contrario puede predominar la acumulación.

b) Características hídricas

El relieve también influye en la cantidad de agua que accede y pasa a través del suelo. En relieves convexos el agua de precipitación circula por la superficie hacia las zonas más bajas del relieve y se crea un área de aridez local, mientras que lo contrario ocurre para las formas con relieve cóncavo. También el drenaje del suelo se verá influenciado por el

relieve, ya que este influye decisivamente en la textura, que a su vez condicionará en gran parte la permeabilidad.

c) **Microclima**

El relieve también modifica las características del clima edáfico, al influir en la temperatura y en la humedad en función de la inclinación (influirá en la intensidad calorífica de las radiaciones recibidas), orientación (que regulará el tiempo de incidencia de las radiaciones solares) y altitud (que influirá en los elementos climáticos generales). Universidad de Granada, 1998.

2.2.1.5.5. Los organismos

Se refiere a organismos vivos que habitan en el suelo, pudiendo ser dentro del material o sobre éste, básicamente los organismos ejercen tres acciones fundamentales:

- Constituyen la fuente de material original para la fracción orgánica del suelo. Restos vegetales y animales que al morir se incorporan al suelo y sufren profundas transformaciones.
- Ejercen importantes acciones de alteración de los materiales edáficos. Los organismos transforman los constituyentes del suelo al extraer los nutrientes imprescindibles para su ciclo vital. El papel de los microorganismos en la transformación de la materia orgánica es tan importante como para que la humificación apenas se desarrolle en su ausencia.
- Producen una intensa mezcla de los materiales del suelo como resultado de su actividad biológica. (Núñez, J. 1946)

2.2.1.5.6. El tiempo como factor formador

Como hemos visto el suelo, se origina por una serie de procesos y cada uno de ellos se desarrolla con muy diferente velocidad. Como consecuencia las propiedades del suelo, que son el resultado de la actuación de los procesos, se manifestarán también de un modo desigual.

2.2.1.10 Velocidad de formación del suelo

La velocidad de formación de un suelo es extraordinariamente lenta y depende del tipo de factores formadores de cada suelo. Así los suelos se desarrollaran más fácilmente sobre materiales originales sueltos e inestables que a partir de rocas duras y constituidas por minerales estables. También es lógico esperar una más rápida formación en los climas húmedos y cálidos que en climas secos y fríos. Por ello la velocidad de formación del suelo es muy variable, en la bibliografía se pueden encontrar valores desde 1mm/año hasta 0,001mm/año. Universidad de Huelva, 2009.

2.2.1.11 Cambio de uso de la tierra y su efecto con el carbono orgánico

En ecosistemas agrícolas, la calidad del suelo depende en gran medida de la cantidad, calidad y dinámica de las reservas del carbono orgánico del suelo. Una reducción en el contenido del COS puede acentuar la degradación del suelo por erosión, compactación, pérdida de nutrientes, lavado, acidificación y/o salinización, y en general, provocar un decremento en la biodiversidad del suelo (Congreso Latinoamericano de Suelos 2012).

Las pérdidas del COS en una amplia variedad de suelos y tipos de cultivo, varían en un rango entre un 20% y un 70% del COS inicialmente presente, y la mayor parte de estas pérdidas ocurre en los primeros 20 años del cambio de uso de la tierra.

La mayor parte de los estudios de cómo los cambios de uso de la tierra han influido en las reservas de carbono del suelo, se han realizado en la zona templada, aunque hay que considerar que la tasa de conversión del uso de la tierra fue más rápida durante la segunda mitad del siglo 20 en la zona tropical. Sin embargo, son pocos los estudios realizados en las zonas tropicales áridas o semiáridas.

2.2.1.12 Metodologías en laboratorio para la determinación de carbono orgánico en el suelo

En base a la bibliografía indica que “la materia orgánica contiene ácidos húmicos con un 58% de carbono ($100/58 = 1.724$, factor deVan Bemmelen)” (Pastor A.P. 2013).

El contenido de materia orgánica total del suelo se puede determinar de varias formas; por calcinación de la muestra de suelo, por oxidación de la muestra con dicromato de potasio y por oxidación con peróxido de hidrógeno.

2.2.1.12.1 Calcinación (indirecto)

Este método determina el contenido total de materia orgánica que posee el suelo, completo o en alguna de sus fracciones. Debe tenerse presente que con este método se obtienen valores más altos en el contenido de materia orgánica del suelo, ya que con él se volatizan todas las formas de carbono orgánico presentes en la muestra.

La manera de hacer esta determinación de la materia orgánica del suelo consiste en:

- Se pesa una muestra de 6 o 7 g de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm (o en la fracción requerida) y se coloca en crisoles de porcelana.
- Se seca el conjunto (la muestra y el crisol) en horno a 105° C hasta peso constante (aproximadamente entre 24 y 48 horas), se retira del horno y se deja enfriar en desecador, luego se pesa.
- Se calcina la muestra en una mufla a 650 o 700° C, durante 3 o 4 horas.
- Se retira de la mufla el conjunto, se deja enfriar en desecador y se pesa nuevamente.
- Se calcula la diferencia de peso entre las medidas antes y después de calcinar; esta diferencia de peso equivale a la cantidad de materia orgánica que se perdió de la muestra por efecto de la calcinación.
- Se expresa la diferencia de peso en porcentaje (%), con respecto al peso inicial de la muestra (seca a 105° C) y ese es el porcentaje de materia orgánica que tenía aquella. (SSL, 1996).

2.2.1.12.2 Método de Walkley y Black (modificado)

Con este método se estima el contenido de carbono orgánico total de una muestra de suelo, completo o de alguna de sus fracciones. Es el método más utilizado en los laboratorios edafológicos para evaluar la materia orgánica del suelo.

Según el *Laboratorio de Estudios de Suelos* (SSL, 1996), indica que: este método actúa sobre las formas más activas del carbono orgánico que posee el suelo y no produce una oxidación completa de dichos compuestos, por lo que se deben hacer ajustes a los

resultados obtenidos en el laboratorio, cuando se quieren expresar en términos de contenido de materia orgánica.

Los procedimientos para llevar a cabo esta determinación son los siguientes:

- Se pesan entre 0,2 y 2 g de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm (o al tamaño de la fracción requerida), dependiendo del color del suelo: más oscuro menos cantidad y viceversa.
- Se coloca la muestra en un Erlenmeyer de 250 mL y se le adicionan 5 mL de dicromato de potasio 1N y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado, se agita y se deja enfriar; hay que tener precaución en este punto pues la reacción que se presenta es violenta.
- Cuando se enfría el conjunto anterior, se diluye con 50 mL de agua destilada y se le agregan 5 mL de ácido fosfórico y 3 gotas de di fenilamina o 5 gotas de ortofenantrolina.
- Se prepara un blanco, es decir, una mezcla de todos los reactivos mencionados pero sin suelo.
- Se titulan la mezcla inicial y el blanco con una solución de sulfato ferroso 1N, la titulación está completa cuando se obtiene un color verde.
- Se calcula el contenido de carbono orgánico con la ecuación siguiente:

$$\%C = \frac{V(1 - \frac{M}{B}) \cdot 0.003}{Pm}$$

Dónde: %C = porcentaje de carbono orgánico

V = Volumen de dicromato de potasio empleado en la muestra y el blanco
(5 ml)

M = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra.

B = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco.

Pm = Peso de la muestra de suelo

El SSL (1995) recomienda que cuando el contenido de carbono orgánico dé valores mayores a 8%, no debe ser tenido en cuenta y que, el contenido de materia orgánica del suelo en cuestión deba ser evaluado por el método de calcinación a 400° C.

Para su clasificación el método divide en rangos la materia orgánica según lo siguiente:

<0.9	Muy Bajo
1.0 – 1.9	Bajo
2.0 – 2.5	Normal
2.6 – 3.5	Alto
>3.6	Muy Alto

Fuente: (Rioja 2.002)

2.2.2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.2.2.1. Características Geográficas

La cabecera del departamento de Chimaltenango está a una distancia de aproximada de 54 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala, en el cuadro 2 se observan las coordenadas del departamento, en el sistema de coordenadas GTM, Datum WGS 1984. Posee una extensión aproximada de 1979 Km².

El departamento de Chimaltenango se encuentra situado en la región Central de Guatemala. Limita al norte con los departamentos de El Quiché y Baja Verapaz; al este con Guatemala y Sacatepéquez; al sur con Escuintla y Suchitepéquez, y al oeste con Sololá. La cabecera departamental es Chimaltenango, está a una distancia de aproximada de 54 kilómetros de la Ciudad Capital de Guatemala, y se encuentra integrado por 16 municipios. Posee rangos altitudinales correspondientes desde 333 a 3992 msnm.

Cuadro 11 Coordenadas de ubicación del departamento de Chimaltenango

	X	Y
Norte	796528	1651966
Sur	193381	1589465
Este	512734	487173
Oeste	342522	432254

En la figura 8 se muestra el mapa de localización de departamento de Chimaltenango, el cual se ubica dentro de las coordenadas GTM 796528, 1651966 N y 193381, 1589465 S.

2.2.2.2 Características Biofísicas

2.2.2.2.1. Hidrografía

El departamento de Chimaltenango cuenta con varios ríos, siendo los principales: El Coyolate, Madre Vieja, Pixcayá, Motagua y Guacalate o de la Virgen. Como secundarios se pueden mencionar los siguientes ríos: Agua Escondida, Xayá, Santo Domingo, Pantaleón, los Encuentros, Nicán y Guexá.



Figura 8 Mapa de localización del área de estudio

2.2.2.2. Geomorfología y Fisiografía

Chimaltenango está situado sobre la Sierra Madre que conforma el altiplano central, la cual pasa hacia el norte del departamento, cuyos ramales forman elevadas montañas y cerros prominentes, lo que le da una conformación orográfica muy especial con profundos barrancos, hermosos valles y grandes llanuras fértiles.

En su territorio se encuentra el volcán de Fuego, que alcanza una altura de 3.763msnm, que también abarca parte de los departamentos de Sacatepéquez y Escuintla. También se encuentra el Volcán de Acatenango que tiene dos picos: uno de 3.975 msnm y el otro de 3.880. Su terreno es bastante irregular, pues las alturas de sus cabeceras departamentales varían entre los 2.310 msnm en Santa Apolonia y los 926 en Pochuta. MAGA 2010.

2.2.2.3. Zonas de vida vegetal

A pesar de ser un departamento totalmente montañoso, pueden apreciarse tres zonas topográficas: La primera formada por tierras bajas del norte en el valle del río Motagua, unido al río Pixcayá. Sus alturas oscilan entre los 650 metros y presenta contraste con las demás comunidades, pues aquí predomina vegetación de chaparral espinoso, cactus y otras plantas punzantes.

La zona intermedia y más extensa se encuentra a una altura promedio de 2 000 metros sobre el nivel del mar, aquí predominan los pinos, cipreses y álamos que son característicos del lugar. Por último está la zona donde se desarrolla la exuberante vegetación de la selva subtropical húmeda que corresponde al extremo meridional, hacia el este del río Madre Vieja y al sur de los municipios de Yepocapa y Pochuta. Dentro del mismo territorio está la calurosa sabana tropical húmeda. MAGA 2010. En general en el departamento de Chimaltenango existen cinco zonas de vida vegetal, según la clasificación propuesta por Holdridge en el año de 1978 y estas son:

- bs-S Bosque Seco Subtropical
- bh-S(t) Bosque Húmedo Subtropical Templado
- bmh-S (c) Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido.
- bh-MB Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical
- bmh-MB Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical

El mapa de zonas de vida vegetal se muestra en la Figura 9



Fuente: Elaboración propia adaptado de MAGA 2006

Figura 9 Mapa de zonas de vida vegetal en el departamento de Chimaltenango

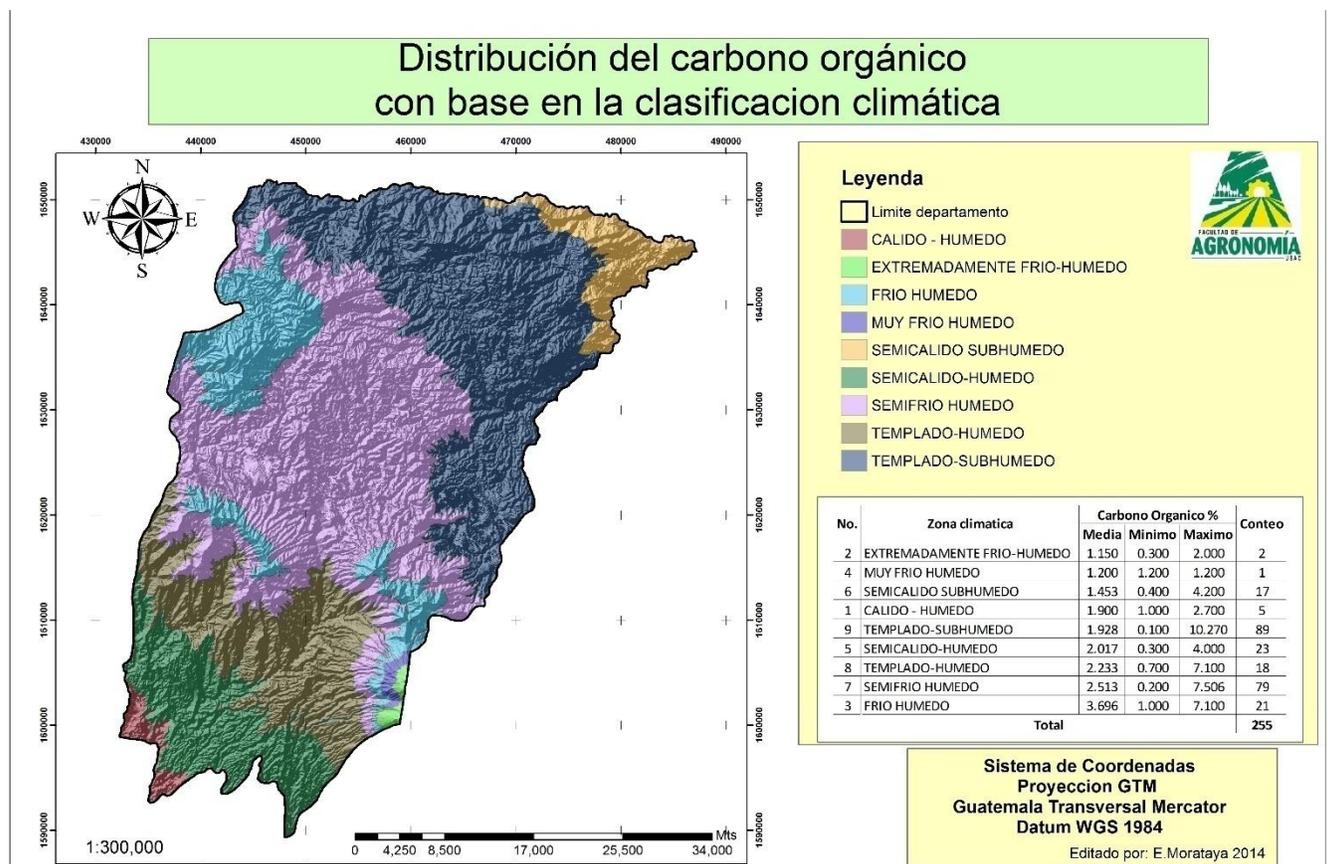
2.2.2.2.4. Clima

En el departamento de Chimaltenango se encuentran cuatro estaciones meteorológicas las cuales son: San Martín Jilotepeque, Alameda ICTA, Santa Cruz Balanyá y El Recuerdo. De las cuales dos presentan datos de temperatura, precipitación pluvial y humedad, estas son: San Martín Jilotepeque y Santa Cruz Balanyá. Las otras dos presentan datos de precipitación pluvial y temperatura.

Los datos de precipitación reportados para tres estaciones son desde el año 1990 hasta el año 2010, únicamente la estación El Recuerdo presenta datos hasta el año 1998. En las estaciones se observa una tendencia en los datos de precipitación la cual se mantiene durante los registros anuales muestreados, identificándose que esta aumenta en las áreas montañosas.

En el departamento se presenta un clima Templado Subhúmedo (código Q), que se caracteriza por presentar un rango de temperaturas medias anuales entre 17.1 a 20.7°C, un rango de precipitaciones entre 601 a 1,000 mm anuales y un rango de alturas de 1,000 a 1,800 msnm; con época lluviosa y época seca. Clima Semifrío Húmedo (código S) que se caracteriza por un rango de temperaturas medias anuales entre 14.3 y 17.0 °C, el mapa de zonas climáticas se presenta en la figura 10.

Presenta un periodo de canícula entre Julio – Agosto y dos picos de lluvia máxima en Junio y Septiembre. El déficit hídrico se encuentra entre los 200 a 250 mm anuales.



Fuente: Elaboración propia adaptado de MAGA 2006

Figura 10 Mapa de zonas climáticas del departamento de Chimaltenango

Con un rango de precipitaciones entre 1,001 a 2,000 mm anuales y una altitud de 1,800 a 2,300 msnm; con época lluviosa y época seca. Frío Húmedo (código J), caracterizándose por presentar rangos de temperaturas medias anuales entre 10.0 a 14.2 °C, un rango de

precipitaciones medias de 1,001 a 2,000 mm anuales y una altitud media de 2,300 a 2,700 msnm, con época lluviosa y época seca (MAGA, 2010).

2.2.2.2.5. Estaciones meteorológicas

A continuación se presentan los registros históricos de las estaciones presentes en el departamento de Chimaltenango, así como los climadiagramas de cada una de ellas:

Cuadro 12 Ubicación de estaciones meteorológicas en el departamento de Chimaltenango

Estación	Coordenadas GTM		Elevación
	X	Y	
El Recuerdo	1616863	724953	2,240
Santa Cruz Balanyá	1624606	724493	2,060
San Martin Jilotepeque	1641188	738103	2,000
Alameda ICTA	1623314	734998	1,750

Fuente: MAGA, 2006

➤ Estación Santa Cruz Balanyá

Cuadro 13 Datos de precipitación pluvial (mm/año) y evapotranspiración (mm/año) de la estación Santa Cruz Balanyá del año 1990 a 2008.

Mes	Precipitación Pluvial (mm)	Evapotranspiración (mm/año)
Enero	2.2	74.85
Febrero	4.84	51.75
Marzo	4.13	44.08
Abril	57.21	31.67
Mayo	77.96	69.42
Junio	249.49	54.85
Julio	194.77	59.89
Agosto	213.81	54.11

Septiembre	270.3	49.24
Octubre	162.46	39.1
Noviembre	33.35	40.18
Diciembre	12.28	40.82

Fuente: INSIVUMEH registros históricos

En el climadiagrama de la Estación Balanyá, se observa que la distribución de las lluvias durante todo el año, es uniforme. Se caracteriza principalmente por presentar una época seca (verano) que se extiende desde el mes de noviembre hasta la tercera semana de abril. La época de lluvias (invierno) se inicia en la cuarta semana del mes de abril y principios de mayo extendiéndose hasta el mes de octubre.

En la región, se registran dos puntos altos de precipitación, que normalmente ocurren en el mes de junio y el mes de septiembre, la primera elevación de lluvia, se debe a que en este mes se dan las más altas precipitaciones, debido a las diferentes ondas tropicales que afectan al país.

La segunda elevación de lluvia, entre septiembre y octubre se debe a la ocurrencia de sistemas de baja presión, tormentas, y ciclones tropicales que afectan al país y sus alrededores.

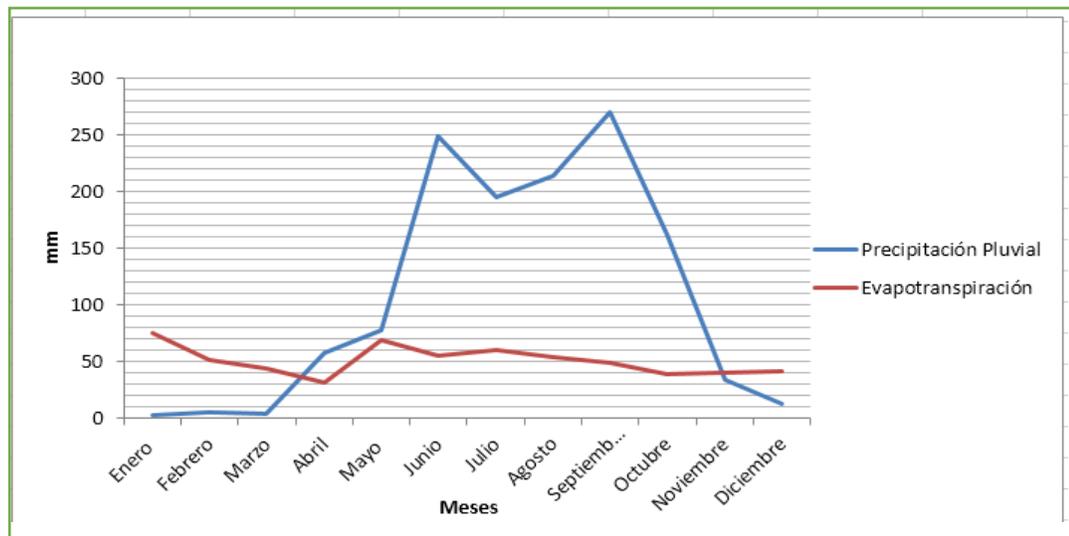


Figura 11 Climadiagrama de la estación Santa Cruz Balanyá. Datos de 1990 al 2010

Se tiene un área que presenta un déficit hídrico que corresponde a partir de los meses de Noviembre, donde inicia la época seca, hasta el mes de Abril, por lo que se puede mencionar que durante toda la época seca, existe un déficit hídrico, debido a que la temperatura que se tiene en este periodo aumenta así como la transpiración de las plantas.

Luego cuando empieza la época lluviosa, al saturarse el suelo, se tiene un exceso de humedad que se debe principalmente a las altas precipitaciones que se dan durante todo este periodo, en donde el exceso de humedad pasa a formar parte de la escorrentía superficial de la cuenca, alimentando así las corrientes principales de la misma, y otra parte de este exceso es drenado a las capas freáticas de la cuenca, en donde luego se forman algunos nacimientos a lo largo de todo el relieve, parte de ello también alimenta las corrientes principales, lo que ocasiona el aumento en el caudal de los ríos, ocasionando pérdidas por la erosión hídrica en los suelos sin cobertura.

➤ **Estación El Recuerdo**

Cuadro 14 Datos de precipitación y evapotranspiración de la estación El Recuerdo para los años 1989 a 1998

Mes	Precipitación Pluvial (mm)	Evapotranspiración (mm)
Enero	2.41	49.57
Febrero	1.7	49.6
Marzo	8.69	63.68
Abril	24.49	72.36
Mayo	117.86	77.46
Junio	223.75	72.54
Julio	152.94	73.86
Agosto	127.11	71.65
Septiembre	202.44	66.37
Octubre	115.27	63.77
Noviembre	30.38	56.04
Diciembre	9.03	52.94

Fuente: INSIVUMEH registros históricos

El clima diagrama de la estación El Recuerdo presenta un comportamiento normal en cuando a lluvias, ya que la época lluviosa se presenta desde el mes de Mayo hasta el mes de Octubre.

Se tiene un área que presenta un déficit hídrico que corresponde a partir de los meses de Noviembre, donde inicia la época seca, hasta el mes de Abril, por lo que se puede mencionar que durante toda la época seca, existe un déficit hídrico, debido a que la temperatura que se tiene en este periodo aumenta así como la transpiración de las plantas.

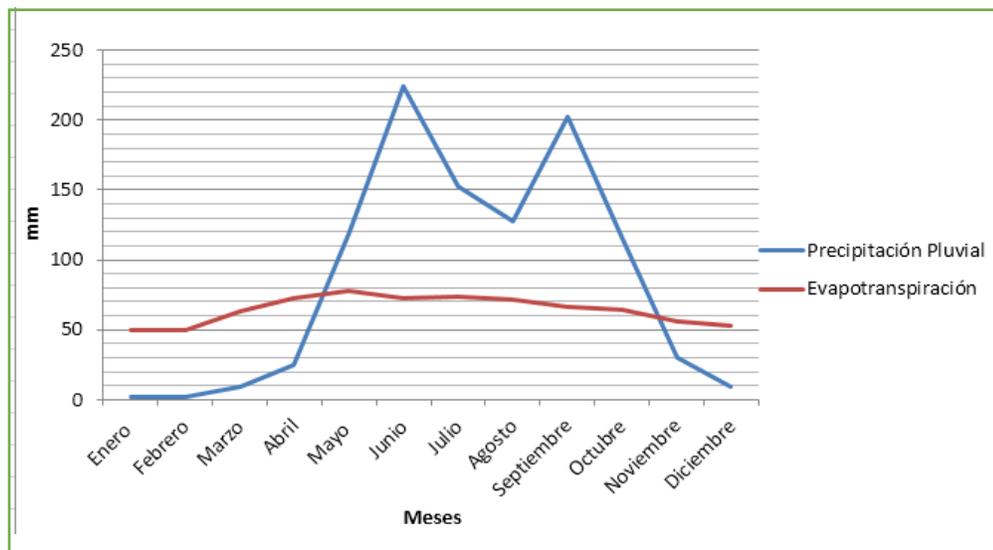


Figura 12 Clima diagrama de la estación El Recuerdo

La precipitación máxima se registra durante el mes de Junio con 223.75mm, y así mismo la menor cantidad que se registra en el año se presenta en el mes de Febrero con 1.7 mm.

➤ Estación San Martín Jilotepeque

Cuadro 15 Datos de precipitación (mm/año) y temperatura (°C) de la estación San Martín Jilotepeque para los años 1990 a 2012

Mes	Precipitación Pluvial (mm/año)	Temperatura media
Enero	1.91	16.25
Febrero	1.7	17.13
Marzo	8.43	17.64
Abril	41.82	19.73
Mayo	171.2	19.68
Junio	256.3	19.2
Julio	216.48	18.35
Agosto	204.75	18.29
Septiembre	281.24	18.16
Octubre	151.51	17.56
Noviembre	37.9	16.33
Diciembre	12.27	16.2

Fuente: INSIVUMEH registros históricos

Esta estación se encuentra ubicada en Chimaltenango, las características de esta región indican que en el mes de noviembre hay un déficit de precipitación que termina hasta el mes de abril, en este periodo la evapotranspiración es mayor que la precipitación por lo que existe dificultad para la agricultura, ya que existe mayor demanda de agua.



Figura 13 Climadiagrama de la estación San Martín Jilotepeque

En los meses de junio hasta octubre se presenta las mayores precipitaciones siendo el mes de junio y septiembre los meses de mayor precipitación lo que ocasiona que el manto freático se sature y aumente la escorrentía causando deslizamientos en lugares que no tienen mayor cobertura. La temperatura media es homogénea debido a que se encuentra a 1800 msnm.

➤ **Estación ICTA Alameda**

Esta estación presenta variables parecidas a la Estación El Recuerdo, está a 1766 msnm y se ubica en Chimaltenango. La evapotranspiración aumenta en el mes de julio y agosto ya que la precipitación decae en estos meses y luego aumenta en el mes de septiembre siendo éste el de mayor valor en su precipitación.

Cuadro 16 Datos de precipitación y temperatura de la estación Alameda ICTA para los años 1990 a 2012

Mes	Precipitación puvial (mm)	Temperatura
		Media (°C)
Enero	4.41	13.23
Febrero	4.93	13.94
Marzo	13.23	14.42
Abril	23.38	15.94
Mayo	124.13	17.24
Junio	234.06	18.12
Julio	162.27	16.8
Agosto	140.27	16.14
Septiembre	202.79	17.19
Octubre	102.5	15.85
Noviembre	22.18	12.63
Diciembre	11.06	13.06

Fuente: INSIVUMEH registros históricos

Según el análisis obtenido en el mes de noviembre hasta abril se reportan los datos de menor precipitación. Su temperatura es homogénea a lo largo del año influenciado por el relieve de la región.

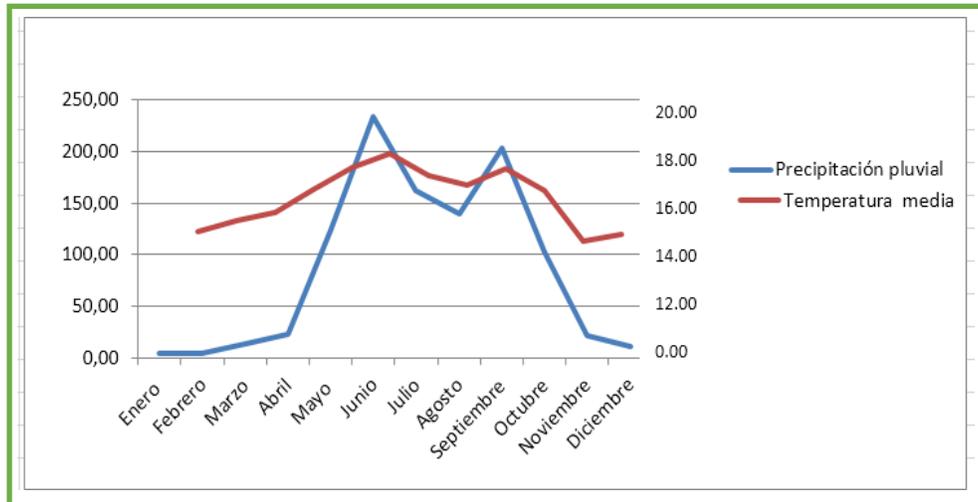


Figura 14 Clima diagrama de la estación Alameda ICTA

2.2.2.2.6 Suelos

Los suelos del departamento de Chimaltenango se describen en forma general y resumida en los órdenes de suelos presentes, así como se presenta el mapa de clasificación taxonómica.

Entisoles: Suelos de muy baja evolución por el poco tiempo que llevan formándose o porque están en lugares donde se dificulta su desarrollo (áreas muy escarpadas). Se encuentran en áreas donde el suelo no ha podido alcanzar un grado de desarrollo, debido a las fuertes pendientes que aceleran los procesos de erosión y en las áreas de inundación. (IGAC, 2010). El área que ocupan estos suelos es de 32.696 ha, lo que corresponde al 17.53% de la extensión total del departamento. Son suelos muy jóvenes, desarrollados sobre materiales originales nuevos o donde el depósito aluvial o la erosión limitan el desarrollo del perfil.

Estos suelos se encuentran ubicados dentro del departamento, en los municipios de: San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, Tecpán Guatemala, Acatenango y Yepocapa.

Inceptisoles: Suelos de evolución baja a media, ubicados en zonas más o menos estables a través del tiempo, con algún grado de desarrollo, fertilidad variable, desde alta

en las zonas de influencia en los ríos, hasta baja en las zonas montañosas y muy húmedas. (IGAC, 2010).

Ocupa un total de 63.525 ha, equivalente al 34.06% de la superficie del departamento, por lo que se constituye en el suelo más importante por la superficie que abarca. Son suelos inmaduros que aún no han desarrollado características de diagnóstico para incluirse en otros órdenes, pero que se presentan características de mayor evolución que los Entisoles. (MAGA, 2010) Esta clase de suelos se encuentran ubicados principalmente en los municipios de San José Poaquil, Pochuta, El Tejar y Chimaltenango en los poblados El Llano, El tesoro.

Andisoles: Suelos derivados de cenizas volcánicas, con poca a moderada evolución, características tales como la retención de humedad muy alta los hacen muy susceptibles a deslizamientos y con problemas para la nutrición de las plantas por la deficiencia de fósforo. (IGAC, 2010). El orden de los Andisoles ocupa 62.099 ha, lo que significa el 33.29% de la superficie del departamento y por ende es el segundo más importante. Tiene amplia distribución geográfica aunque se concentra en los alrededores de los volcanes de Fuego y Acatenango ya que su material parental es de origen volcánico.

Estos suelos se ubican principalmente en los siguientes municipios: Santa Apolonia, Tecpán Guatemala, Patzún, Patzicia, San Andres Iztapa, Yepocapa, Parramos, Zaragoza, El Tejar y Pochuta.

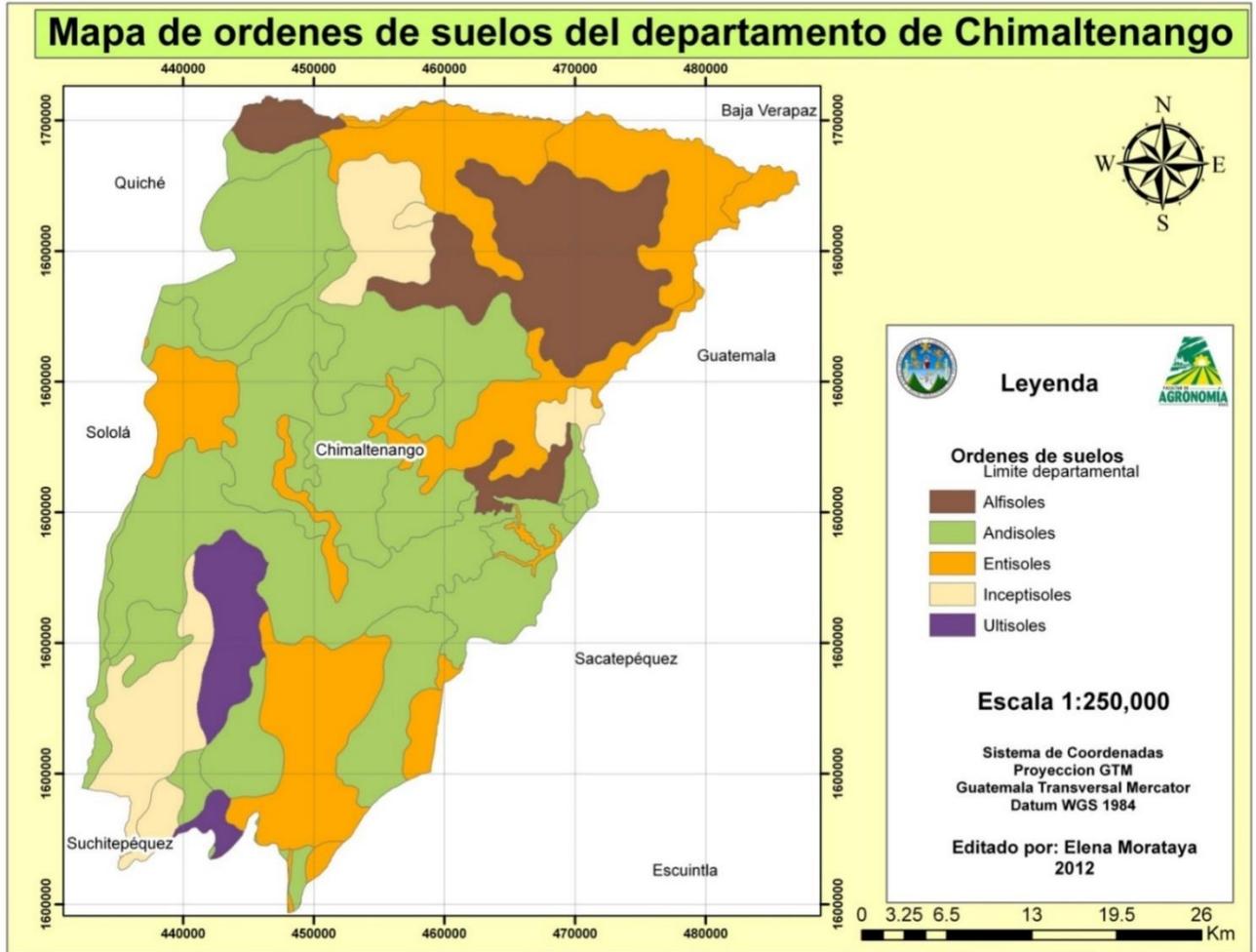
Molisoles: Suelos minerales, profundos con excelentes propiedades químicas y físicas, se consideran los más productivos; son de colores oscuros esto asociado con su contenido de materiales orgánicos, espesos, fáciles de trabajar. (IGAC, 2010). Estos suelos abarcan 22,804 ha, representan el 12.23% de la superficie del departamento, son suelos de colores oscuros, espesos, con buena estructura, alta saturación de bases, blandos, relativamente fértiles, poseen un epipedón mólico que es un horizonte espeso, oscuro, con abundante materiales orgánicos y de consistencia y estructura y estructura favorables al desarrollo radicular. (MAGA, 2010)

Alfisoles: Suelos con horizontes en profundidad, enriquecidos en arcillas, forman capas muy duras, impiden la penetración de las raíces y son de fertilidad moderada a alta.

(IGAC, 2010). Ocupa una superficie de 3,917 ha, equivalente al 2.10% del área total del departamento. Se desarrollan predominantemente en zonas templadas, húmedas y subhúmedas de regiones tropicales y subtropicales, sobre superficies terrestres jóvenes que han sido estables y que se han visto relativamente libres de perturbaciones edafológicas y de erosión. (MAGA, 2010)

Vertisoles: Los vertisoles integran el orden con menos representatividad en el departamento de Chimaltenango, ocupan un área de 343 hectáreas o el 0.18% de la superficie total. Estos suelos poseen grietas evidentes especialmente durante periodos secos, presencia abundante de superficies de fricción (slickensids). Contienen bajos contenidos de materiales intemperizables por procesos biológicos. La poca porosidad, la alta densidad aparente, son poco atractivos para el establecimiento de macro y micro organismos. Son de color oscuros, alta densidad aparente, poca porosidad, alta superficie específica, estructura generalmente muy gruesa, formada por prismas separados entre sí por amplias “grietas de retracción” en los periodos secos abundancia de “superficies de fricción” (slickensids)

En la Figura 15 mapa de suelos del departamento de Chimaltenango a escala 1:250,000, se muestra la clasificación de suelos a nivel de órdenes de suelo, el cual se realizó en el año 2002, en donde se representan cinco ordenes de suelos los cuales son: Alfisol, Andisol, Entisol, Inceptisol y Ultisol.



Fuente: Adaptado de MAGA 2002

Figura 15 Mapa de clasificación taxonómica a nivel de órdenes escala 1:250,000 del departamento de Chimaltenango

Así mismo en la Figura 16 mapa de suelos del departamento de Chimaltenango a escala 1:50,000, se presenta la clasificación de suelos a nivel de orden, el cual fue producto del estudio semidetallado de los suelos del departamento de Chimaltenango, 2010. (MAGA 2010), en el cual se puede observar el detalle que posee en comparación del mapa anterior del año 2002, con polígonos más pequeños así como el cambio en la taxonomía de suelos presentando los órdenes siguientes: Alfisol, Andisol, Entisol, Inceptisol, Molisol y Vertisol.

2.2.2.2.8 Uso de la tierra

En el departamento de Chimaltenango por sus variados climas, clase de suelo y la topografía del terreno, tenemos que aparte de la utilización que se le da a la tierra para urbanizar y construir, sus habitantes siembran gran diversidad de cultivos anuales, permanentes o semipermanentes, encontrándose entre estos los cereales, hortalizas, árboles frutales, café, caña de azúcar, etc. Además por las cualidades con que cuenta el departamento, poseen algunos de sus habitantes la crianza de varias clases de ganado destacándose entre estas vacuno, ovino, caprino, etc., dedicando parte de estas tierras para el cultivo de diversos pastos que sirven de alimento a los mismos.

La existencia de bosques, ya sean estos naturales, de manejo integrado, mixtos, etc., compuestos de variadas especies arbóreas, arbustivas y/o rastreras dan al departamento un toque especial en su ecosistema y ambiente, convirtiéndolo con esa gracia natural en uno de los lugares típicos para ser habitados por visitantes no solo nacionales, sino también extranjeros.

Es de esta forma como se puede formar una idea del uso de la tierra en este departamento y su aprovechamiento.

2.2.2.3 Características Socioeconómicas

2.2.2.3.1 Demografía del municipio de Chimaltenango

Con una extensión territorial de 1969.27km², la población del departamento de Chimaltenango para el año 2008, era de 563,555 habitantes distribuidos en hombres que corresponde al 49% y mujeres que equivale al 51%.

La densidad poblacional es de 503 habitantes por kilómetro cuadrado. (INE, 2002)

Para el año 2012 según proyecciones del INE, la población total del departamento de Chimaltenango es de 630,609 habitantes, siendo el 50.19% mujeres y 49.81% hombres. (SEGEPLAN 2009)

En el Cuadro 17 Población total por municipios del departamento de Chimaltenango se muestra el número de habitantes por municipio, en su extensión en kilómetros cuadrados y total por el departamento

Cuadro 17 Población total por municipios del departamento de Chimaltenango

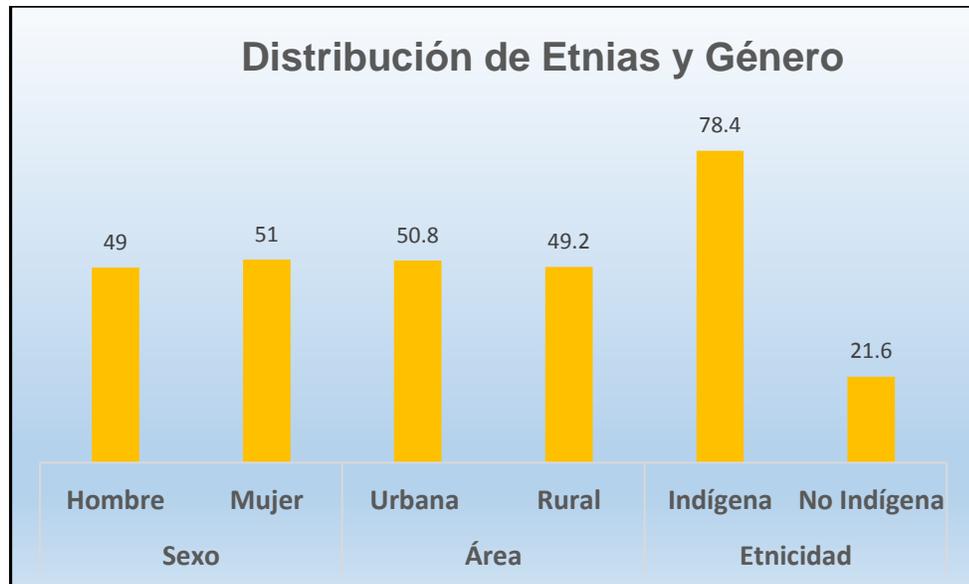
Municipios	Población año 2013	Extensión km ²
Chimaltenango	129,874.76	212
San José Poaquil	24,779.32	217
San Martín Jilotepeque	77,675.67	253
San Juan Comalapa	44,353.08	76
Santa Apolonia	16,771.30	96
Tecpán Guatemala	88,479.00	201
Patzún	54,301.44	124
Pochuta	11,567.76	170
Patzicía	35,271.46	44
Santa Cruz Balanyá	8,127.15	40
Acatenango	22,903.42	172
San Pedro Yepocapa	32,883.77	217
San Andrés Itzapa	33,804.99	60
Parramos	16,483.40	16
Zaragoza	26,047.11	56
El Tejar	25,293.42	14
Total	648,617.00	1968

Fuente: Proyecciones INE 2002

2.2.2.3.2 Grupos Étnicos

Dentro del departamento de Chimaltenango predomina la etnia Indígena con un 78.4%, así mismo del total de la población 49% son hombres y 51% son mujeres.

El departamento se identifica mayormente como urbano debido a que el 50.8% habita en esta área. Dentro del departamento de Chimaltenango se presenta la etnia Indígena con un 78.4%, siendo más de la mayor parte del departamento perteneciente a dicha etnia.



Fuente: Caracterización departamental Chimaltenango 2012
INE 2013

Figura 17 Etnias y Género departamento de Chimaltenango

2.2.2.3.3 Población por grupos de edad

Chimaltenango muestra una mayoría de población de niños y jóvenes, siendo el 65.5% del total de la población menores de 24 años, lo que es un indicador de la capacidad de reemplazo del segmento de la Población Económicamente Activa (PEA). A la vez, la alta presencia de población joven en el municipio genera mayores demandas de servicios como salud, educación, empleo, recreación, etc.

2.2.2.3.4 Concentración y densidad poblacional

Una de las características importantes en el tema poblacional es que un 85% constituye el área urbana y sólo el 15% pertenece al área rural, lo que responde entre otras cosas, a un crecimiento demográfico marcado no sólo por la tasa de natalidad, sino por los flujo migratorios (3,676, representante el 13% de la población migrante del departamento), dada por las condiciones que la cabecera departamental ofrece a sus habitantes, entre éstas destaca, su localización, cercanía hacia la capital que por un bajo costo su puede trasladar diariamente para optar a un mejor empleo en la ciudad capital. (SEGEPLAN 2009)

2.3 HIPÓTESIS

El carbono orgánico de los suelos del departamento de Chimaltenango varía en función del clima, de los materiales originarios, la altitud, de la clase de suelos formados y del uso de la tierra.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 General

2.4.1.1 Conocer la distribución de las cantidades de carbono orgánico en los diferentes suelos del departamento de Chimaltenango, y su relación con las características biofísicas del área.

2.4.2 Específicos

2.4.2.1 Sistematizar la información de las cantidades de carbono orgánico en los suelos como producto de estudios relacionados con los suelos del departamento de Chimaltenango.

2.4.2.2 Generar los mapas a partir del análisis de la variación de carbono orgánico en cada uno de los suelos tomando en cuenta las condiciones climáticas, material originario, altitud y el uso de la tierra.

2.4.2.3 Estimar las cantidades de carbono orgánico del suelo en forma global para el departamento de Chimaltenango, a las profundidades de 30 cm para estimar potencialidades con fines agrícolas y a 100 cm para establecimiento de inventario de carbono orgánico total en el suelo.

1.5. MATERIALES Y MÉTODOS

1.5.1. Materiales

Para la realización de la metodología se necesitaron los recursos que se mencionan a continuación incluyendo equipo y herramientas:

- Software para análisis de información geográfica
- Documentos con información referente al tema de estudio: como tesis de grado Licenciatura, Maestría o Doctorado de cualquier Universidad del país, estudios semidetallados, detallados de suelos de la región, estudios de fertilidad de suelos, levantamientos edafológicos, monografías del departamento, entre otros.
- Cámara fotográfica
- Salón de Sistemas de Información geográfica ubicado en el edificio de UVIGER, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Zona 12. para analizar la información
- Base de datos del MAGA
- Potenciómetro de campo
- Herramientas de campo: Machete, barreno helicoidal, cubetas, palas, piochas, clinómetro, agua destilada, recipientes herméticos, paletas de madera, cinta métrica

Para alcanzar los objetivos planteados en la presente investigación, se desarrollará la siguiente metodología:

1.5.2. Métodos

2.5.2.1 Fase de Gabinete Inicial

A. Búsqueda y colecta de información

- Se realizó mediante búsquedas en línea o en formato física en instituciones relacionadas al tema, y levantamientos edafológicos del departamento de Chimaltenango, como principal característica se buscará el carbono orgánico, o en su defecto si existiera materia orgánica.

- Requerimientos para considerar válida la información

Debe de contener como mínimo perfiles edáficos, con información de materia orgánica, profundidad, horizontes presentes, análisis físicos y químicos, entre otra información, dicha información se recabará mediante búsquedas en línea, físicas en cualquier institución relacionada con el tema, universidades, instituciones del gobierno, organizaciones no gubernamentales, etc.

2.5.2.2 Fase Media

A. Generación de la base de datos con características deseadas

- Se generó una hoja electrónica de Excel® con 40 características a estudiar, en donde se ingresó la información obtenida de los documentos encontrados previamente, y se codificó la mayor parte de la información a utilizar, por ejemplo: departamentos, municipios, clase textural, para reducir tiempo de ingreso y futuro análisis de los datos.

Cuadro 18 Listado de características de interés para ingresar a la base de datos

Departamento	% Arcilla	Fuente
Codigo	% Limo	Autor
Municipio	% Arena	Año
Aldea	Clase Textural	Fecha de observación
Ubicación Geografica	D A (g/cm)	Metodo de extracción elementos
Latitud	D R (g/cm)	
X	% C O	
Longitud	% M. O.	
Y	pH H2O	
Referencia	pH NaF 60'	
Altitud	CIC	
Pp	Ca	
T°	Mg	
HR°	Na	
Clasificación Taxonomica	K	
Prof (cm)	P	
Horizonte	% Sat Bases	

Fuente: Elaboración propia

2.5.2.3 Colecta de datos en áreas deficientes de información

Como primer paso consistió en la colecta de información en los municipios con poca o nula información buscando en más instituciones dentro de los municipios, corroborar uso de la tierra según el mapa de uso de la tierra 2010 (MAGA, 2010), mediante visitas a áreas accesibles para realizar la actualización de la información.

Realización de un levantamiento edafológico: Como segundo paso se evaluó la distribución de los puntos que representan las calicatas y los muestreos superficiales, en donde se pudo determinar que existían 255 puntos en todo el departamento de Chimaltenango, el cual posee una extensión territorial de 1979 Km², por lo tanto existía una densidad de puntos de 0.13 puntos por kilómetro cuadrado, lo que indica que existe un punto a cada 7.69 km², haciéndose necesaria la realización de una calicata en el municipio de Santa Cruz Balanyá el cual se detectó con un déficit de puntos, la metodología para la realización de la calicata se describe en el inciso de resultados.

2.5.2.4 Fase de Gabinete Final

Esta etapa consistió en la compilación de la información, y de la base de datos generada, para poder realizar en análisis de la información.

- **Material Originario:** Conocido también como el material parental o el que le dio origen al suelo, se obtuvo mediante la búsqueda en los estudios previamente utilizados en la obtención de información secundaria, realizando polígonos en un software de análisis cartográfico, en donde se unen los materiales iguales y se dividen los diferentes.
- **Relieve:** Se determinó utilizando el mapa hipsométrico de curvas a nivel de 20 metros, utilizando el modelo de elevación digital (DEM) nacional, extrayendo los valores de grado de pendiente para el departamento en estudio.

- Clima: Se utilizaron las capas raster de precipitación y temperatura del departamento de Chimaltenango, inicialmente clasificándolo en rangos adecuados (Aguilar, M. 2010), utilizando la herramienta raster to polygon.
- Para la variable climática se realizó un análisis de correlación de componentes principales, mediante una matriz se evaluaron cinco (5) factores climáticos:
 1. Índice de evapotranspiración= $\frac{(Pp-etp)}{(etp)}$
 2. Índice de aridez= $\frac{(Pp-t)}{(t)}$
 3. Evapotranspiración potencial= Formato Raster tamaño 100x100
 4. Precipitación pluvial= Formato Raster tamaño 100x100
 5. Temperatura= Formato Raster tamaño 100x100
- Clasificación de los suelos: Se utilizó la clasificación de suelos en base al mapa taxonómico MAGA 2010, categoría utilizada fue órdenes de suelos.

2.5.2.4.1 Análisis de información y edición de mapas temáticos

Mapa de Elevación: Se utilizó el modelo de elevación digital (MAGA, RIC e IGN) con resolución espacial de 20 metros, escala 1:50,000 dividiendo para el departamento de Chimaltenango a cada 300 metros sobre nivel del mar.

Mapa de Zonas de Vida: Para estudiar las zonas de vida presentes en el departamento de Chimaltenango se utilizó el mapa elaborado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) en el año 2002, a escala 1:250,000, de Zonas de Vida de Holdridge.

Mapa de Ordenes de suelo: Se generó el mapa actualizado de subórdenes de suelo del departamento de Chimaltenango, con el uso de un software de análisis de información geográfica, con el uso de las claves para la taxonomía de suelos, versión 2010.

(USDA. SoilSurveyStaff.), basándose en el mapa de taxonomía de suelos de MAGA 2010.

Los órdenes de suelo presentes a utilizar fueron los siguientes:

- Entisol
- Andisol
- Inceptisol
- Molisol
- Vertisol
- Alfisol

Mapa de uso de la tierra: Se apoyó el trabajo con base al mapa de uso de la tierra del año MAGA 2006 y MAGA 2010, para establecer cambios de uso de la tierra en los años transcurridos, haciendo uso de las fotografías aéreas digitales del área, hojas cartográficas y el software de análisis geográfico en donde se establecieron los polígonos de cobertura del departamento, reclasificando la leyenda de uso de la tierra y mediante visitas de campo al departamento se confirmó la información obtenida, las categorías de uso fueron las siguientes:

- Bosque Latifoliado
- Bosque natural coníferas
- Bosque mixto
- Plantaciones forestales
- Cultivos Anuales
- Granos básicos
- Cultivos Permanentes
- Infraestructura
- Café
- Pastos naturales
- No Suelo

A. Mapa de carbono orgánico:

La variable carbono orgánico se evaluó en dos estratos o profundidades, las cuales fueron de 0-30cm o primer horizonte presente y 0-100cm, se obtuvo el dato en algunos documentos como materia orgánica, utilizando la fórmula de conversión se transformó a

carbono orgánico en porcentaje, se utilizó la función de interpolación lineal utilizando 255 datos, la interpolación utilizada fue IDW, la cual literalmente se define como la “La interpolación que se realiza mediante distancia inversa ponderada determinando los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación” (ESRI, 2012).

- a) Estrato superficial: Se tomaron en cuenta las calicatas, perfiles y muestreos de fertilidad obtenidos de la colecta de información, tomando únicamente el horizonte superficial presente en cada perfil edafológico.

Se realizó siguiendo la metodología de Geo estadística que contempla tres etapas básicas las cuales son:

- Análisis exploratorio de datos: El proceso consistió la utilización de un software estadístico, para determinar las siguientes características: Variograma, histograma, prueba de normalidad, de no presentar una normalidad se realizaron las transformaciones en los datos de carbono orgánico.
- Estimación de las variables: Krigeado ordinario
- Evaluación del modelo: Comparación Krigeado ordinario con cokrigeado

2.5.2.4.2 Interpolación Lineal (IDW)

Se utilizó la extensión llamada spatial analyst del software Arc Gis 10®

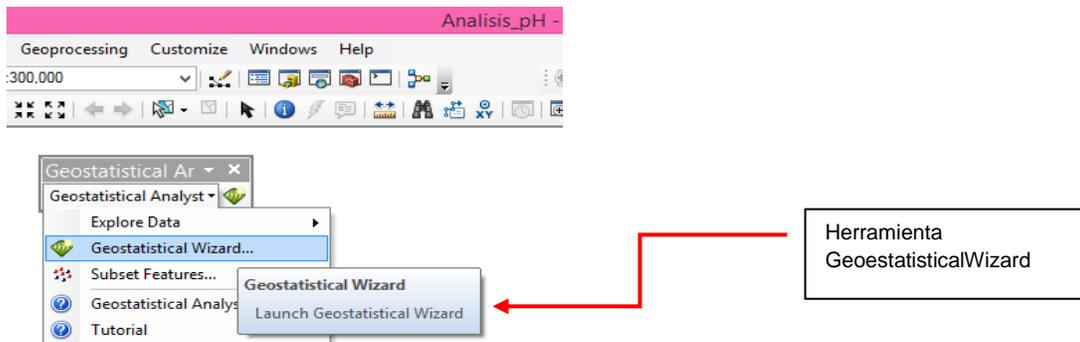
1. Ingresar a la herramienta spatial join para conocer la cantidad de puntos que se ubican en cada categoría de clasificación, en la opción target se ingresan los puntos que poseen la cantidad de carbono orgánico y en join features se ingresa la capa o shape con la característica a utilizar, utilizar la opción join one to one, eliminar características no deseadas solamente dejar a la vista la columna del valor de Carbono orgánico.
2. Utilizando la herramienta en Geoprocesamiento: Dissolve, en la opción Input se coloca el spatial join que se acaba de realizar, seleccionando la característica de carbono orgánico y característica deseada (uso de la tierra, clasificación de suelos, material parental, altitud, clasificación climática)

3. Dissolve- Estadísticos- field o campo deseados: media estadística, máximo, mínimo, desviación estándar y conteo total de puntos por rango.
4. Se realizó un agrupamiento en las tablas de atributos con la herramienta join and relates, haciendo un click derecho a la capa final de dissolve seleccionando la columna del valor de los factores analizados.

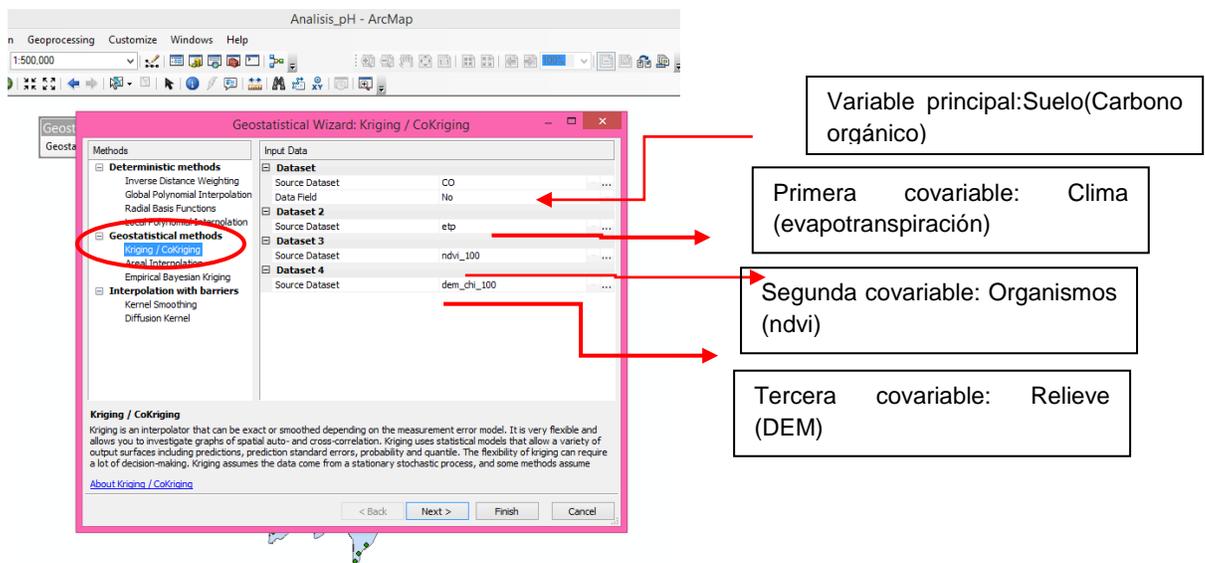
2.5.2.4.3 Interpolación multivariada

La interpolación multivariada se realizó mediante el uso de un Cokriging, utilizando la herramienta Geostatistical Analyst, en un software de procesos geoespaciales.

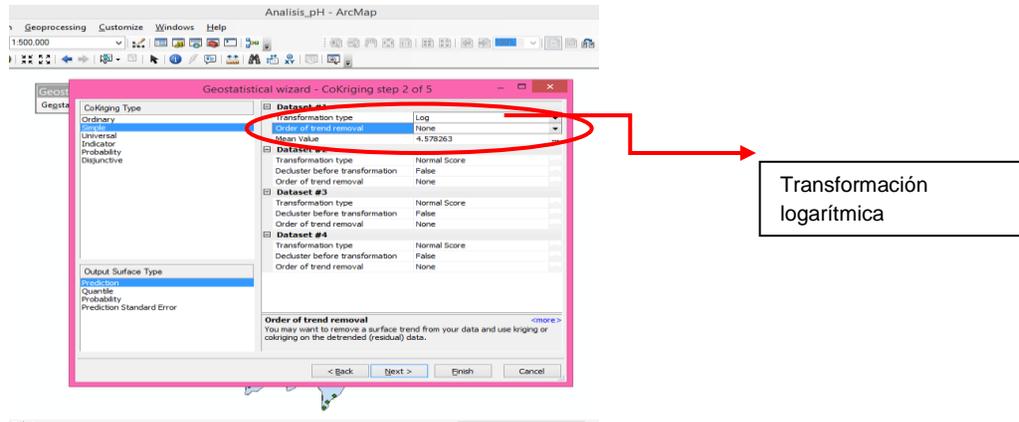
Paso 1.



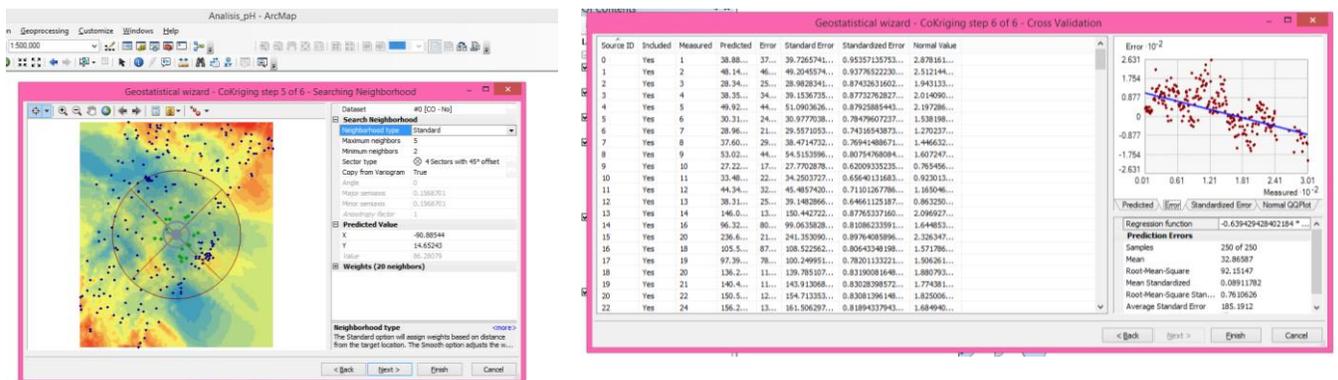
Paso



Paso 2. Transformación de variables que no presenten normalidad en su distribución



Paso 2. Análisis del semivariograma y definición de cantidad de vecinos cercanos



b) Estrato Sub superficial Stock de Carbono:

Para la determinación del stock o reserva de carbono orgánico se realizó la sumatoria de la columna carbono orgánico por cada perfil estudiado, hasta una profundidad de 100 cm, Se realizó una sumatoria ponderada por estratos en los perfiles de suelos, se trasladó el valor de porcentaje a toneladas por hectárea, utilizando la densidad aparente de cada suelo, las que no poseían densidad aparente se les asignó en base a los siguientes aspectos:

Característica del suelo	Valor de densidad aparente (g/cc)
Andisol	0.88
Inceptisol	1.16
Molisol	1.3
Alfisol	1.3
Entisol	1.3
Característica ándica	1

Fuente: Entrevista directa con experto Hugo A. Tobías Vásquez

El valor de densidad aparente se trasladó a la variable toneladas por hectárea multiplicando el valor de la densidad por 100, luego se multiplicó por la media ponderada de carbono orgánico en cada horizonte de los perfiles edafológicos, obteniendo así el total de carbono orgánico hasta una profundidad de 100 cm.

2.6 RESULTADOS

2.6.1 Búsqueda y colecta de información

Luego de realizar la fase de gabinete inicial, se logró la obtención de información referente a estudios de suelos, levantamientos edafológicos, muestreos de fertilidad de suelos, estudios agrologicos, caracterización de agro ecosistemas, dentro de otros, obteniendo una cantidad 15 documentos con un total de 255 puntos distribuidos en el departamento de Chimaltenango, existiendo en formato físico y digital.

Las instituciones visitadas en donde se localizaron documentos fueron las siguientes:

1. MAGA
2. IGN
3. Biblioteca central USAC
4. CEDIA FAUSAC

5. Laboratorio de suelos Salvador Castillo FAUSAC
6. Instituciones gubernamentales: INAB, Municipalidad de Chimaltenango.
7. Sector Privado

A continuación se presenta el listado de las instituciones visitadas, en el departamento de Chimaltenango:

Cuadro 19 Instituciones visitadas en el departamento de Chimaltenango

No.	Institución	Tipo de Información que posee	Disponibilidad para compartir
1	MAGA	Resultados de análisis físicos y químicos de suelos, estudio semidetallado de suelos del departamento, mapas.	SI
2	MUNICIPALIDADES DE CHIMALTENANGO	Estudios departamentales, tesis	SI
3	COOPERATIVAS	No poseen información relevante para el proyecto	SI
4	ICTA-CHIMALTENANGO	Resultados de análisis de muestreos de suelo	Si/sin gestión
5	CEDIA-FAUSAC	Tesis, documentos de investigación, informes generales de servicios.	SI
6	CONAP	Estudios de áreas protegidas principalmente parques privados	SI
7	INAB	Estudios de capacidad de uso de la tierra, cambios de uso, parcelas de monitoreo	SI
8	APROFORCHI	Parcelas de monitoreo forestal, plantaciones forestales	SI
9	Fertiorgánico S.A	Resultados de análisis físico químico de suelos	SI
10	BIBLIOTECA CENTRAL USAC	Tesis, documentos de investigación, informes generales de servicios.	SI

En base al cuadro anterior se observa la cantidad de instituciones que se visitaron para la obtención de información secundaria, la información de interés fueron principalmente análisis físico químico de los suelos, proporcionados por los encargados de las instituciones específicamente valores de carbono orgánico, la mayoría de instituciones estuvieron abiertas a compartir información, sin embargo la información que poseían no era de utilidad para la presente investigación teniendo que descartarla.

Esto debido a múltiples razones dentro de las cuales se puede mencionar: Falta de georeferenciación en las muestras de suelos enviadas a los laboratorios de análisis de suelos, poca o nula investigación en el tema, metodologías utilizadas en el muestreo de suelo poco conocidas en el país o con deficiencias, hermetismo en las instituciones con respecto a compartir información, para la realización de la presente investigación se necesitaba que las fuentes bibliográficas de los estudios fuesen reconocidas y que el manejo de la calidad de la información representaba un punto medular en la primera etapa de la investigación, luego de realizar el control de calidad de la información en los estudios consultados se continuó con la búsqueda en otras instituciones. El listado de documentos utilizados para la realización de la presente investigación se presenta en el anexo 1.

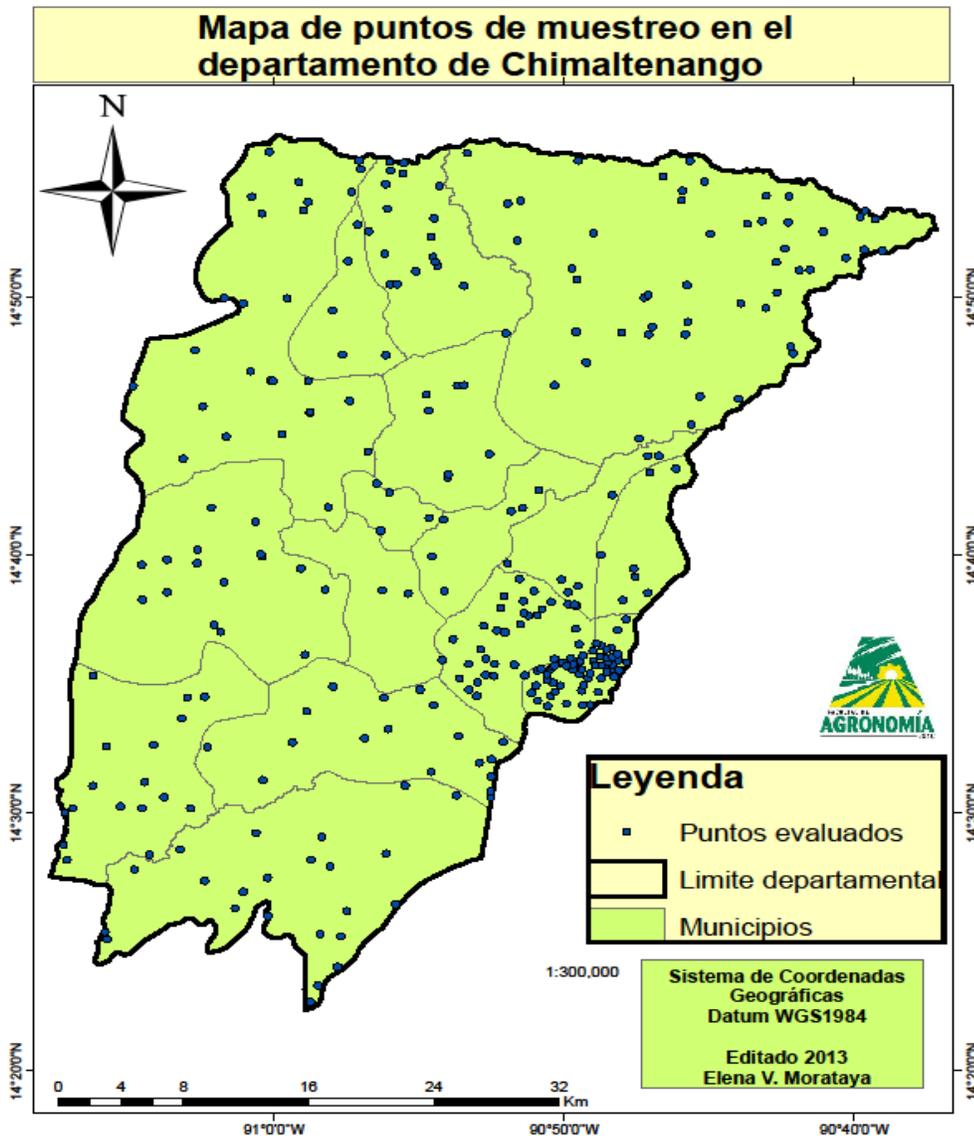
Se completó una base de datos con los documentos encontrados, conteniendo los distintos atributos del suelo hasta una profundidad de 0 a 100cm, descartando información que no contenía los requisitos establecidos como georreferencia en un mapa, metodología utilizada en laboratorio, entre otras. El registro total de puntos de muestreo utilizados se presenta en el cuadro 19.

Cuadro 20 Registro total de puntos de muestreo

Departamento de Chimaltenango	
Calicatas	232
Muestreros superficiales	23
Total de Registros	255

Mediante la colecta de datos se llegó a la obtención e ingreso de datos a un total de 255 puntos, de los cuales 213 provenían de la base de datos de la UPGGR-MAGA (MAGA, 2010), y el resto se colectó mediante tesis y documentos de investigación de las

instituciones visitadas. En total se realizó el análisis exploratorio de datos a partir de 255 puntos en todo el departamento de Chimaltenango, el cual posee una extensión territorial de 1979 Km², por lo tanto existe una densidad de puntos de 0.13 puntos por kilómetro cuadrado, lo que indica que existe un punto a cada 7.69 km², haciéndose necesaria la realización de una calicata en el municipio de Santa Cruz Balanyá el cual se detectó con un déficit de puntos.



Fuente: Generado en proceso metodológico

Figura 18 Mapa de puntos totales de muestreo en el departamento de Chimaltenango

2.6.2 Análisis exploratorio de datos

El análisis exploratorio de datos consistió en la elaboración de pruebas de normalidad, histogramas, variogramas y así mismo transformación de datos con falta de normalidad.

2.6.2.1 Prueba de normalidad de los datos

A continuación se presenta el histograma de los valores de carbono orgánico para el departamento de Chimaltenango

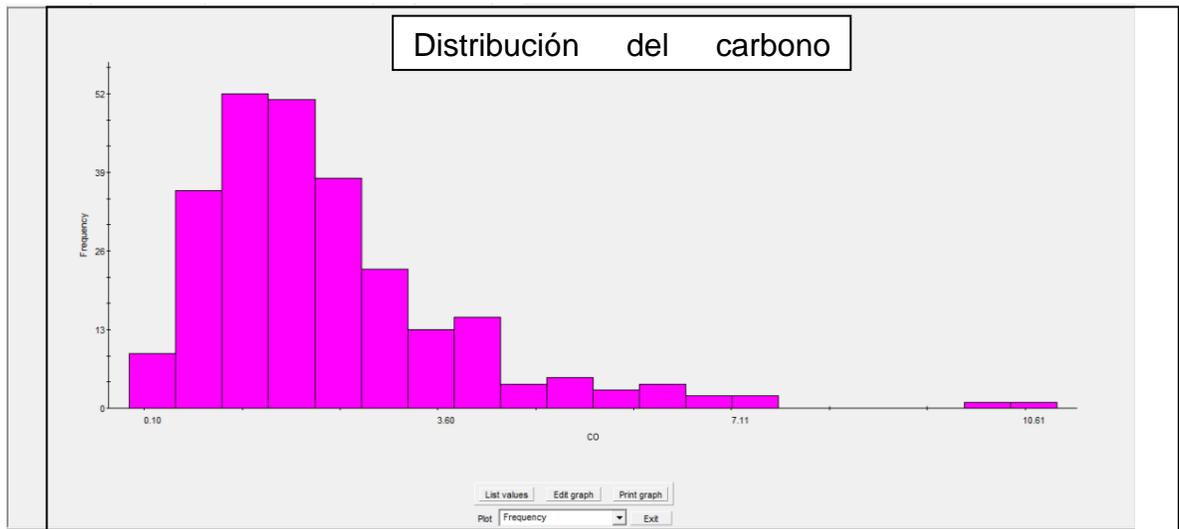
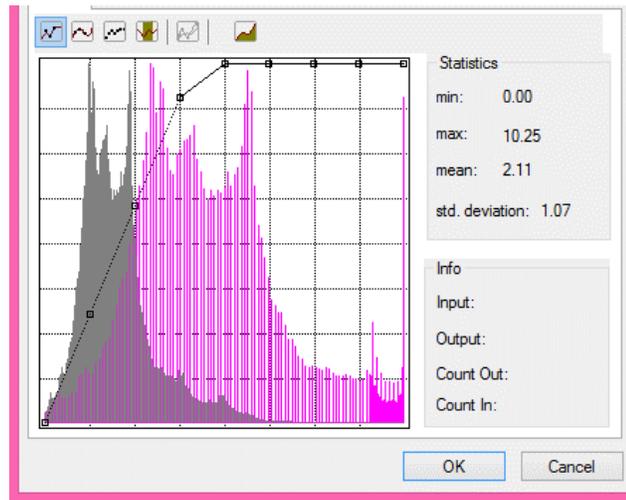


Figura 19 Histograma de valores de carbono orgánico

Los valores del carbono orgánico superficial se presentan en porcentaje, derivado de la materia orgánica obtenida de los análisis físicos y químicos de laboratorio incluidos en la documentación revisada.

Esto se debe a que la mayor cantidad de datos de los 255 analizados se encuentran dentro de los rangos de 0.10 % a 3.63% de carbono orgánico superficial del primer horizonte, observando datos atípicos que se presentan en el rango de 10.61% de CO, presentando así una irregularidad en la distribución normal de los datos.

2.6.2.2 Resumen de análisis estadístico



Fuente: Salida de proceso de Infostat®

Figura 20 Resumen de análisis estadístico utilizando el método logarítmico

En el gráfico anterior se puede observar que existe una desviación de 1.07 en relación de la media que presentan datos de 2.11% de carbono orgánico en el estrato superficial del suelo, así mismo datos extremos o máximos de 10.25% de carbono orgánico.

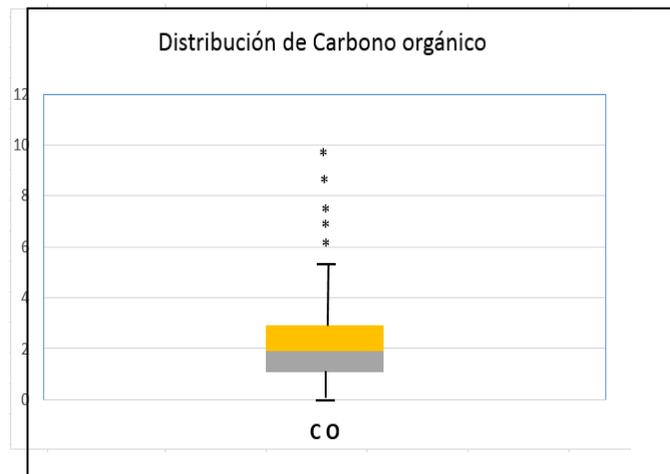


Figura 21 Diagrama de caja (Box-plot) de carbono orgánico %

En el diagrama de caja se encuentran representados los datos de carbono orgánico, representando un 75% de los datos dentro de un rango de 8.65% a 5.62% de CO, dentro del 50% o la media se encuentran en un rango de 2.56% y dentro del 25% se encuentran datos por debajo de la media rangos menores a 2.56%, los datos atípicos se muestran en

la parte superior de la gráfica en donde se representan valores por encima de la media con valores de hasta 11.68%, lo que provoca que el coeficiente de variación aumente.

Cuadro 21 Prueba de t (student) para la variable de carbono orgánico

Variable	n	Media	DE	LI (95)	LS (95)	T	p (bilateral)
% CO	255	2.32	1.69	2.11	2.53	21.96	< 0.0001

Fuente: Infostat® versión estudiantil

La hipótesis nula= Los datos son normales

Se evaluaron 255 datos correspondientes a resultados de laboratorio conteniendo la variable de carbono orgánico en %, la desviación estándar indica que existe una alta variación en los datos con respecto a la media, esto es debido a que el carbono orgánico se obtiene mediante un valor de conversión de la materia orgánico indicando que existen áreas que poseen incorporación de este elemento orgánico mediante distintas formas ya sean abonos orgánicos, fertilizantes, sedimentos orgánicos en aguas residuales, lo cual deriva una alta concentración de materia orgánica en algunos puntos muestreados.

En base a la prueba T, se observa una probabilidad de $p = \leq 0.0001$. Este valor es menor a la probabilidad permitida ($\alpha = 0.05$), por lo que se rechaza H_0 .

Cuadro 22 Prueba de Shapiro–Wilks modificada

Variable	n	Media	DE	W	p (bilateral)	Significancia
% CO	255	2.32	1.69	0.87	< 0.0001	0.05

Fuente: Infostat® versión estudiantil

Luego de realizar la prueba de shapiro-wilks se demuestra que la probabilidad al igual que en la prueba de t de student, es menor a la probabilidad permitida =0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que los datos de carbono orgánico no presentan una distribución normal.

2.6.3 Análisis de Carbono Orgánico en el estrato superficial

El estrato superficial se tomó en cuenta desde 0 cm hasta 30cm, dependiendo la profundidad de los perfiles y así mismo del primer horizonte encontrado.

2.6.3.1 Interpolación lineal (IDW)

Se le llama Interpolación lineal debido a que se obtiene un rango de valores a partir de un plano definido el cual utiliza un promedio ponderado de los tres nodos del triángulo que contiene el punto de interpolación, es una predicción basada en valores cercanos. (ESRI, 1996).

Para fines de la presente investigación se utilizó la interpolación lineal la cual no toma en cuenta las covariables que afectan la distribución del carbono orgánico en el suelo (relieve, microorganismos y clima), como un primer producto aproximado a la realidad, sin embargo dicho producto fue mejorado al realizar la interpolación multivariada.

Como se muestra en la Figura 21 en el departamento de Chimaltenango, que la distribución de carbono orgánico en el horizonte superficial en el departamento de Chimaltenango posee rangos desde 0.0001% hasta un valor máximo de 10.25%, el mapa de la figura presenta los valores mínimos o bajos en color amarillo, un valor medio de 2.21% de colores verde y los valores máximos con datos mayores de 4.51% de C.O en color azul, los rangos utilizados para la representación del carbono orgánico en el mapa en base a los valores de materia orgánica el valor.

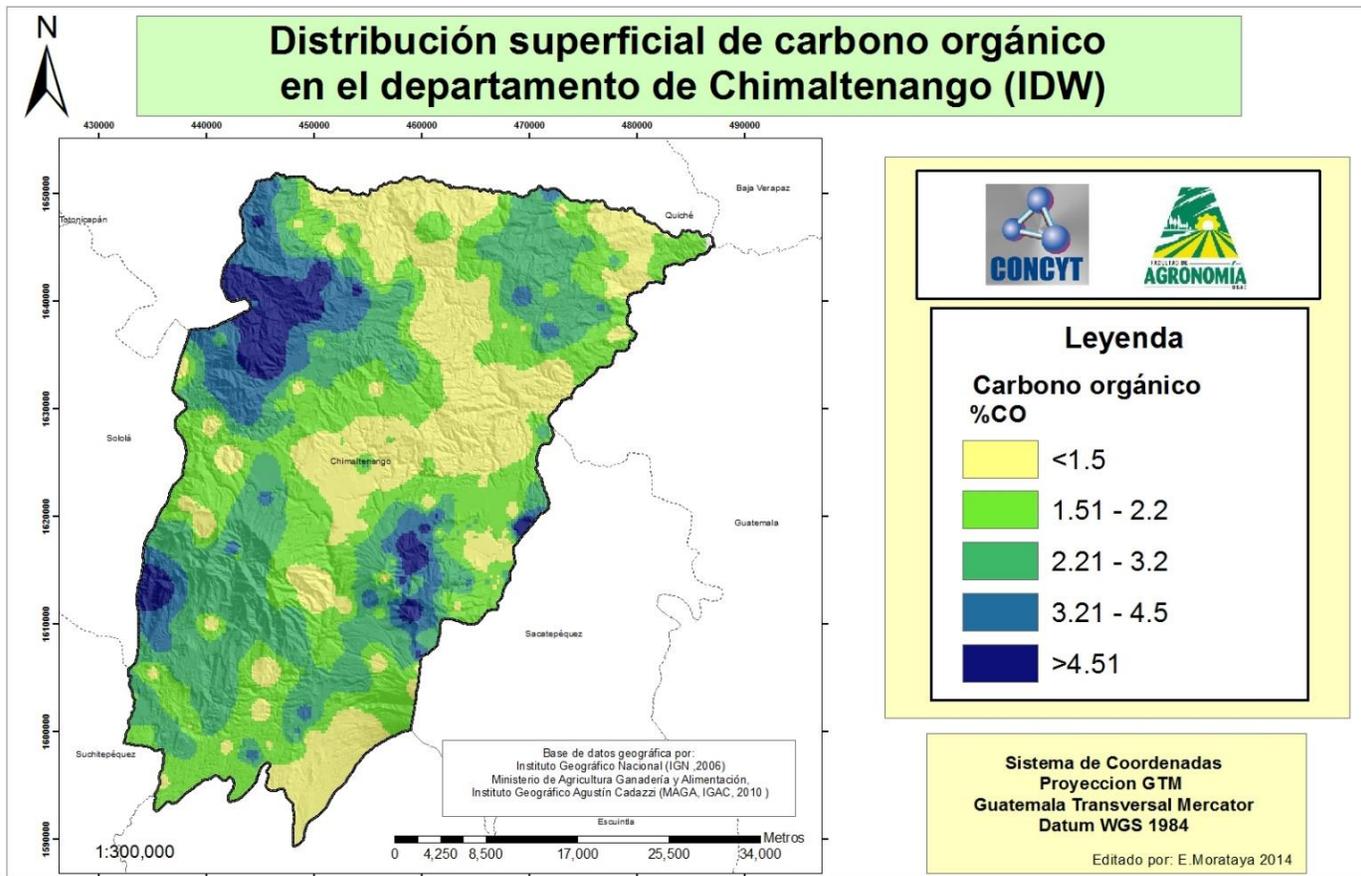


Figura 22 Mapa de distribución de carbono orgánico (IDW)

2.6.3.2 Interpolación multivariada (Cokriging)

El modelo multivariado se realizó siguiendo el modelo de los factores formadores del suelo, la cual fue expresada por primera vez por Jenny en 1940 según la siguiente ecuación:

$$S = f(c, o, r, p, t)$$

Representando "S" al suelo, "f" es una función, "cl" al clima, "o" a los organismos, "r" al relieve, "p" a la roca madre y "t" al tiempo. (Duchaufour, 1987)

- S= El suelo se representó mediante la variable en estudio: Carbono orgánico superficial
- C= Factor climático: A continuación se muestra la matriz de correlación de los cinco componentes principales del factor climático para el estudio de la interpolación

multivariada. La metodología para elegir el factor clima fue seleccionando el que tuviese menor cantidad de correlaciones con otro factor, la correlación se tomó a partir de un rango mayor a 0.5, así que el factor 3 solamente se correlaciona con un factor por lo que es el que posee mayor incidencia en el comportamiento climático del departamento, el factor 3 corresponde a la evapotranspiración, según orden de ingreso de variables.

Se puede observar en la siguiente imagen, el resultado de la matriz de correlación, en donde se elige la variable evapotranspiración como representativo en comparación a cuatro factores climáticos en departamento de Chimaltenango.

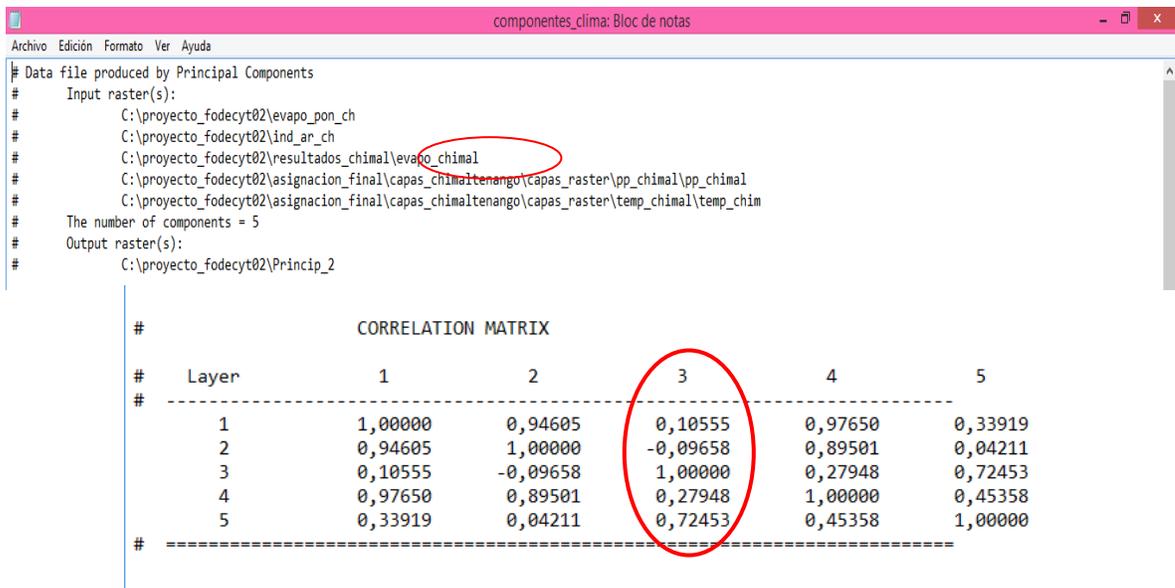


Figura 23 Resultado de la matriz de correlación variables climáticas

- O= Los organismos se representaron mediante el uso del índice de vegetación (NDVI)
- R= El factor relieve se representó mediante el modelo de elevación digital (DEM)

Debido a que la modelación de cokrigado solamente recibe cuatro (4) variables se tuvo que prescindir de la variable material parental, debido a que es un estudio del estrato superficial se desestimó la influencia de este hacia la distribución del carbono orgánico en

el suelo, suponiendo que las demás variables representan una alta incidencia para la distribución del carbono orgánico en el suelo.

A continuación se presenta el mapa que contiene el resultado de la interpolación multivariada (Cokriging)

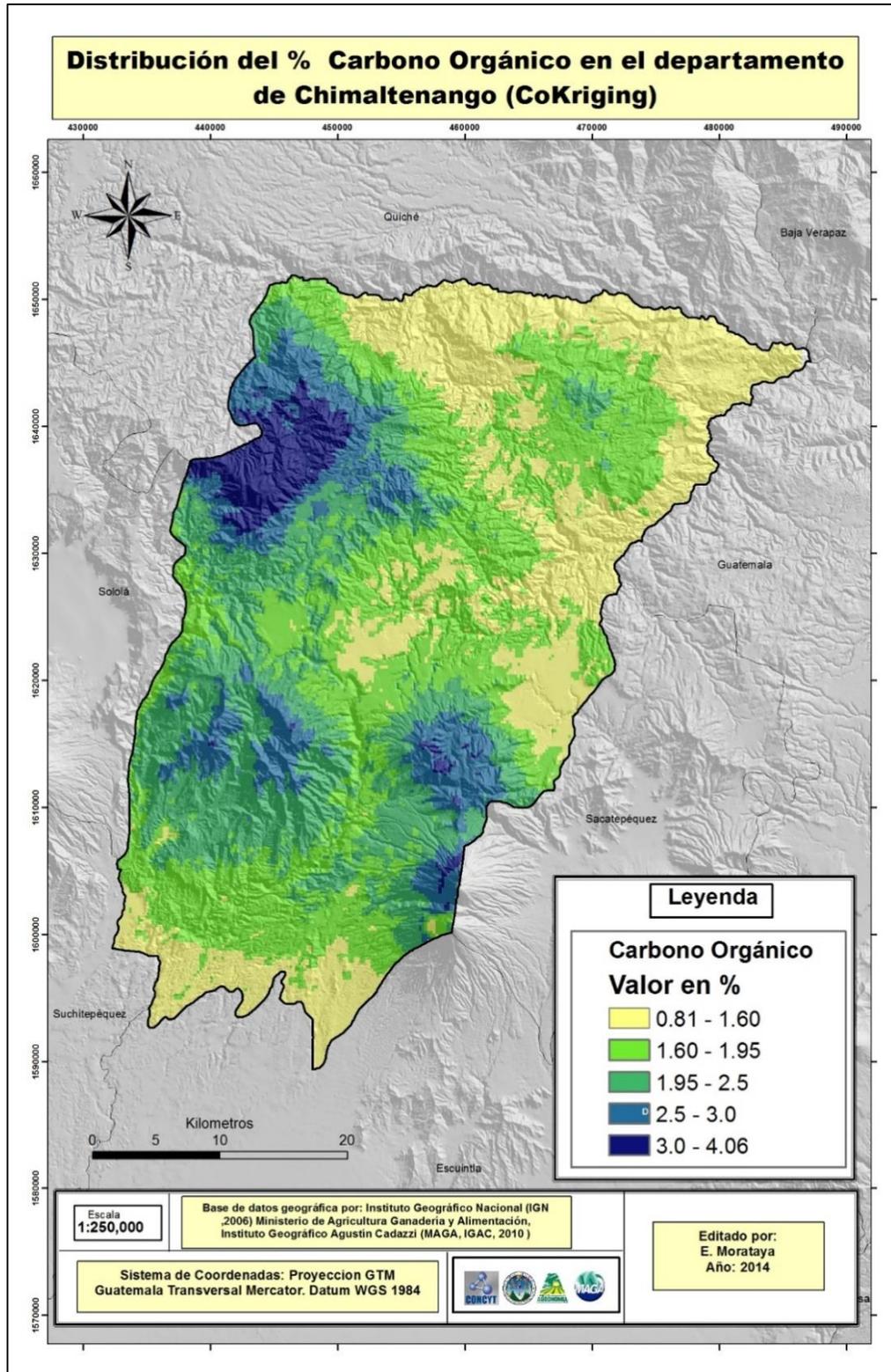


Figura 24 Mapa de distribución superficial de carbono orgánico (Cokriging)

De manera global en el departamento de Chimaltenango utilizando una interpolación multivariada con tres factores, se obtuvieron rangos entre 0.81 hasta un máximo de 4.06 de Carbono Orgánico, los valores más bajos se presentan de colores claros (amarillo) así mismo rangos medios de 2.5 % de Carbono Orgánico en colores verde y los rangos más elevados corresponden a colores azules, en específico los rangos más altos se encuentran desde 3% hasta un máximo de 4.06 % de carbono orgánico.

A manera de comparación se realizó un cuadro comparativo entre los rangos de carbono orgánico y materia orgánica, así mismo en la Figura 25 Mapa de distribución de Carbono Orgánico en rangos aplicados a la Materia *Orgánica*, se ejemplifica los rangos de carbono orgánico en relación a valores de materia orgánica aplicado al manejo agronómico, como rangos bajos se toman en cuenta los rangos más bajos obtenidos en carbono orgánico, como medio un 5% de materia orgánica y valores altos rangos mayores a 5%.

Cuadro 23 Equivalencia de rangos de Carbono orgánico con rangos de Materia orgánica

	Valor en %	
	Carbono Orgánico	Materia Orgánica
Bajo	1.16	2
Medio	2.90	5
Alto	4.06	7

En base a la interpolación multivariada realizada con los puntos de muestreo recolectados en el departamento, indican una distribución de carbono orgánico en el cual un 88% del departamento está representado por un carbono orgánico entre rangos entre 1.16 y 2.9 lo cual corresponde a valores medios de materia orgánica, por lo que en aspectos de fertilidad de suelos en el departamento se podría concluir que los suelos son medianamente fértiles, en base a la literatura indican que valores entre 2.5 a 5% de materia orgánica puede catalogarse como un valor alto, en base a lo anterior se concluyó que rangos adecuados y/o fértiles. Rioja A, (2002).

Y los rangos mayores a 5% de materia orgánica representan una superficie territorial al 9%, y los rangos inferiores o más bajos representan el 3% de la superficie territorial.

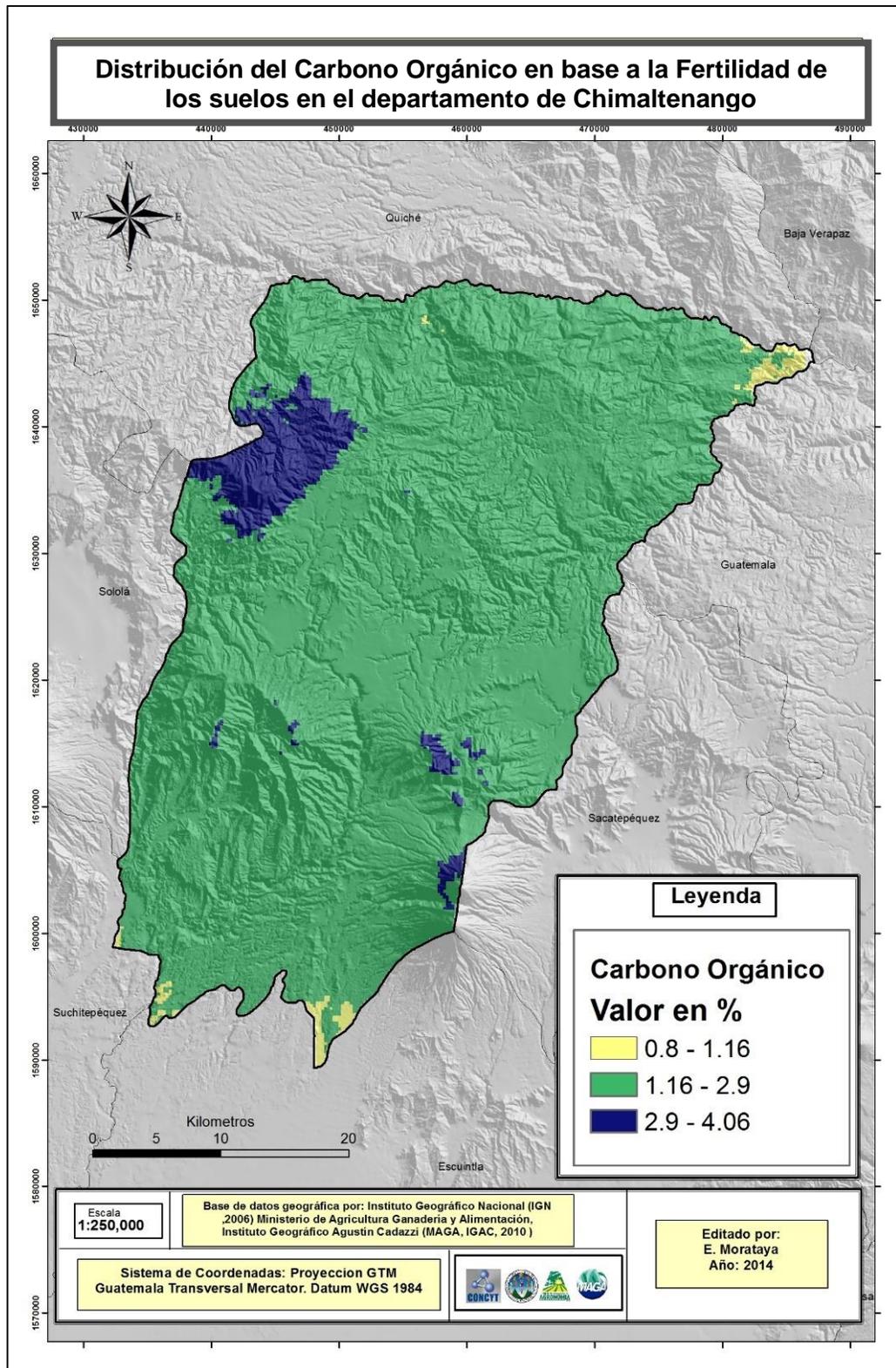


Figura 25 Mapa de distribución de Carbono Orgánico en rangos aplicados a la Materia Orgánica

2.6.4 Análisis de la relación de carbono orgánico vs. Factores

2.6.3.2 Análisis de carbono orgánico en relación material parental

El cuadro 17 posee la información acerca de la media de carbono orgánico, valores mínimos, máximos así como el conteo de puntos existentes por polígono de las siete clases de materiales originarios en el departamento de Chimaltenango.

Cuadro 24 Variación de carbono orgánico en relación al material originario

No.	Material Parental	Carbono Orgánico %			Conteo	STD	Superficie	
		Media	Mínimo	Máximo			(ha)	%
1	Depósitos Superficiales Clásticos Aluvio coluviales	1.5	0.3	3.8	10.0	1.2	2167.3	1.17
2	Depósitos Superficiales Clásticos Gravigénicos	2.4	0.4	7.1	21.0	1.7	5608.7	3.03
3	Depósitos superficiales hidrovolcánicos clásticos (tefras, pómez y lodo)	1.6	0.7	3.1	7.0	0.9	4882.9	2.64
4	Esquistos y serpentinas	1.1	0.5	2.0	5.0	0.6	2881.4	1.56
6	Piroclastos Consolidados (tobas)	2.8	0.3	7.5	73.0	1.8	51442.8	27.8
7	Piroclastos No Consolidados (tefras, ceniza y pómez)	2.1	0.2	10.3	134.0	1.4	117997.3	63.8
	Total				250		184980	100

Fuente: Preparado a partir de los datos colectados en la fase de campo y gabinete

En el departamento de Chimaltenango se presentan siete clases de material parental u originario, que se refieren a las rocas que le han dado origen a los diferentes tipos de suelos, el cuadro 24 muestra el resumen de estadísticos basados en el total de puntos encontrados en cada polígono de material parental, la categoría que presenta la mayor cantidad superficial de carbono orgánico en base a la media es la clase de piroclastos consolidados también llamados comúnmente tobas, con un dato de 2.74%, la clase que presenta la menor cantidad de carbono orgánico son los esquistos y serpentinas con un

valor de 1.12%. La clase de las areniscas no presentan ningún dato esto es debido a dicha clase representa menos del 1% del área total en el departamento por lo que no se encontró un valor de carbono orgánico dentro de este.

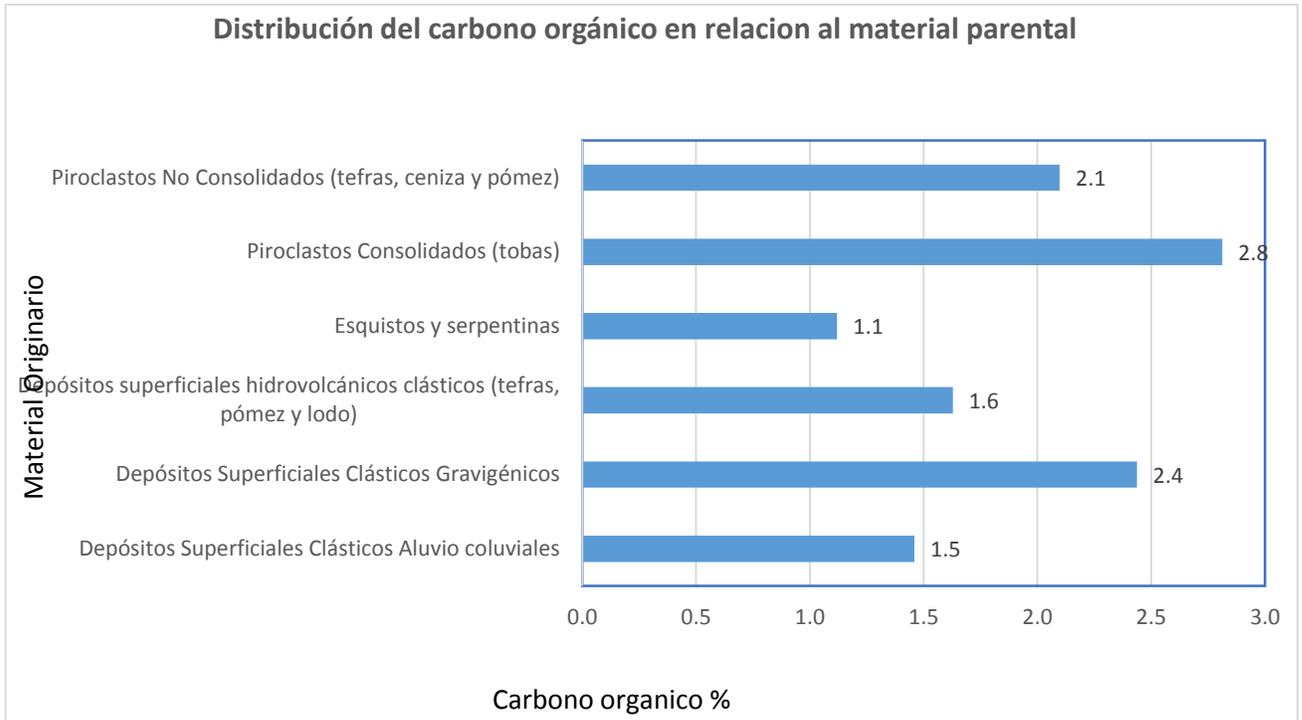


Figura 26 Distribución del carbono orgánico en relación al material parental

Los piroclastos consolidados representan materiales o fragmentos de fuego, que como su nombre lo indica provienen de origen volcánico, que han sido expulsadas de distintas maneras y que se encuentran ya cementados, este tipo de rocas permiten acumulación de humedad por su alta porosidad, permitiendo así la formación de complejos húmicos y acumulación de materia orgánica.

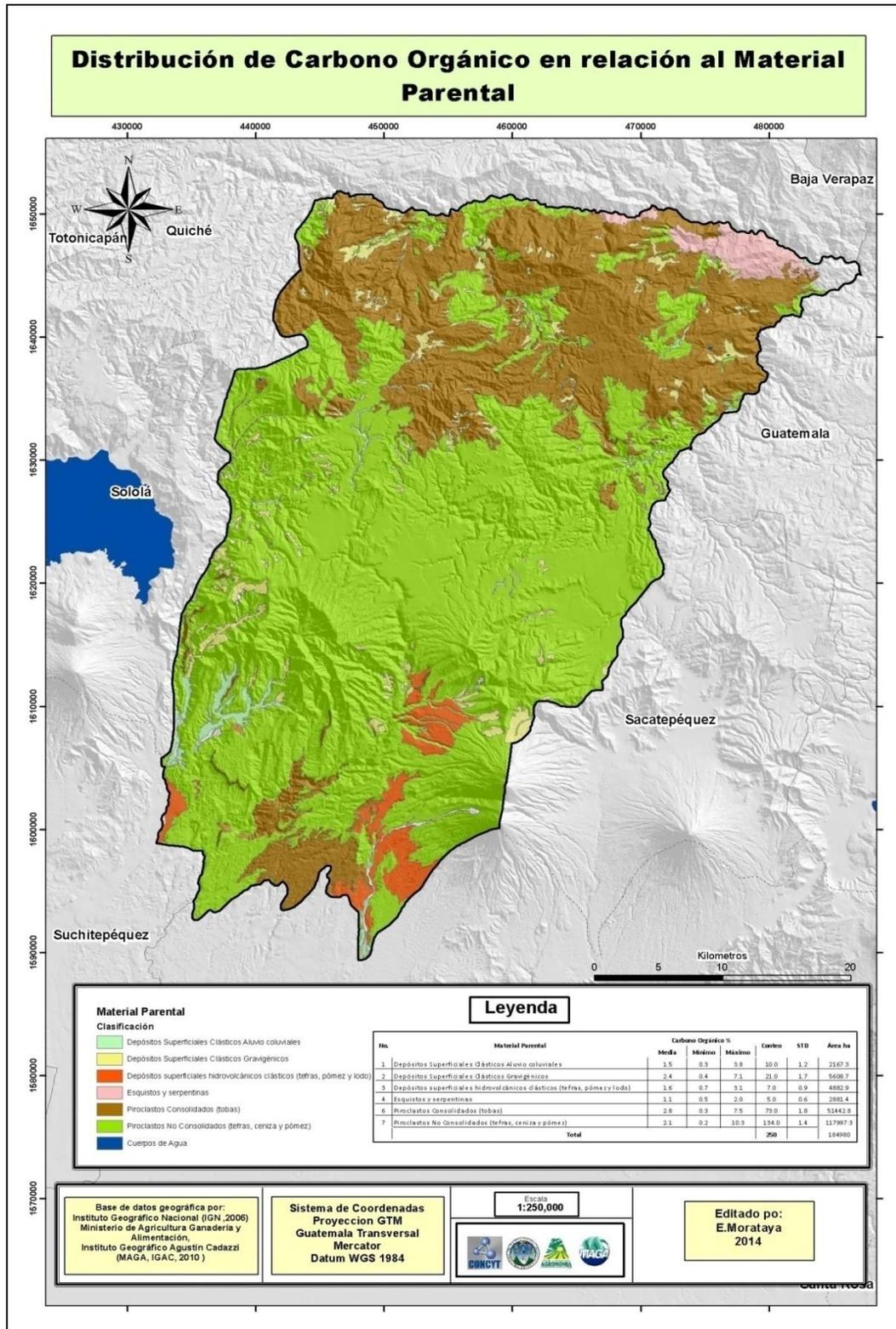


Figura 27 Mapa de distribución de carbono orgánico en función al material parental

2.6.3.3 Análisis de carbono orgánico en relación de la clasificación taxonómica de suelos

Se presenta a continuación el cuadro 19 en donde se resumen los estadísticos realizados a la variable carbono orgánico en relación a la clasificación taxonómica a nivel de órdenes de suelo.

Cuadro 25 Variación de carbono orgánico en relación a órdenes de suelo

Orden de suelo	Carbono Orgánico %			Conteo	STD	Superficie	
	Media	Mínimo	Máximo			(ha)	%
ENTISOL	1.365	0.100	3.300	43	1.7053	32662.86	17.7
INCEPTISOL	2.022	0.200	6.300	71	1.6405	63466.45	34.3
ALFISOL	2.060	0.400	4.600	5	0.8072	3924.74	2.1
MOLISOL	2.151	0.100	10.270	48	1.3365	22793.65	12.3
ANDISOL	2.917	0.300	7.506	87	1.8385	62032.68	33.6
Total				254		184880	100.0

Fuente: Preparado a partir de los datos colectados en la fase de campo y gabinete

En el departamento de Chimaltenango se presentan seis órdenes de suelos, tomado en base a la clasificación taxonómica (MAGA 2010), el cuadro 19 muestra el resumen de estadísticos basados en el total de puntos encontrados en cada polígono de los órdenes de suelos, el orden que posee mayor acumulación de carbono orgánico en la capa superficial del suelo es Andisol con un valor de 2.917%, con valores que van desde un mínimo de 1.36% el orden Entisol.

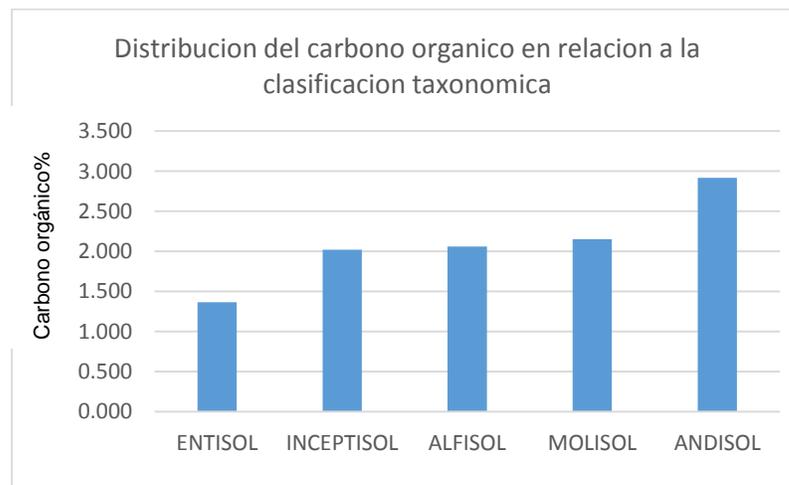


Figura 28 Distribución del carbono orgánico en relación a la clasificación taxonómica a nivel de órdenes de suelo

El orden de suelos que presenta la mayor cantidad de carbono orgánico superficial es el Andisol y con un conteo total de puntos de 87, según FAO 2002, establece dentro de suelos con mayor contenido medio de carbono orgánico en kg/m^2 , el tercer puesto lo ocupan los Andisoles, mientras que los dos primeros ordenes de suelos no se encuentran distribuidos en Guatemala los cuales son: Podzolez y Rendzinas, con una diferencia marcada de 5kg/m^2 ante el cuarto lugar, lo cual para el departamento de Chimaltenango se estaría concluyendo que el orden de suelos con mayor contenido medio de carbono orgánico es el Andisol comparado con los suelos de todo el mundo.

El orden Vertisol se encuentra presente en el departamento en estudio en un 0.18% lo cual es poco representativo en extensión en comparación a los otros ordenes de suelos presentes, sin embargo durante el proceso de la investigación no se encontró ningún dato presente en dicho orden de suelos, por lo que para estudiar a fondo la variabilidad del carbono orgánico se tendría que mapear exclusivamente las 343 hectáreas que representa el orden Vertisol.

FAO 2002, llevó a cabo una revisión de las estimaciones usando la base de datos *Wiscon 4* 353 perfiles (19 222 análisis de carbono), con una representación geográfica más significativa. Este estudio confirmó un total de carbono del suelo de cerca de 1 500 Pg en los horizontes superiores (0-100 cm). Los valores son de 2 kg/m^2 para xerosoles o arenosoles o más de 10 kg/m^2 para podzoles, andosoles o rendzinas.

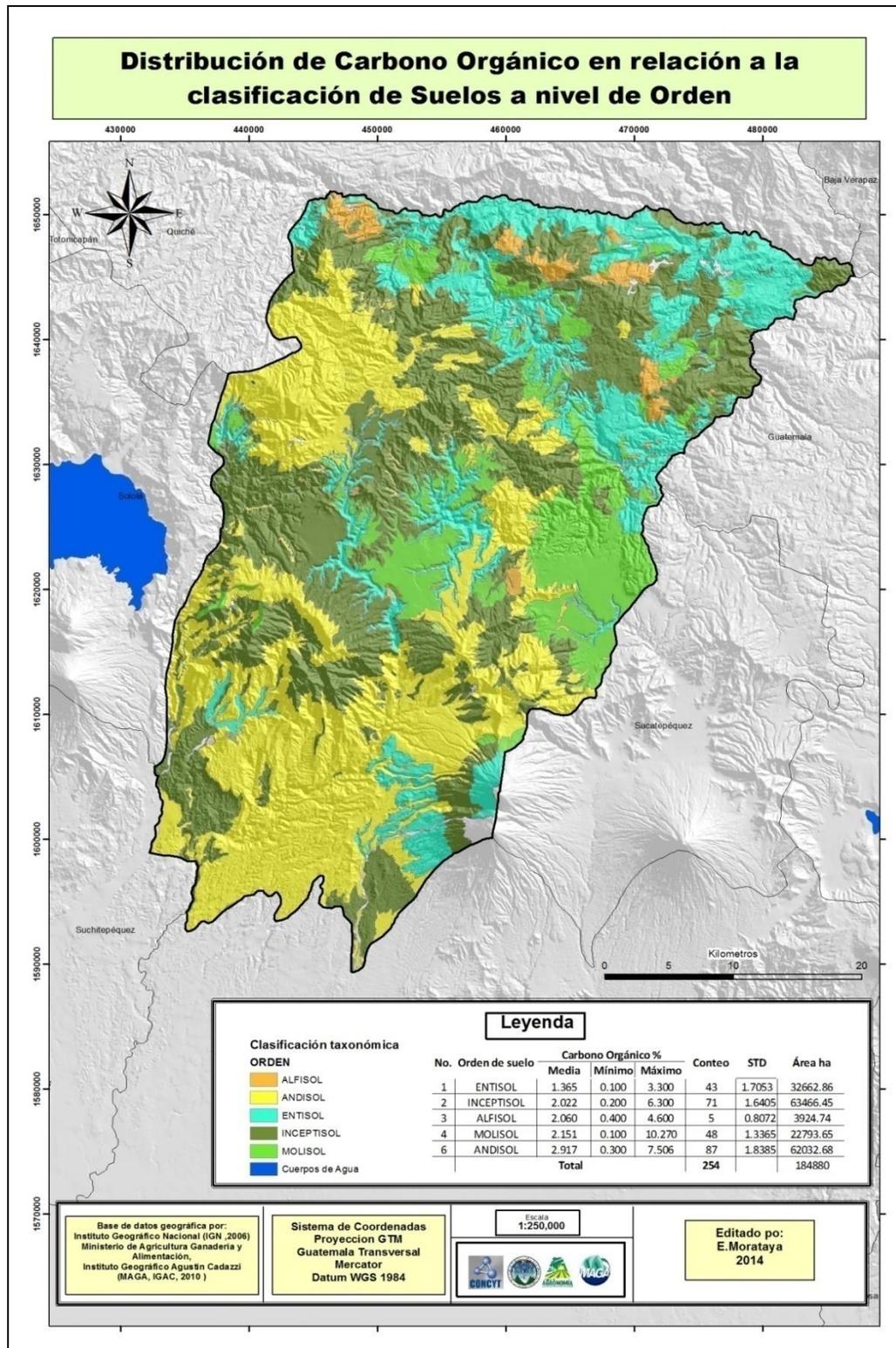


Figura 29 Mapa de distribución de carbono orgánico en función a la clasificación taxonómica

2.6.3.4 Análisis de carbono orgánico en relación del uso de la tierra

En base al cuadro 26 de manera ascendente indica que la categoría de uso que posee mayor cantidad de carbono orgánico es la de infraestructura, sin embargo esto se debe a que algunos estudios realizados en el departamento de Chimaltenango corresponden a años anteriores al 2010, que es la fecha en la cual se basó el mapa de uso de la tierra, por lo que se puede concluir que existe una contradicción en decir que el polígono que posee mayor carbono orgánico superficial es de infraestructura, por lo cual para fines de este estudio dicho valor se descarta para fines de análisis.

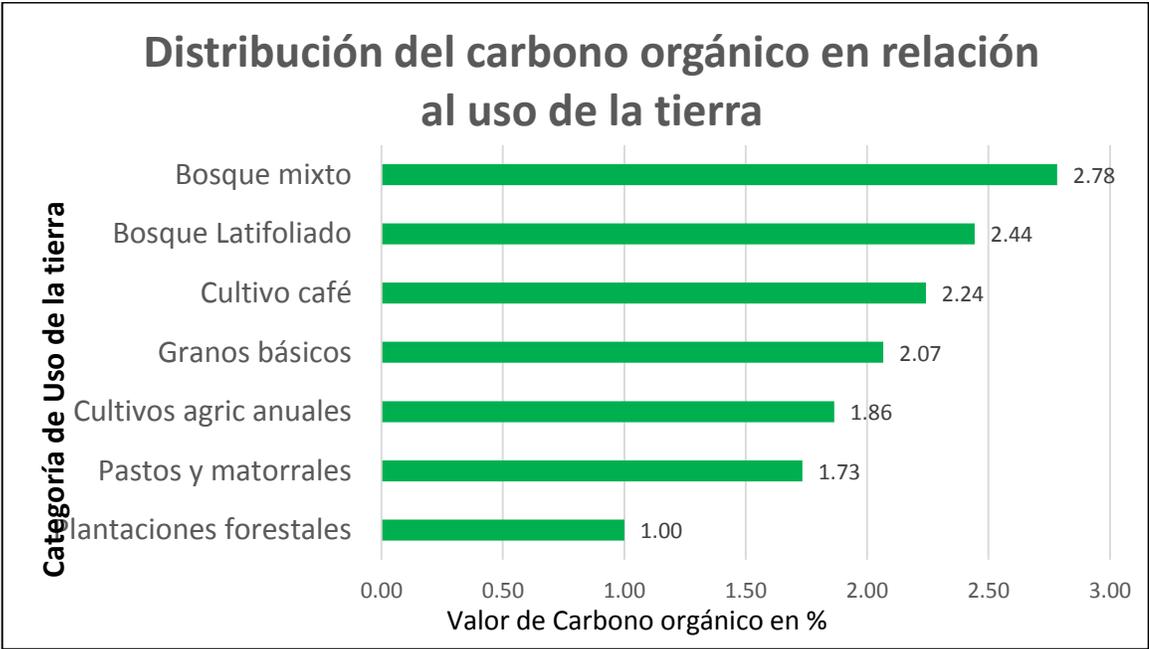


Figura 30 Distribución del carbono orgánico en relación al uso de la tierra

La categoría de plantaciones forestales que corresponden a especies de pino, ciprés y especies latifoliadas de la región, poseen una baja cantidad de carbono orgánico en promedio correspondiente a 1%, colocándose en la segunda con menor cantidad acumulada de carbono orgánico, esto es debido a que dicha categoría no es nada representativa en el departamento y las plantaciones forestales se están iniciando por lo que en las primeras etapas fenológicas los arboles extraen más nutrientes de los que aportan, esperando un aumento en estas cuando lleguen a su senectud o punto máximo de desarrollo.

Cuadro 26 Variación de carbono orgánico en relación al uso de la tierra

No	Uso de la tierra	Descripción	Carbono Orgánico %			Conteo	STD	Área (ha)	Área %
			Media	Mínimo	Máximo				
1	Zonas de Asentamientos humanos e infraestructura	Cementerio, hoteles, instalaciones, tejido urbano, zonas de construcción, Avícolas, Beneficio de café Cantera, deslizamientos, Lagos y Lagunas, Ríos, Áreas Turísticas, arqueológicas, praderas pantanosas, Roqueda, lavas, Zonas quemadas,	Variable			8	Variabl e	6875.5	3.7
2	Plantaciones forestales	Plantación de pino, Plantación latifoliada	1.00	0.40	1.60	2.00	0.85	652.2	0.4
3	Pastos y matorrales	Pasto cultivado, Vegetación arbustiva baja (matorral), pasto natural, Vegetación de transición, Vegetación herbácea natural (sabana)	1.73	0.30	4.10	18.00	1.00	12271.3	6.6
4	Cultivos agrícolas anuales	Flores y follajes, fresa, hortaliza, maíz, mini vegetales, mora, piña, repollo, rosas, sorgo, tomate Arveja chinas, brócoli, caña de azúcar, chile, clavel, coliflor, crisantemo, ejote francés,	1.86	0.30	4.50	29.00	1.10	16301.9	8.8
5	Granos básicos	Maíz, sorgo	2.07	0.20	6.63	80.00	1.34	32817.4	17.7
6	Cultivo de Café	Café y Banano, Café	2.24	0.60	7.10	31.00	1.25	34821.6	18.7
7	Bosque Latifoliado	Bosque Latifoliado: Encino	2.44	1.00	4.00	14.00	0.97	5613.0	3.0
8	Bosque Mixto	Bosque Mixto: Pino-Encino	2.78	0.20	7.51	69.00	1.90	76779.3	41.3
Total						243		186132.0	100

Fuente: Preparado a partir de los datos colectados en la fase de campo y gabinete

El polígono o categoría de uso que posee la mayor cantidad acumulada de carbono orgánico en el estrato superficial es el Bosque Mixto, el cual lo componen las especies arbóreas: Pino, Ciprés, y asociaciones de Pino-Encino, con una cantidad en promedio de 2.744%.

Es de hacer notar que en cantidades de carbono orgánico se encontró una mayor acumulación en el estrato superficial en categorías de uso forestal versus las categorías de uso de cultivos agrícolas, como se plantea en el presente estudio la capacidad de acumular materia orgánica es mayor en coberturas boscosas naturales que en categorías de uso Agrícolas, la distribución de carbono orgánico en función del uso de la tierra se muestra en la figura 30.

Según FAO-UNESCO indica que: “Los bosques naturales pueden ser considerados en equilibrio dinámico en relación al carbono bajo ciertas condiciones climáticas y para ciertas concentraciones atmosféricas de CO₂. El bosque prístino, en la Amazonía, es el ecosistema que contiene la mayor cantidad de carbono (305 t/ha, de las cuales el 28 % en el suelo).

Según FAO-UNESCO 2002, los valores más altos sobre la captura de carbono en toneladas de carbono por hectárea al año, en zonas tropicales están representados por tierras denominadas “reforestación” con valores entre 4-8 t C/ha/año, las cuales incluyen áreas boscosas naturales y siembra de árboles, seguido por agrosilvicultura con valores entre 0.2 -3.1 t C/ha/año, la cual incluye árboles en asocio con cultivos, ganado o con ambos. Y en tercer lugar de áreas con mayor captura de carbono se menciona a las tierras de cultivo: Agricultura de Conservación con valores de 0.3-0.8 t C/ha/año, ésta última considera labranza de conservación la cual indica un manejo de residuos de los cultivos en el lugar.

En base a lo anterior se puede concluir que los resultados encontrados en la presente investigación concuerdan con resultados encontrados a nivel mundial con alrededor de 16,000 perfiles provenientes la mayor parte de Estados Unidos, en donde áreas con cobertura boscosa presentan una mayor acumulación de carbono orgánico superficial

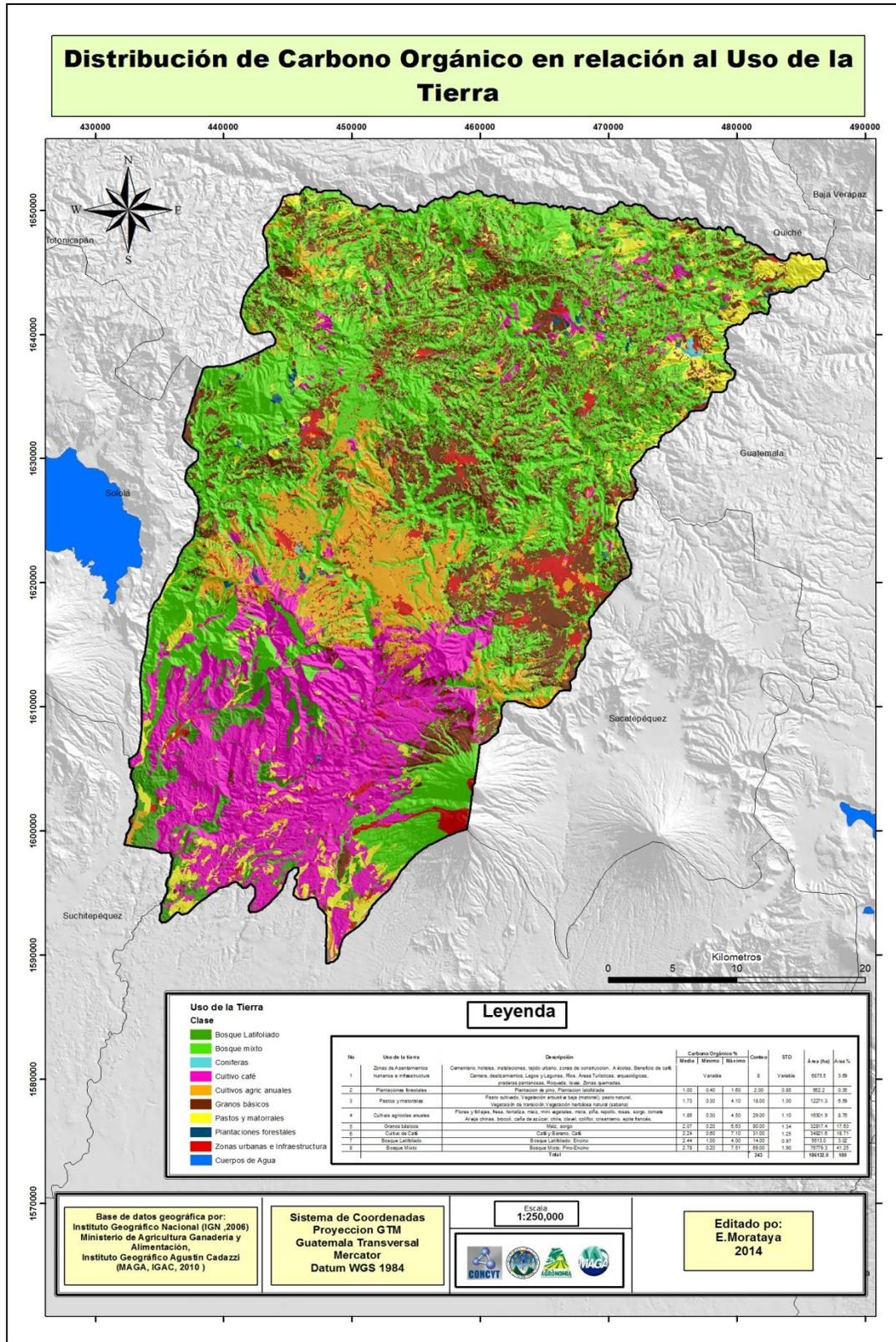


Figura 31 Mapa de distribución de carbono orgánico en función al uso de la tierra

2.6.3.5 Análisis de carbono orgánico en relación con la altitud

El departamento se dividió en altitudes a cada 300 metros para fines del análisis de resultados y clasificación de los polígonos.

Cuadro 27 Variación de carbono orgánico en relación a la altitud

No.	Altitud msnm	Carbono Orgánico %			Conteo	STD	Superficie	
		Media	Mínimo	Máximo			(ha)	%
1	600-900	1.63	0.30	2.70	6.00	0.85	2565	1.4
2	900-1200	1.88	0.40	4.00	19.00	0.99	19818	10.4
3	1200-1500	2.08	0.40	7.10	20.00	1.63	11823	6.2
4	1500-1800	1.63	0.10	3.70	33.00	1.01	35313	18.6
5	1800-2100	2.01	0.20	10.27	40.00	1.79	44750	23.6
6	2100-2400	2.01	0.10	6.17	62.00	1.32	19818	10.4
7	2400-2700	2.70	0.20	7.51	58.00	1.59	42601	22.4
8	2700-3000	4.97	2.50	7.10	11.00	1.26	2296	1.2
9	3000-3300	3.15	1.20	6.30	4.00	2.21	10794	5.7
Total					253		189778	100.00

Fuente: Preparado a partir de los datos colectados en la fase de campo y gabinete

El valor de altitud que posee mayor acumulación de carbono orgánico en su estrato superficial se encuentra en los 2700msnm con un valor de 4.966%, apoyando literatura consultada se determina que en una mayor altitud existe mayor concentración de carbono orgánico, sin embargo las partes más elevadas en este estudio se refieren a áreas de conos volcánicos, por lo cual no es representado por suelo sino materiales consolidados o lava, por lo que no representa una alta cantidad de este elemento.

A continuación se muestra la gráfica conteniendo la distribución del carbono orgánico en relación a las clases altitudinales, divididas en segmentos o rangos de 300metros.

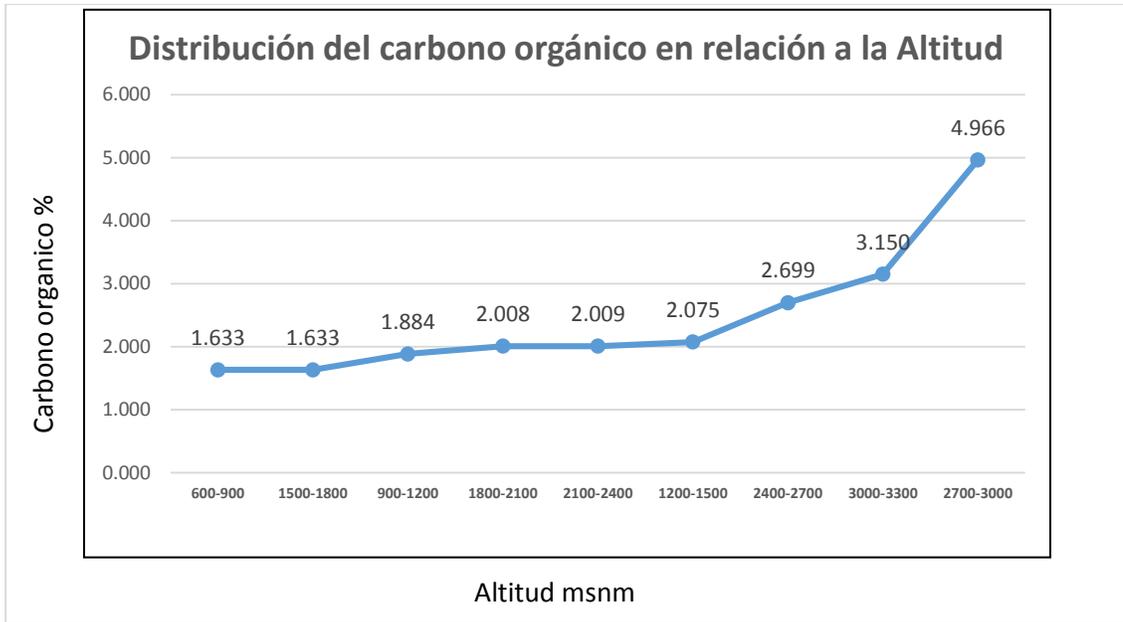


Figura 32 Distribución del carbono orgánico en relación a la altitud

En base a (Ochoa, 2000) indica que: “en un 73% el comportamiento del carbono orgánico está relacionado significativamente con seis factores edáficos, dentro de los cuales se encuentra la altitud. En base a un análisis de componentes principales la altitud es la variable que presenta mayor correlación con el carbono orgánico”.

El aumento en los contenidos de materia orgánica con la altitud está asociado con la disminución de la temperatura para altitudes superiores a los 3000msnm. (Ochoa. G 2000)

Citado lo anterior se puede decir que los datos encontrados en el departamento de Chimaltenango al relacionar la altitud con el carbono orgánico superficiales encuentran dentro de los resultados encontrados en distintas partes del mundo, siguiendo la teoría de que la distribución de carbono orgánico presenta un aumento significativo en rangos cercanos y mayores a los 3000msnm (relacionado con la temperatura), como se observa en la figura 32 a partir de los 2700 msnm se presenta un aumento significativo del carbono orgánico del suelo, teniendo el valor máximo en el rango de 2700 hasta 3000msnm.

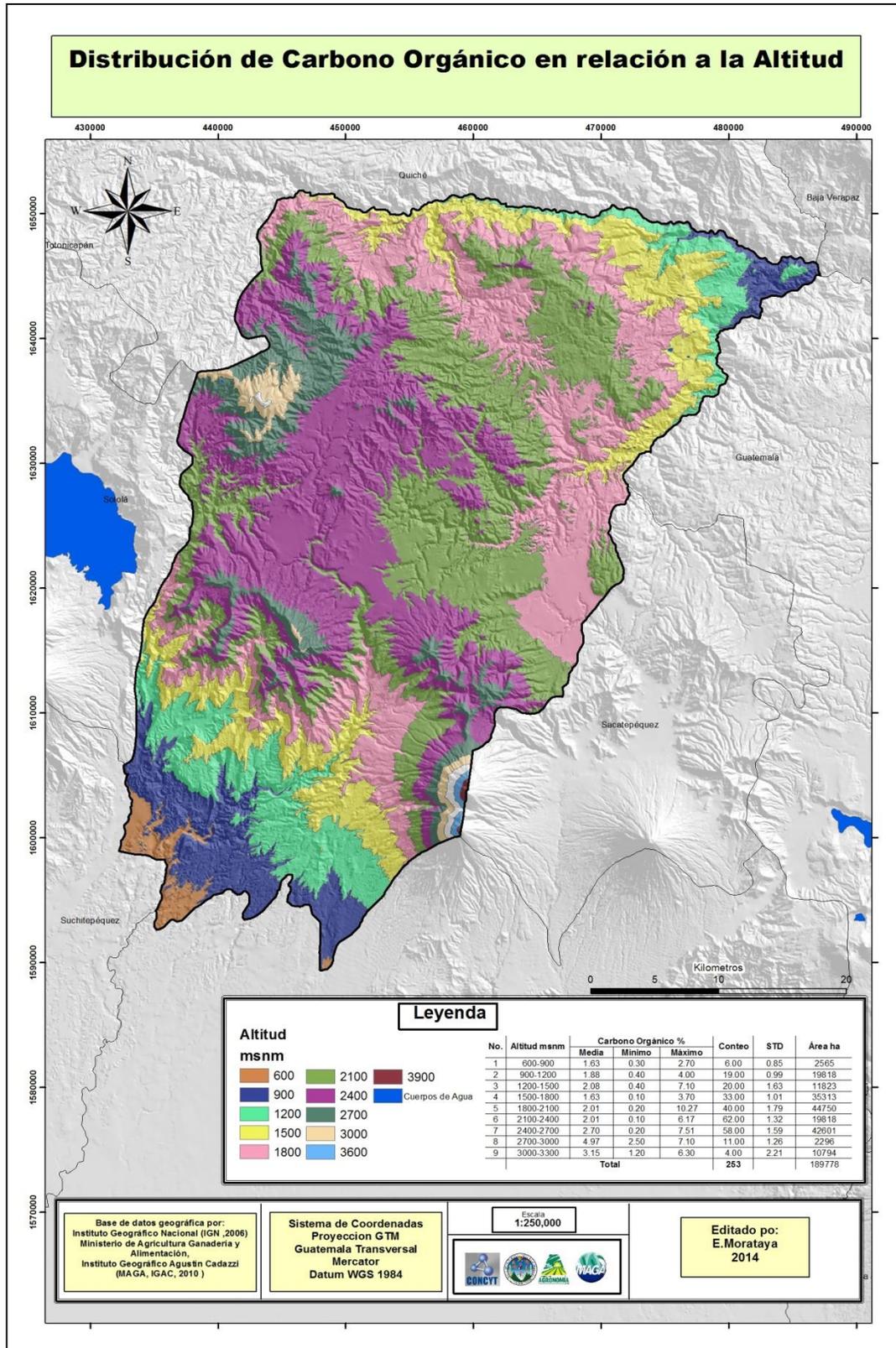


Figura 33 Mapa de distribución de carbono orgánico en función a la altitud

2.6.3.6 Análisis de carbono orgánico en relación con la temperatura

El clima afecta los procesos biológicos a través de sus componentes humedad y temperatura. Las tasas más activas de crecimiento biológico ocurren en zonas cálidas y húmedas, mientras que las más bajas corresponden a zonas frías y áridas. Por lo tanto, en regiones de clima frío hay acumulación de materia orgánica y bajas tasas de humificación y mineralización con niveles altos de materia orgánica en los suelos (Universidad Nacional de la Pampa 2004)

Cuadro 28 Variación de carbono orgánico en relación a la temperatura

No.	Temperatura °C	Carbono Orgánico %			Conteo	STD	Superficie	
		Media	Mínimo	Máximo			(ha)	%
1	12	2.2667	0.3	5.4	6	1.7294	2765.8	1.5
2	15	2.6563	0.1	7.50581	118	1.6778	89152.4	47.8
3	18	2.1004	0.4	10.27	45	1.7308	35579.2	19.1
4	24	1.77	0.1	7.1	70	1.2211	51191.5	27.5
5	27	1.6563	0.5	4.2	16	0.9223	7646.4	4.1
TOTAL							186335	100.0

Fuente: Preparado a partir de los datos colectados en la fase de campo y gabinete

Según FAO-UNESCO 2002: “Los rangos máximos de carbono orgánico se concentran en regiones frías y muy frías como las zonas agroecológicas siguientes: Boreal 9.8 – 10.2kg/m², Polar 7 – 7.8kg/m², mientras que las menores cantidades de carbono orgánico se encuentran en zonas: Árido 2 – 2.2kg/m², y valores medios en la zona agroecológica: Trópico cálido húmedo 5.2 – 5.4 kg/m² CO, en Guatemala se encuentran presentes las siguientes zonas agroecológicas trópico templado y trópico frío, muy frío y templado.

El estudio citado anteriormente a gran escala nos indica que las concentraciones del carbono orgánico aumentan en zonas con temperaturas bajas.

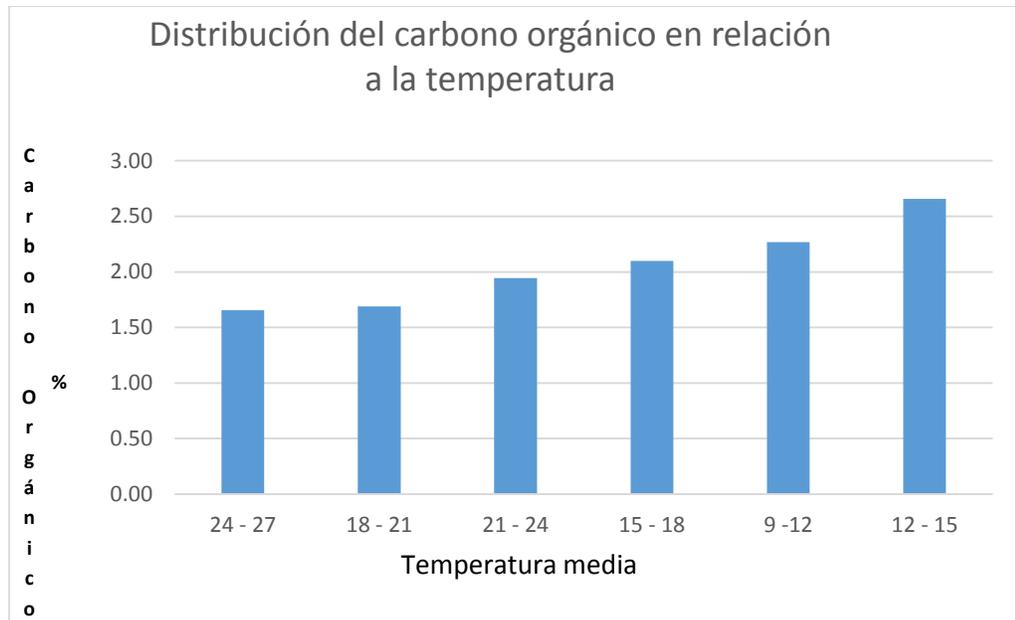


Figura 34 Distribución del carbono orgánico en relación a la temperatura

Para el departamento de Chimaltenango las regiones que presentan mayores cantidades de CO, son las que se encuentran en rangos desde 9°C hasta 15°C, dentro de dichos rangos se encuentran las temperaturas más bajas registradas para el departamento, por lo que los resultados concuerdan con los resultados encontrados en estudios similares realizados a nivel mundial.

El factor climático está estrechamente relacionado por el gradiente de humedad que se identifica en el departamento de Chimaltenango principalmente de sur a norte, ya que se observa una disminución de dicha variable a medida que se acerca al límite norte del departamento, por lo el clima se distribuye de manera que en los extremos del departamento se encuentran las zonas más cálidas, en la zona media se presentan los climas templados y al centro se distribuyen los climas fríos húmedos, así mismo afectado por el gradiente altitudinal y la presencia en los conos volcánicos de un clima extremadamente frío le proporciona la variabilidad de todas las variables estudiadas. (MAGA,2010)

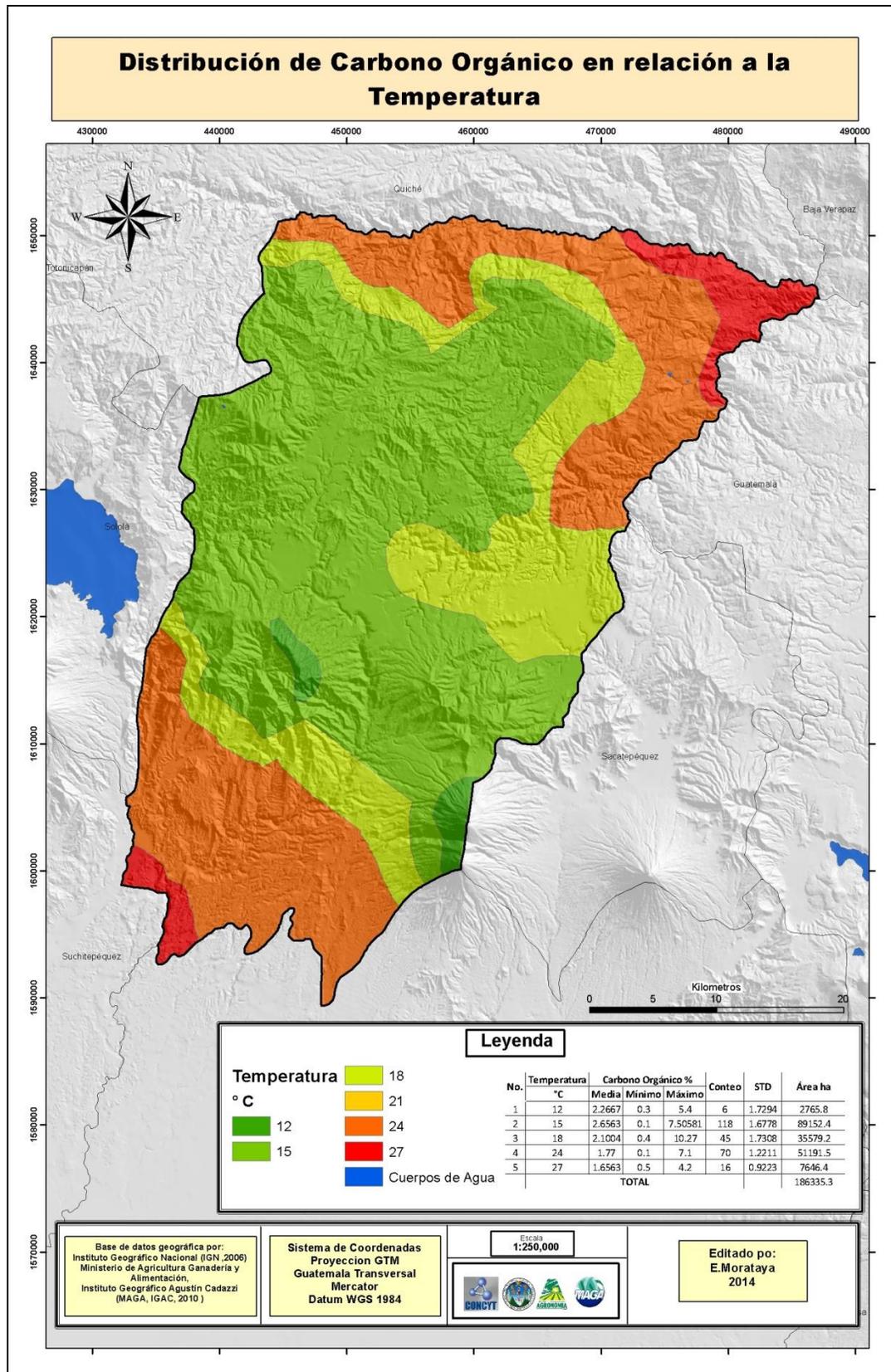


Figura 35 Mapa de distribución de carbono orgánico en relación a la temperatura

2.6.3.7 Análisis de carbono orgánico en relación con la precipitación pluvial

El carbono orgánico está estrechamente relacionado con los factores climáticos, en el caso de la precipitación se dividió el departamento de Chimaltenango en cuatro rangos, dentro de los cuales la máxima cantidad de carbono orgánico se presentó en el rango de 2100 a 4000 mm/año, y la menor concentración de carbono orgánico se registró en precipitaciones mayores de 4000 mm/año.

Cuadro 29 Variación de carbono orgánico en relación a la precipitación pluvial

No	Precipitación pluvial	Carbono Orgánico %			Conteo	STD	Superficie	
		Media	Mínimo	Máximo			(ha)	%
1	900- 1200	1.89	0.10	6.17	36.0	1.2	19347.0	10.4
2	1200- 2100	2.35	0.10	10.27	178.0	1.7	132854.4	71.3
3	2100-4000	2.41	0.70	7.10	34.0	1.3	29773.3	16.0
4	> 4000	1.00	0.30	2.10	7.0	0.7	4354.6	2.3
							186329	100.0

Fuente: Preparado a partir de los datos colectados en la fase de campo y gabinete

En base a los resultados obtenidos los rangos de precipitación que poseen la cantidad más elevada de carbono orgánico son desde 2100 a 4000 mm siendo este el segundo rango más alto de lluvias, los rangos de precipitación más altas corresponden a las comprendidos en mayores de 4000 mm/año, sin embargo las zonas del departamento que poseen dichas precipitaciones poseen así mismo las temperaturas más elevadas, por lo que en base a lo citado anteriormente concuerda el resultado al indicar que en temperaturas más elevadas existe menor cantidad de carbono orgánico aun así posea las mayores lluvias registradas en el departamento.

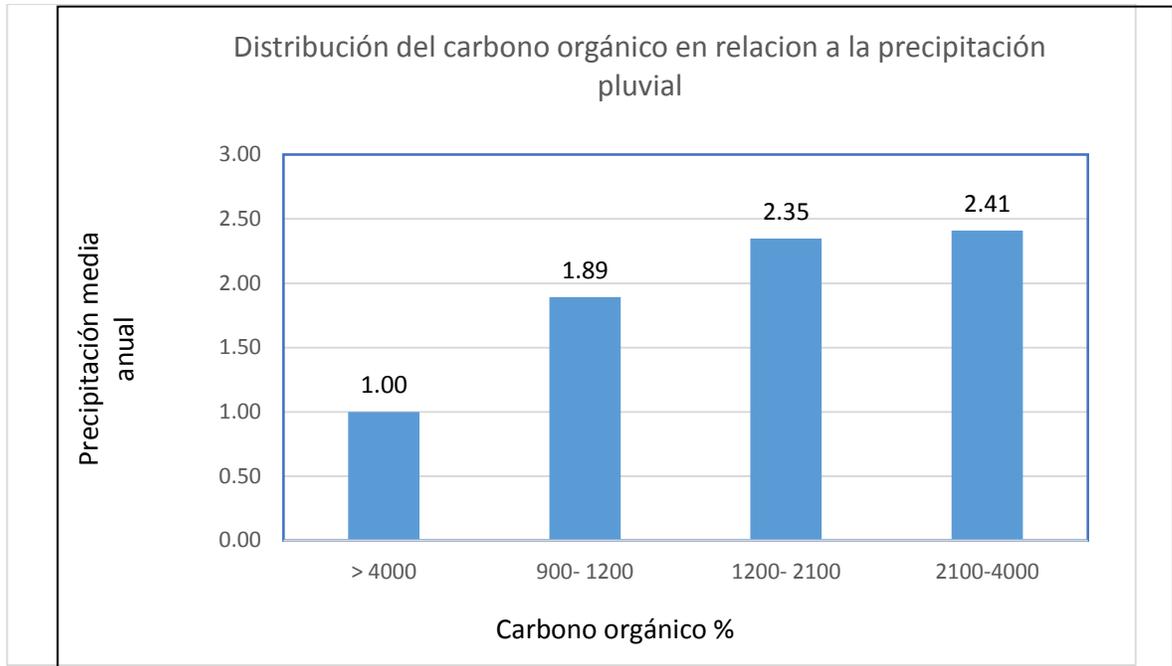


Figura 36 Distribución de carbono orgánico en relación a la precipitación pluvial

Según (Plaster 2000): La temperatura y la lluvia son factores climáticos importantes que afectan a la materia orgánica del suelo. Cuanta más lluvia, mayor es la cantidad total de la vegetación. Así los suelos en zonas de muchas lluvias tienden a desarrollar más materia orgánica que los suelos en zonas más secas. Sin embargo, esto se disimula por la tendencia de los suelos, en climas más secos, a acoger vegetación de pradera. Las altas temperaturas también promueven el crecimiento de la planta. Sin embargo, la materia orgánica se descompone más rápidamente a temperaturas más altas.

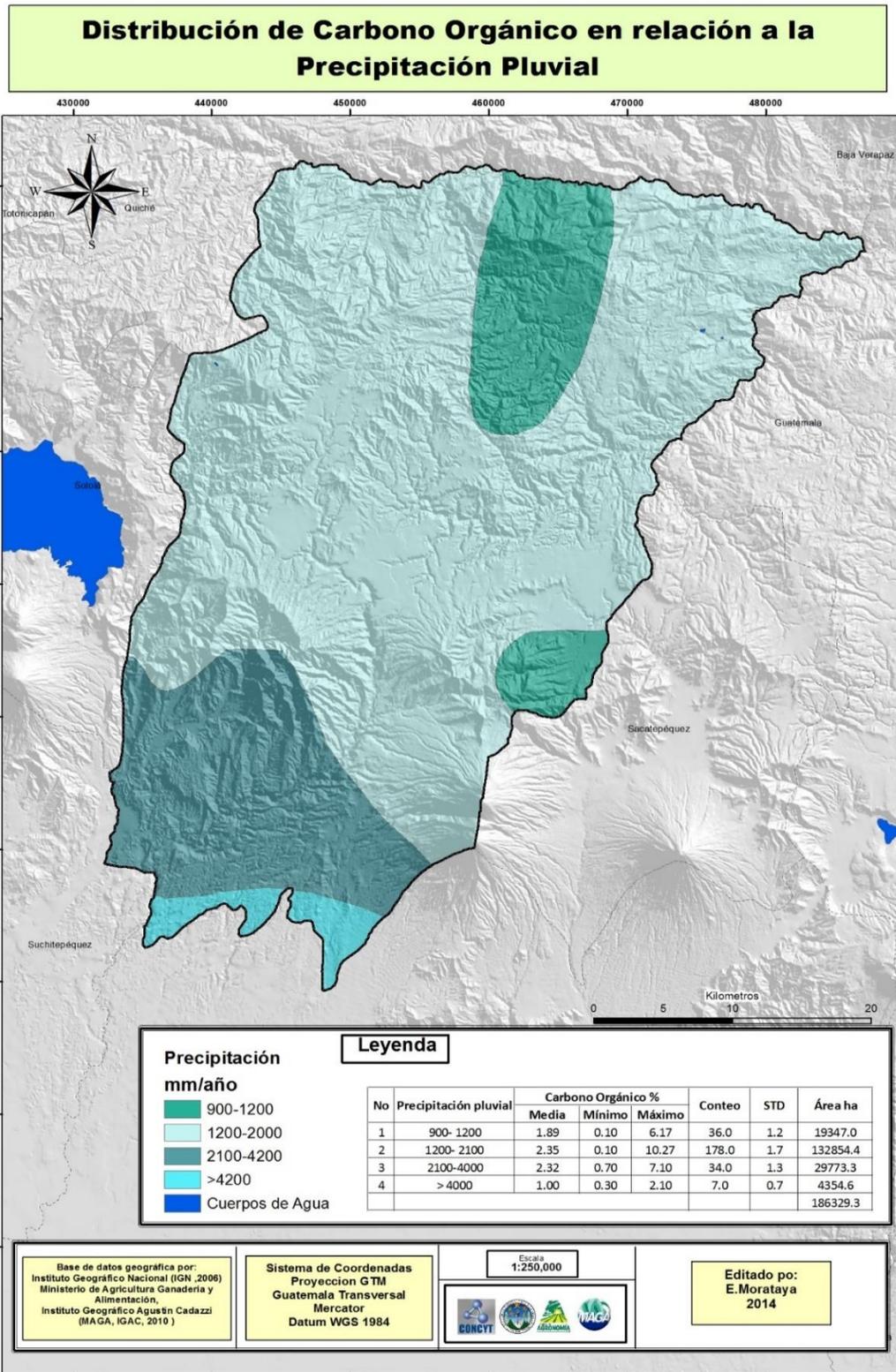


Figura 37 Mapa de distribución de carbono orgánico en relación a la precipitación pluvial

2.6.5 Distribución de carbono orgánico a 100cm de profundidad

Para la realización del inventario de carbono orgánico en el suelo se utilizó la base de datos que se manejó para el análisis de variabilidad a 30 cm, debiendo descartar primeramente los puntos que correspondían a muestreos superficiales, debido a que para el inventario de CO se necesitaban datos o puntos que tuviesen la descripción de un perfil (calicata), por lo que se inició el análisis partiendo con una cantidad de puntos de 214 calicatas.

A continuación se muestra la hoja electrónica utilizada para realizar el análisis de la variable CO, para fines de inventario

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O		
1	No	X	Y	Ref	Prof	Dif	DA Ton/Ha	D A (g/cm)	DA Prom	DA Ton/Ha	% C O	CO Estrato	Sumatoria	Media pon	CO Ton/Ha	Clasificación Taxon
2	1	-90,95714	14,856666	Pedon 3	79	26	95	0,95	0,9233	92,33	1,14	29,64	196,23	2,484	229,35	Typic distrop
3	2	-90,81167	14,6	Pedon Ac-3	20	20	109	1,09	1,0900	109,00	1,47	29,4	29,4	1,470	160,23	Typic Vitrand
4	3	-90,785	14,642	Pedon Ac-31	6	6	65	0,65	0,6500	65,00	10,27	61,62	61,62	10,270	667,55	Typic Vitrand
5	4	-90,86151	14,59561	Pedon P-01	100	2	108	1,08	0,9667	96,67	3,17	6,34	510,04	5,100	493,04	Humic Udovit
6	5	-90,87165	14,617861	Pedon P-02	100	5	121	1,21	0,9775	97,75	0,58	2,9	173,11	1,731	169,22	Humic Haplust
7	6	-90,82926	14,599643	Pedon P-03	100	83	105	1,05	0,9750	97,50	0,44	36,52	77,83	0,778	75,88	Humic Haplust
8	7	-90,83066	14,634887	41309	100	10	88	0,88	0,9267	92,67	0,3	3	77,5	0,775	71,82	Typic Haplust
9	8	-90,79932	14,637444	40101	100	89	130	1,3	1,1233	112,33	0,06	5,34	60,54	0,605	68,01	Typic Haplust
10	9	-90,79749	14,625093	41604	25	25	106	1,06	1,0600	106,00	0,4	10	10	0,400	42,40	Typic Haplust
11	10	-90,98431	14,657771	40702	100	24	116	1,16	1,1567	115,67	0,1	2,4	55,6	0,556	64,31	Vitrandic Eutru
12	11	-90,86551	14,661085	41503	100	15	130	1,3	1,3167	131,67	0,1	1,5	30,1	0,301	39,63	Typic Haplust
13	12	-90,79229	14,652576	41602	100	84	121	1,21	1,1700	117,00	0,3	25,2	39,6	0,396	46,33	Typic Haplust
14	13	-90,9091	14,665852	41501	100	22	88	0,88	0,9267	92,67	0,2	4,4	46,4	0,464	43,00	Vitric Haplust
15	14	-90,96859	14,697489	40903	100	86	100	1	0,9800	98,00	1,1	94,6	108,6	1,086	106,43	Typic Haplust
16	15	-91,00659	14,665795	40704	100	60	94	0,94	0,8700	87,00	0,1	6	94,4	0,944	82,13	Vitrandic Ustur
17	16	-90,97904	14,758476	40616	100	80	90	0,9	0,9250	92,50	0,2	16	46	0,460	42,55	Andic Dystru

Los resultados de la distribución del carbono orgánico a 100 cm de profundidad se muestran en la Figura 38 dato expresado en Toneladas/hectárea.

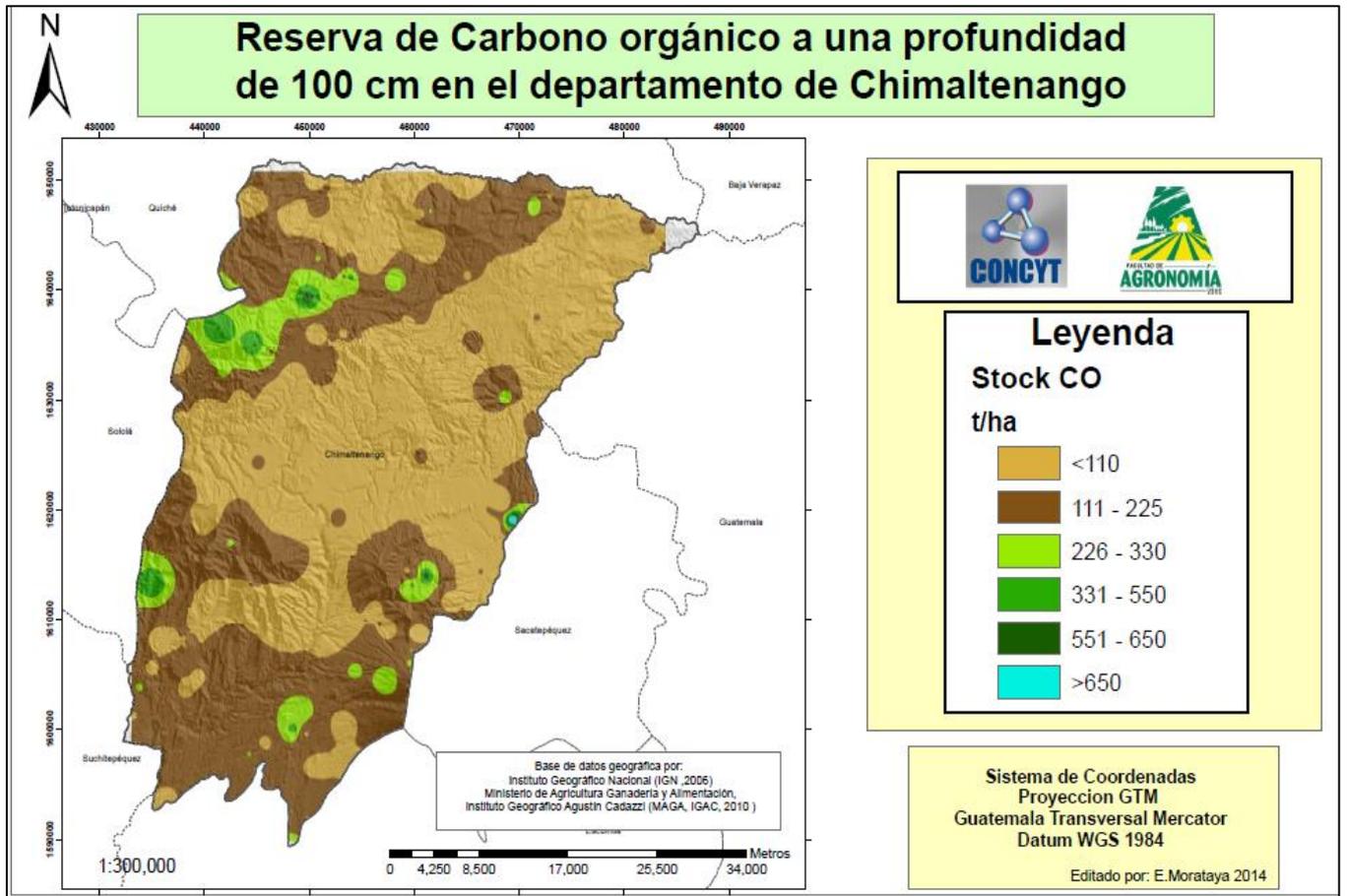


Figura 38 Distribución del carbono orgánico a 100 cm de profundidad

En base al mapa anterior se observa que existe un mínimo de carbono orgánico a un metro de profundidad desde 33.45 a 110 t/ha en color café claro, cantidades medias de carbono orgánico en colores verdes, y una región con altos valores de carbono con 650 t/ha, y un stock en todo el departamento de Chimaltenango de 27,116.65 toneladas métricas.

Los contenidos de carbono en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo pero pueden ser fuertemente modificados –degradados o mejorados- por los cambios en el uso y el manejo de la tierra. (FAO, 2002)

En base a estudio realizado en Colombia indica el almacenamiento de carbono en toneladas por hectárea (t/C/ha) en diferentes usos del terreno en distintas partes del mundo en profundidades de 0 a 100cm, en donde se puede observar la variación que

existe en un mismo país ejemplo Costa Rica en cuanto al almacenamiento de carbono orgánico hasta una profundidad de 100cm.

Cuadro 30 Almacenamiento de Carbono en distintos usos del terreno

No.	Uso de la Tierra	Profundidad (cm)	Almacenamiento t/C/ha	Localización
1	Café var. Colombia	30	120.32	Colombia
2	Selva húmeda tropical	30	82.2	Costa Rica
3	Pastizal (<i>Ischaemum</i> sp)	50	115.6	Costa Rica
4	Bosque Nativo >20 años	60	100	Kenia
5	Patizal con árboles	100	284	Etiopía

Fuente: Extracto del cuadro 4 tomado de Carvajal, et. al, 2009

En base al cuadro anterior indica que la mayor cantidad de carbono orgánico se encuentra almacenada a una profundidad de 100cm en el uso de la Tierra: Pastizal con árboles con una cantidad de 284t/C/ha, siendo este el dato más alto en el estudio consultado, el cual contiene un total de 14 localidades, en comparación con el departamento de Chimaltenango se encontraron datos elevados de 650 t/C/ha, ubicados en un área del municipio de El Tejar, en el lugar específico poseen los siguientes usos de la Tierra: Pastos y Matorrales, Granos Básicos y Bosque Mixto (en base a información digital MAGA,2006) . Lo cual concuerda con los datos encontrados en Costa Rica con los pastizales y Bosque Nativo en Kenia.

Así mismo los datos más bajos entre rangos de 33. 45 a 110 t/C/ha, se encuentran en los siguientes municipios del departamento: Comalapa, Zaragoza, San Martín Jilotepeque, Acatenango y Patzún que en su mayoría presentan un uso común de la Tierra: Cultivos agrícolas anuales, lo cual pudiese indicar un deterioro y pérdida del carbono orgánico en dichas áreas, y condiciones fisiográficas, topográficas, climáticas y geomorfológicas que no contribuyen al almacenamiento de carbono orgánico.

2.6.3.2 Análisis de carbono orgánico en relación de la clasificación taxonómica de suelos

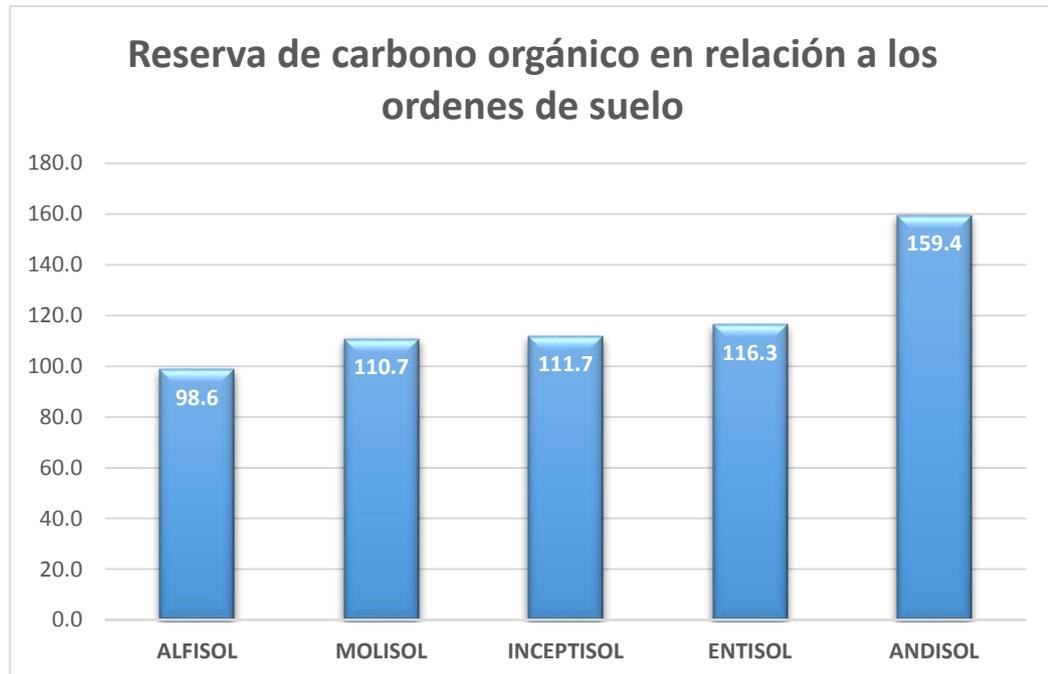


Figura 39 Reserva de Carbono Orgánico a un metro de profundidad en relación a los órdenes de suelo

En base a la Figura 38 se encontró que el orden de suelos que posee mayor almacenamiento de carbono orgánico es: Andisol con 159.4 t/C/ha, seguido por el orden Entisol con 116.3 t/C/ha, y el orden que posee menos almacenamiento de carbono orgánico está representado por el orden Alfisol con 98.6 t/C/ha.

Cuadro 31 Distribución del carbono orgánico (t/ha) a un metro de profundidad en relación a los órdenes de suelo

No.	Orden de suelo	Carbono Orgánico %			Cuento	STD	Área ha
		Media	Mínimo	Máximo			
1	ALFISOL	98.581	39.632	181.005	5	59.929	32663
2	ANDISOL	159.413	40.643	493.039	68	109.681	63466
3	ENTISOL	116.254	10.300	369.600	39	94.507	3925
4	INCEPTISOL	111.717	14.946	397.540	67	77.048	22794
6	MOLISOL	110.663	19.200	667.550	32	116.364	62033
Total					211		184880

Con base a la bibliografía consultada (FAO, 2002), se ha podido establecer que “usaron la taxonomía de suelos y más perfiles de análisis (cerca de 16 000), la mayoría de los cuales provenían de pedones en los Estados Unidos”, el cual indica en base a la clasificación WRB (Base de Referencia Mundial) que a 100 cm de profundidad el grupo de suelos que presenta el mayor almacenamiento fue el grupo Andosoles, el cual corresponde al orden Andisoles en la clasificación de la Taxonomía de Suelos.

2.7 CONCLUSIONES

- 2.7.1. Los hallazgos sobre la variabilidad del carbono orgánico de esta investigación se derivan de 334 puntos de observación en el departamento de Chimaltenango, de los cuales 61 corresponden a muestreos superficiales y 273 a calicatas o perfiles edáficos.
- 2.7.2. El carbono orgánico superficial mantiene una estrecha relación con los factores evaluados, acumulándose especialmente en los suelos con las siguientes características: Suelos de origen volcánico con material parental de piroclastos con un contenido medio del 2.8%, Orden Andisoles, con una media de 2.92%, el uso de la tierra Bosques mixtos, categoría que incluye los bosques de las siguientes especies del género *Pinus*: *P. oocarpa*, *P. maximinoi*, y *P. montezumae*; y del género *Quercus*, *Q. aatay* *Q. pacayana*), con una media de 2.78% de carbono orgánico, sitios altitudes mayores a 2700 msnm, precipitaciones medias anuales entre los 2000 a 2400 mm y temperaturas entre 12 y 15°C, prese
- 2.7.3. El inventario de carbono orgánico para el departamento de Chimaltenango a una profundidad de 100 cm es de 27,116.65tm, el cual se relaciona estrechamente con suelos taxonómicamente clasificados como Andisoles, con un valor de 159 t/C/ha, siendo este el valor más alto en relación a otros ordenes presentes en el departamento

2.8 RECOMENDACIONES

- 2.8.3 Es necesaria la implementación de estudios que muestren las cantidades de carbono orgánico del suelo que se libera debido al cambio de uso de la tierra en el departamento de Chimaltenango, debido a que en base a los resultados del presente estudio indica que en coberturas forestales en específico bosques mixtos se concentra la mayor cantidad de carbono orgánico superficial, mientras que los cultivos anuales y cultivos agrícolas permanentes se encuentran con las menores concentraciones de éste elemento, debido a la alta mineralización de estos suelos.
- 2.8.4 Se hace necesaria la implementación de la misma metodología para evaluar la distribución de carbono orgánico en todos los departamentos de Guatemala, debido a que el presente estudio puede servir de referencia para recomendaciones de manejo del suelo, y así mismo para determinar la captación de CO² que tiene el suelo en todo el país.
- 2.8.5 A las instituciones que manejan bases de datos de estudios edafológicos y relacionados se recomienda llevar un control más riguroso para que no ocurran pérdidas de información debido a la falta de orden en las oficinas.
- 2.8.6 A instituciones públicas y privadas cooperar en proporcionar información que pueda servir al desarrollo del país, ya que existe recelo en el manejo de la información que puede servir para realizar investigación.

2.9 LITERATURA CONSULTADA

1. Aguilar, MA, Aguilar, JM, Aguilar J, JM. 2010. Ecosistemas de Guatemala un enfoque por zonas de vida. 2 ed. Guatemala, Don Bosco. 178 p.
2. Aguilera, SM. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. *In* Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo (2000, CL). Valdivia, Chile, Boletín no. 14, p. 77-85.
3. Allison, FE. 1973. Soil organic matter and its rol in crop production. New York, US, Elsevier. 637 p.
4. Bolstad, P. 2005. GIS fundamentals: a first text on geographic information systems. 2 ed. White Bear Lake, MN, US, Eider Press. 543 p.
5. Carvajal, AF; Feijoo, A; Quintero, H; Rondón, MA. 2009. Carbono orgánico del suelo en paisajes andinos colombianos (en línea). *Revista Ciencia, Suelo y Nutrición* 9(3):222-235. Consultado 20 ene 2015. Disponible en <http://mingaonline.uach.cl/pdf/rcsuelo/v9n3/art05.pdf>
6. Dorronsoro, C. 1998. El suelo, concepto y formación (en línea). *In* Introducción a la edafología. Granada, España, Universidad de Granada, Facultad de Ciencias, Departamento de Edafología y Química Agrícola, Unidad Docente e Investigadora. Consultado 18 dic 2013. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema01/procgen.htm#anchor279383>
7. Duchaufour, PH. 1987. Manual de edafología. Barcelona, España, Toray-Masson. 476 p.
8. EcoPortal.net. 2013. Glosario de términos ambientales de EcoPortal.net (en línea). Consultado 10 ene 2014. Disponible en http://www.ecoport.net/Servicios/Glosario_Ambiental/C
9. ESRI, US. 1996. ArcGis the geographic information system for everyone (version en Español). US. 250 p.
10. _____. 2012. Resource center (en línea). US. Consultado 10 ene 2014. Disponible en <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z00000075000000>
11. Follet, R; Reed, D. 2010. Soil carbon sequestration in grazing lands: societal benefits and policy implications. *RangelandEcology& Management* 63(1):4-15.
12. Gandullo, JM. 2009. Factores formadores del suelo (en línea). *In* Edafología y climatología forestal. Huelva, Andalucía, España, Universidad de Huelva. Consultado 3 dic 2013. Disponible en www.media.wix.com.20ee16_4892d3da06e604cc36960881e79da3e7.pdf

13. Giraldo, R. 2006. Introducción a la geo estadística, teoría y aplicación. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Estadística. 97 p.
14. IGAC (Instituto Geográfico "Agustín Cadazzi", CO). 1978. Los suelos, su uso y manejo. Bogotá, Colombia, IGAC, Subdirección Agrícola. 87 p. (Cartilla Divulgativa para el Agricultor Colombiano).
15. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2002. Censos nacionales de XI de población y VI de habitación. Guatemala. 1 CD.
16. _____. 2013. Caracterización departamental. Chimaltenango 2012. Guatemala. 75 p.
17. Lara Céspedes, A. 2011. Ciclo del carbono (en línea). Consultado 17 set 2012. Disponible en <http://pdfcast.org/pdf/ciclo-del-carbono>
18. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la república de Guatemala, a escala 1:250,000, memoria técnica. Guatemala. 44 p.
19. _____. 2006. Mapas temáticos de la república de Guatemala a escala 1:250,000. Guatemala. 1 CD.
20. _____. 2010. Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Chimaltenango, Guatemala. Guatemala. v. 1, 969 p.
21. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT); RIC (Registro de Información Catastral, GT); IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 2006. Proyecto de obtención de imágenes digitales de la república de Guatemala. Guatemala, PASCO.136 p.
22. Martínez H, E; Fuentes E, JP; Acevedo H, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. R.C. Suelo Nutr. Veg. 8(1):68-96.
23. Mazoyer, M; Roudart, L. 2006. A history of world agriculture: from the neolithic age to the current crisis. Sterling, VA, US, Earthscan. 528 p.
24. Mogollón, JP. 2012. Cambios en el carbono orgánico del suelo por efecto del uso de la tierra (en línea). *In* Congreso Latinoamericano y Congreso Argentino de la Ciencia (2012, AR). Mar de Plata, Argentina, Gráfica El Vikingo. 69 p.
25. Muñoz, C; Paulino, L; Vera, J; Zagar, E. 2011. CO² and NO² emissions from an andisol in Chile under a no-till system using non-fixed closed chambers. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71(2):275-282.
26. Nuñez, J. 1946. Fundamentos de edafología. 2 ed. San José, Costa Rica, EUNED. 188 p.
27. Ochoa, G *et al.* 2000. Variación del carbono orgánico en función de la altitud: cuenca del río Santo Domingo. *Revista Geográfica Venezuela* 41(1):1-9.

28. Ortíz, G. 2012. Krigging (en línea). Consultado 6 set 2014. Disponible en http://www.gabrielortiz.com/diccionario/busca_dic.asp?qd=k
29. Pastor, AP. 2013. Rutas biotecnológicas. Murcia, España, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Área de Edafología y Química Agrícola, Servicio de Publicaciones y Estadística. p. 1-5.
30. PDVSA.com. 2005. Los hidrocarburos y el medio ambiente (en línea). Venezuela, PDVSA, Programa Educación y Soberanía Petrolera. Consultado 27 set 2012. Disponible en http://www.pdvsa.com/PESP/Pages_pespe/aspectostecnicos/produccion/hidro_ambiente.html
31. Plaster. E. 2000. La Ciencia del Suelo y Su Manejo. Magallanes, Madrid. España. Editorial Paraninfo. 419 p.
32. Primo Yúfera, E; Carrasco Dorrién, JM. 1981. Química agrícola I: suelos y fertilizantes. España, Alhambra. 472 p.
33. Robert, M. 2002. Tendencia general de la captura de carbono en el suelo (en línea). *In* Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma, Italia, FAO. Consultado 17 set 2012. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/005/y2779s/y2779s05.htm#TopOfPage>
34. Rioja Molina, A. 2002. Apuntes de fitotecnia general (en línea). Ciudad Real, Universidad de Catilla - La Mancha. España. Consultado 12 ene 2015. Disponible en http://www.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/AntonioPavon/05-AnejoiII.pdf
35. Rosenzweig, C; Hillel, D. 2009. Soil and carbon climate change. *Crops, Soils and Agronomy News* no. 11.
36. Sánchez, JS. 2010. Reserva de carbono orgánico en el suelo (en línea). *In* Balance de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas y agropecuarios seleccionados (BALANGEIs). Valencia, España, Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo –CEAM-. Consultado 20 jul 2014. Disponible en: <http://www.ceam.es/balangeis/>
37. SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación Económica, GT). 2009. Sistema Nacional de Información Territorial SINIT (en línea). Guatemala. Consultado 10 set 2012. Disponible en [http://sistemas.segeplan.gob.gt/sideplanw/SDPPGDM\\$PRINCIPAL.VISUALIZAR?PID=POBLACION_PDF_401p](http://sistemas.segeplan.gob.gt/sideplanw/SDPPGDM$PRINCIPAL.VISUALIZAR?PID=POBLACION_PDF_401p)
38. _____. 2014. Sistemas de Información Geográfica (en línea). Guatemala. Consultado 10 set 2012. Disponible en [http://sistemas.segeplan.gob.gt/sideplanw/SDPPGDM\\$PRINCIPAL.VISUALIZAR?PID=POBLACION_PDF_401p](http://sistemas.segeplan.gob.gt/sideplanw/SDPPGDM$PRINCIPAL.VISUALIZAR?PID=POBLACION_PDF_401p)

39. SSL (Soil Survey Laboratory, US). 1995. Information manual, version 1.0. US, USDA. 506 p. (Soil Survey Investigations Report no. 45).
40. _____. 1996. Methods manual, version 3.0. US, USDA. 407 p. (Soil Survey Investigations Report no. 42).
41. Terralía.com. Balance de carbono orgánico del suelo (en línea). Madrid, España. Consultado 20 oct 2014. Disponible en <http://www.terralia.com/index.php?revista=72&articulo=556>
42. Universidad Nacional de la Pampa, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, AR. 2004. Carbono orgánico en el suelo (en línea). Argentina. Consultado 9 feb 2014. Disponible en <http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/edafologia/practicos/mo-04.htm>

2.10 ANEXOS

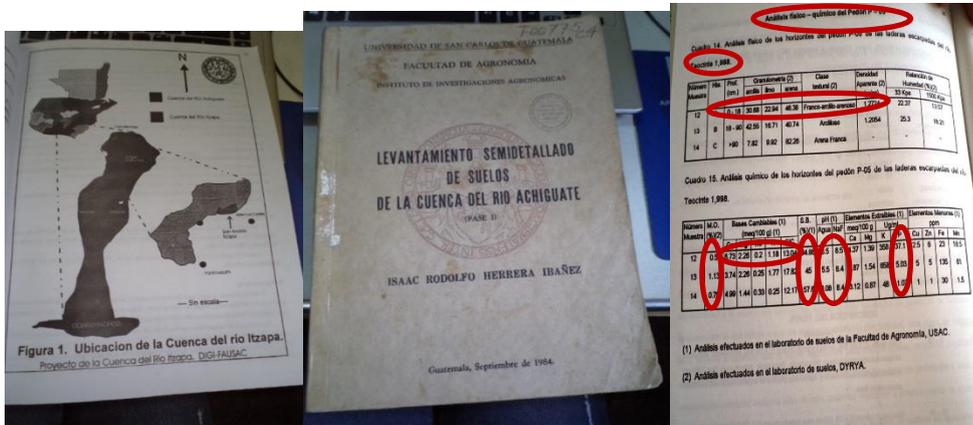
Cuadro 32 Listado de tesis y documentos de instituciones consultados

No	Autor	Año	Título	Municipio
1	IGOR ADOLFO ESTUARDO DE LA ROCA CUELLAR	1995	LEVANTAMIENTO A NIVEL DE SEMIDETALLE DE LOS SUELOS DE LA ALDEA PACUTUN, MUNICIPIO DE SANTA APOLONIA, CHIMALTENANGO ESTUDIO DETALLADO DE LOS SUELOS DE LA MICROCUENCA XEPANIL MUNICIPIO DE SANTA APOLONIA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO	Santa Apolonia
2	JOSE RICARDO GALVEZ VILLATORO	1991	ESTUDIO SEMIDETALLADO DE LOS SUELOS DE LA FINCA "CHUACHILIL", YEPOCAPA, CHIMALTENANGO	Yepocapa
3	JUDITH AZUCENA DEL CID HERRERA	2012	REALIZADO EN LA UNIDAD DE PLANIFICACIÓN GEOGRAFICA Y GESTIÓN DE RIESGO UPGGR-MAGA EN LA, MICROCUENCA DEL RIO PACHOJ, EN LOS MUNICIPIOS DE ACATENANGO Y SAN JUAN COMALAPA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA, C.A.	San Juan Comalapa y Acatenango
4	ISAAC RODOLFO HERRERA IBAÑEZ	1984	LEVANTAMIENTO SEMIDETALLADO DE SUELOS DE LA CUENCA DEL RIO ACHIGUATE	Chimaltenango
5	EDUARDO JAVIER MOREIRA ARANA	2001	CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS AGRICOLAS DE PRODUCCIÓN ORGÁNICA, EN SAN ANDRÉS ITZAPA, CHIMALTENANGO	San Andrés Itzapa
6	UPGGR-MAGA	2010	LEVANTAMIENTO SEMIDETALLADO DE LOS SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO	Chimaltenango
7	ELKA MANOLA MARTINEZ LIRA	1998	SERVICIOS PRESTADOS EN LAS ALDEAS DE XEABAJ Y XEPANIL DEL MUNICIPIO DE SANTA APOLONIA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO	Santa Apolonia
8	LUIS EDUARDO GUZMAN IRUNGARAY	1981	ESTUDIO A NIVEL DE SEMI-DETALLE DE LOS SUELOS DEL MUNICIPIO DE PARRAMOS	Parramos
9	MIGUEL ANGEL CARDON GUERRA	1995	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA PENDIENTE DEL TERRENO, EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO EN LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO, FASE I	Chimaltenango

Anexo 3 Total de documentos utilizados en el departamento de Chimaltenango



Anexo 4 Fase de Gabinete: Búsqueda de información secundaria



Anexo 5 Ejemplo información colectada y digitalizada



Anexo 6 Proceso de georeferenciación de imágenes con puntos de muestreo



Anexo 7 Visita a instituciones y recorrido de campo en el departamento de Chimaltenango



Anexo 8 Proceso de levantamiento edafológico

2.11 APÉNDICE

2.11.1 Glosario

Materia Orgánica. Se define en los términos siguientes: “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”. (Soil Science Society of America 1995)

Carbono orgánico del suelo. Se denomina Carbono Orgánico Total (TOC, siglas en inglés) al carbón que forma parte de las sustancias orgánicas. Actualmente existen muchas sustancias naturales y artificiales que contribuyen a incrementar los niveles de TOC en el ambiente, no obstante, esta sustancia puede ser descompuesta por microorganismos, durante el proceso de consumo de oxígeno.

Geo estadística. Comprende a un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio o en el tiempo de una forma continua. Debido a su aplicación orientada a los SIG, también se podría definir como la estadística relacionada con los datos geográficos, de ahí que se le conozca además como estadística espacial. Giraldo, R. 2006.

SIG. Un Sistema de Información Geográfica (también conocido con los acrónimos SIG en español o GIS en inglés) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, [hardware](#), [software](#), procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz (Bolstad, P. 2005)

KRIGING: Método de interpolación espacial utilizado para la construcción de superficies tridimensionales a partir de nubes irregulares de puntos. Kriging es un método geoestadístico sofisticado que se basa en la premisa de que la variación espacial del fenómeno representado por los valores Z de la serie es estadísticamente homogénea a lo largo de la superficie. Su formulación matemática aplica un algoritmo

de mínimos cuadrados utilizando variogramas como funciones de ponderación. (Ortíz, G. 2012)

CO-KRIGING, COKRIGING: Variación del método de interpolación Kriging que intenta corregir la falta de datos fuente con una segunda serie de datos condicionantes (co-variate data). (Ortíz, G. 2012)

2.11.2 Descripción del perfil en la fase de campo**Descripción del Pedón**

Ubicación: a 5 metros de la cancha de basquetbol, bajando por los invernaderos.

Fecha de observación: 19 marzo 2013

Reconocedor: Erick Alexander Rodríguez

Posición Fisiográfica: Terraza

Coordenadas Geográficas: N 90.920396 W14.694483

Pendiente: 12% NW

Altitud: 2,100 m.s.n.m.

Vegetación: Bosque Mixto (Pino-Encino)

Pedregosidad: Ninguna

Régimen de Humedad: Údico

Régimen de Temperatura: Isomésico

Salinidad: Ninguna

Material Originario: Piroclástico no consolidado (Tefras).

Erosión: Eólica débil.

Drenaje: Bien drenado

Microtopografía: sin evidencias

Humedad del suelo: Húmedo

Clasificación preliminar: Inceptic Haprendolls

Cuadro 33 Descripción del perfil

Hte.	Prof. –Cm-	Características
A	1-11.5	Negro (10 YR 2/1) húmedo; franco arenoso, estructura granular, fino a medio, débiles; ligeramente duro en seco, friable en húmedo, ligeramente adherente y no plástico en mojado; pocos poros finos; raíces comunes; limite granular e irregular.
BA	11.5-40.1	Pardo grisáceo (10 YR 5/2) seco; gris muy oscuro (10 YR 3/1) húmedo; franco arenoso, estructura granular, fina, débiles; ligeramente duro en seco, friable en húmedo, ligeramente adherente y no plástico en mojado; pocos poros finos; pocas raíces finas; limite difuso y ondulado.
CB	40.1-76.3	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) seco; pardo grisáceo (10 YR 5/2) húmedo; franco arenoso, estructura granular, fina, débiles; suave en seco, friable en húmedo, ligeramente adherente y no plástico en mojado; pocos poros finos; pocas raíces finas; limite difuso e irregular.
C	76.3-103	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) seco; pardo muy oscuro (10 YR 2/2) húmedo; franco arenoso, estructura migajosa, fina, débiles; ligeramente duro en seco, muy friable en húmedo, ligeramente adherente y no plástico en mojado; pocos poros finos; muy pocas raíces finas; limite difuso e irregular.

Análisis químico

Cuadro 34 Análisis químico de suelo de Santa Cruz Balanyá

HORIZONTE	pH		Ppm					Meq /100 gr					%	
	H ₂ O	NaF	P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	M.O.
Rango Adecuado	6-6.5	---	12-16	2-4	4-6	10-15	10- 15	20-25	4-8	1.5-2	---	0.27- 0.38	75-90	4-5
A	6.4	9.2	0.51	0.50	1.50	27.50	7.00	21.74	9.73	3.41	0.09	1.13	66.05	4.41
BA	6.3	9.2	3.65	3.0	1.50	43.00	4.00	18.26	6.74	3.08	0.07	1.21	60.76	1.75
CB	6.0	8.7	17.91	3.0	1.00	35.00	1.50	13.48	5.74	2.72	0.14	0.46	68.69	1.41
C	6.1	8.7	4.67	3.0	1.00	22.50	0.50	19.57	7.24	4.24	0.20	0.56	62.53	1.50

Análisis físico

Cuadro 35 Análisis físico de suelo estudiado en Santa Cruz Balanyá.

Identificación	Da gr/cc	%			Clase Textural
		Arcilla	Limo	Arena	
A	1.65	0.50	1.50	27.50	Franco Arenoso
BA	1.45	3.0	1.50	43.00	Franco Arenoso
CB	1.38	3.0	1.00	35.00	Franco Arenoso
C	--	3.0	1.00	22.50	Franco Arenoso

PROCESO DE CLASIFICACIÓN

Cuadro 36 Clasificación taxonómica del suelo estudiado en Santa Cruz Balanyá.

USDA 2006	Epipedón	Molico
	Endopedón	Cámbico
	Régimen de humedad	Udico
	Régimen de temperatura	Isomésico
	Orden	Mollisol
	Suborden	Rendolls
	Gran Grupo	Haprendolls
	Sub Grupo	IncepticHaprendolls
WRB	Grupo	Andosoles
	Calificador Grupo I	Mólico
	Calificador Grupo II	Endoarenico



3 CAPÍTULO III INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS

3.1. PRESENTACIÓN GENERAL DE LOS SERVICIOS REALIZADOS

Existe una gran cantidad de información proveniente al estudio de los suelos en el departamento de Chimaltenango, procedente de levantamientos edafológicos, estudios de fertilidad, tesis, consultorías privadas, estudios municipales, instituciones gubernamentales, entre otros, la cual no ha sido objeto de sistematización, teniendo un alto potencial como departamento para ser producto de futuros estudios edafológicos al organizar la base de datos de los análisis físico-químicos de laboratorios de suelos, predecir realizar proyecciones sobre el comportamiento futuro de las propiedades físico-químicas del suelo, capacidad de uso de las tierras, ordenamiento territorial y propiciar un manejo sostenible de los recursos naturales principalmente del recurso suelo.

Dentro de los servicios realizados se obtuvieron dos los cuales fueron: la preparación y organización de base de datos espaciales referentes a estudios de suelos en el departamento Chimaltenango, el cual consistió en sistematizar la base de datos de los estudios edafológicos consultados en la realización del presente servicio. Se obtuvo un total de registros de 1085 celdas, conteniendo 313 puntos correspondientes a muestreos superficiales y calicatas, con 36 variables recolectadas.

Y el segundo servicio consistió en el apoyo del curso de Mapeo y clasificación de suelos en el primer semestre del año 2013, para lo cual se programaron charlas de introducción al trabajo especial de laboratorio, gabinete inicial y acompañamientos a las visitas de campo, para orientar, ayudar, familiarizar y resolver dudas a los estudiantes del curso antes mencionado en la realización del trabajo especial que se les solicita. Dentro de las actividades realizadas se pueden mencionar: (i) la realización de una presentación en clase acerca de la metodología a emplear; (ii) el acompañamiento a realizar fase de campo; y (iii) el acompañamiento al grupo a gira de campo.

3.2.SERVICIO 1. PREPARACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE BASE DE DATOS ESPACIALES REFERENTES A ESTUDIOS DE SUELOS EN EL DEPARTAMENTO CHIMALTENANGO

3.2.1. OBJETIVOS

3.2.1.1. Objetivo General:

- 3.2.1.1.1. Sistematizar la base de datos de información física y química de suelos en el departamento de Chimaltenango

3.2.2. Objetivos Específicos

- 3.2.2.1.1. Recolectar información de resultados de análisis físico-químicos de suelos a partir de estudios realizados por instituciones relacionadas al manejo de suelos en el departamento en estudio.
- 3.2.2.1.2. Organizar los datos procedentes de registros históricos.
- 3.2.2.1.3. Completar los datos faltantes de las características históricas ingresadas en materia de suelos.

3.2.3. METODOLOGÍA

Para la realización de la sistematización de la información en la base de datos espaciales referentes a estudios de suelos en el departamento Chimaltenango se siguieron las siguientes etapas:

Primera Fase de Gabinete:

- Consistió en la búsqueda de información secundaria, producto de estudios localizados dentro del departamento de Chimaltenango, documentos como: tesis de licenciatura y maestría, consultorías, proyectos, programas de fertilizaciones, diagnósticos, caracterizaciones, estudios de capacidad de uso de la tierra, principalmente en bibliotecas: Biblioteca central Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Documentación e Información Agrícola (CEDIA), bibliotecas municipales.
- Elaboración de listados de instituciones que trabajan en el campo agrícola, forestal y ambiental.

Fase de Campo:

Consistió en:

- Visitas de campo a instituciones previamente seleccionadas en el departamento bajo estudio.
 - Colecta de información mediante fotocopias de los documentos edafológicos que tuvieran resultados de análisis de laboratorio de suelos, escáner y fotografías de los mismos.
-
- **Primera Fase de Gabinete:**
 - Ingreso de información a la base de datos: Se ingresó la información recolectada en las visitas en campo realizadas a las 14 instituciones, llenando 36 campos de características físicas y químicas de los suelos.

- Sistematización de la información recolectada: Este paso consistió en la clasificación de la información, completando campos faltantes con la ayuda de los sistemas de información geográfica.

3.2.4. RESULTADOS

Mediante los pasos realizados en la metodología del presente servicio se obtuvieron los siguientes resultados:

Producto de la búsqueda de información secundaria se localizaron 321 puntos de muestreo de suelos dentro del departamento de Chimaltenango como se muestra en el cuadro 36, localizados en 9 documentos edafológicos que se mencionan más adelante.

Cuadro 37 Total de puntos de muestreo en el departamento de Chimaltenango

Departamento de Chimaltenango	
Muestreros de fertilidad	61
Calicatas	260
Total	321

Los puntos localizados se encuentran representados por muestreos superficiales que se realizan principalmente para fines de fertilidad de suelos, los cuales no superan los 30 cm de profundidad. Así mismo las calicatas corresponden a perfiles edafológicos, que describen las características litológicas de los suelos, con profundidad y horizontes variables, la mayoría sobrepasan el metro y medio de profundidad.

Las instituciones visitadas fueron las siguientes:

8. MAGA
9. IGN
10. Biblioteca central USAC
11. CEDIA FAUSAC
12. Laboratorio de suelos Salvador Castillo FAUSAC
13. INAB
14. Municipalidades del departamento de Chimaltenango
15. CONAP
16. Asociación de productores forestales de Chimaltenango (APROFORCHI)

Mediante la visita a instituciones se logró ubicar 13 documentos conteniendo 334 puntos distribuidos en todo el departamento de Chimaltenango.

Se sistematizó la información ingresando punto por punto con la cantidad de horizontes que presentaba, ingresando 36 variables las cuales se mencionan a continuación:

Departamento	% Arcilla	Fuente
Codigo	% Limo	Autor
Municipio	% Arena	Año
Aldea	Clase Textural	Fecha de observación
Ubicación Geografica	D A (g/cm)	Metodo de extracción elementos
Latitud	D R (g/cm)	
X	% C O	
Longitud	% M. O.	
Y	pH H2O	
Referencia	pH NaF 60'	
Altitud	CIC	
Pp	Ca	
T°	Mg	
HR°	Na	
Clasificación Taxonomica	K	
Prof (cm)	P	
Horizonte	% Sat Bases	

Dentro de las variables que se buscaron dentro de los documentos se mencionan las características físicas y químicas de los suelos en el departamento de Chimaltenango, las cuales fueron producto de análisis de laboratorio realizadas a muestras de suelos.

Las características ingresadas servirán para futuros estudios predictivos que se realicen en el departamento en estudio, así como para realizar análisis de fertilidad, capacidad de uso, manejo del recurso suelo, agua y bosque dentro de otros.

En total se obtuvieron 1085 celdas conteniendo la información recolectada en la fase inicial del presente servicio, información física y química de suelos, la forma de la hoja electrónica se presenta a continuación, en donde se muestra parte de la hoja electrónica utilizada para ingresar las características físicas y químicas.

Dentro de las características físicas que se completaron debido a la ausencia de esta en los libros consultados fueron las siguientes:

- ✓ Precipitación
- ✓ Altitud
- ✓ Temperatura
- ✓ Municipio

✓ Centro poblado (Aldea, caserío, cantón)

Las cuales se obtuvieron de manera digital mediante el uso de los sistemas de información geográfica, con el uso de la base de datos geográfica del departamento de SIG, del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (MAGA, 2006)

Este proceso se realizó mediante la utilización de las siguientes capas:

Variable	Capa utilizada
Precipitación	Raster del país de precipitación pluvial promedio anual
Altitud	Modelo de elevación digital (20 m)
Temperatura	Raster del país de temperatura promedio °C anual R
Municipio	Capa de municipios del país por departamentos año 2006
Centro poblado (Aldea, caserío, cantón)	Capa de centros poblados año 2006

Utilizando un programa informático de análisis geográfico se logró completar los datos faltantes, utilizando la herramienta de Spatialjoin, extrayendo la información de las capas a cada punto de observación.

A continuación se presenta el listado de documentos utilizados en el presente servicio, en donde se indica el año de publicación del documento así como el título y el municipio de estudio.

Cuadro 38 Base de documentos utilizados

No	Autor	Año	Título	Municipio
1	IGOR ADOLFO ESTUARDO DE LA ROCA CUELLAR	1995	LEVANTAMIENTO A NIVEL DE SEMIDETALLE DE LOS SUELOS DE LA ALDEA PACUTUN, MUNICIPIO DE SANTA APOLONIA, CHIMALTENANGO ESTUDIO DETALLADO DE LOS SUELOS DE LA MICROCUENCA XEPANIL MUNICIPIO DE SANTA APOLONIA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO	Santa Apolonia
2	JOSE RICARDO GALVEZ VILLATORO	1991	ESTUDIO SEMIDETALLADO DE LOS SUELOS DE LA FINCA "CHUACHILIL", YEPOCAPA, CHIMALTENANGO	Yepocapa
3	JUDITH AZUCENA DEL CID HERRERA	2012	REALIZADO EN LA UNIDAD DE PLANIFICACIÓN GEOGRAFICA Y GESTIÓN DE RIESGO UPGGR-MAGA EN LA, MICROCUENCA DEL RIO PACHOJ, EN LOS MUNICIPIOS DE ACATENANGO Y SAN JUAN COMALAPA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA, C.A.	San Juan Comalapa y Acatenango
4	ISAAC RODOLFO HERRERA IBAÑEZ	1984	LEVANTAMIENTO SEMIDETALLADO DE SUELOS DE LA CUENCA DEL RIO ACHIGUATE	Chimaltenango
5	EDUARDO JAVIER MOREIRA ARANA	2001	CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS AGRICOLAS DE PRODUCCIÓN ORGÁNICA, EN SAN ANDRÉS ITZAPA, CHIMALTENANGO	San Andrés Itzapa
6	UPGGR-MAGA	2010	LEVANTAMIENTO SEMIDETALLADO DE LOS SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO	Chimaltenango
7	ELKA MANOLA MARTINEZ LIRA	1998	SERVICIOS PRESTADOS EN LAS ALDEAS DE XEABAJ Y XEPANIL DEL MUNICIPIO DE SANTA APOLONIA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO	Santa Apolonia
8	LUIS EDUARDO GUZMAN IRUNGARAY	1981	ESTUDIO A NIVEL DE SEMI-DETALLE DE LOS SUELOS DEL MUNICIPIO DE PARRAMOS	Parramos
9	MIGUEL ANGEL CARDON GUERRA	1995	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA PENDIENTE DEL TERRENO, EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO EN LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO, FASE I	Chimaltenango

3.2.5 CONCLUSIONES

- 3.2.5.1 Se logró la sistematización de la base de datos de la información referente a estudios de suelos en el departamento de Chimaltenango, localizando, ingresando, analizando y geo referenciando los 334 puntos, conteniendo información superficial así como correspondiente a perfiles edafológicos.
- 3.2.5.2 La hoja electrónica que contiene la información edáfica recabada en el presente servicio realizado se organizó en 1085 celdas contenidas en 36 variables recolectadas.
- 3.2.5.3 Las características faltantes principalmente de carácter biofísico se completaron mediante el uso de los sistemas de información geográfica, con bases de datos existentes las cuales fueron: precipitación pluvial, temperatura, altitud, municipio, aldea o centro poblado.

3.2.6 BIBLIOGRAFIA

1. Alegsa, L. 2009. Sistematización: Información sobre sistematización (en línea). Santa Fe, Argentina. Consultado 11 mar 2014. Disponible en: <http://www.alegsa.com.ar/Dic/sistematizacion.php>
2. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2006. Mapas temáticos de la república de Guatemala a escala 1:250,000. Guatemala. 1 CD.
3. _____.2010. Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Chimaltenango, Guatemala. Guatemala. v. 1, 969 p.

3.3 SERVICIO 2. Apoyo al curso de Mapeo y Clasificación de suelos primer semestre 2013

3.3.1 INTRODUCCIÓN

El mapeo digital de los suelos consiste en adaptar metodologías convencionales a los métodos digitales e informáticos disponibles en la actualidad, utilizando nuevas herramientas como los sistemas de geoposicionamiento (GPS), computadoras de escritorio (hardware) y programas informáticos especializados (software), con los que se trata de predecir el comportamiento edafológico de las variables en estudio.

En el curso de Mapeo y clasificación de suelos, y más específicamente el laboratorio respectivo, se les solicita a los estudiantes la realización del proceso de cartografía y mapeo digital de suelos, para lo cual se programaron charlas de introducción al trabajo especial de laboratorio, gabinete inicial y acompañamientos a las visitas de campo, para orientar, ayudar, familiarizar y resolver dudas a los estudiantes del curso antes mencionado en la realización del trabajo especial que se les solicita.

Dentro de las actividades realizadas se pueden mencionar: (i) la realización de una presentación en clase acerca de la metodología a emplear; (ii) el acompañamiento a realizar fase de campo; y (iii) el acompañamiento al grupo a gira de campo.

3.3.2 OBJETIVOS

3.3.2.1 *Objetivo General:*

3.3.2.1.1 Apoyar a los estudiantes del curso de Mapeo y Clasificación de Suelos y Tierras del primer semestre de 2013, para que comprendan los temas relacionados con el Mapeo de suelos, conjunto de datos disponibles en la elaboración de mapas temáticos y específicos en el área de cartografía digital de suelos.

3.3.2.2 *Objetivos Específicos*

3.3.2.2.1 Brindar información a los estudiantes para que se familiaricen con el tema mapeo digital de suelos

3.3.2.2.2 Brindar apoyo en campo para que los estudiantes pongan en práctica el mapeo digital de suelos en un municipio asignado

3.3.2.2.3 Resolver dudas de las prácticas desarrolladas en el la realización del trabajo especial de campo.

3.3.2.2.4 Brindar atención a los estudiantes de laboratorio de Mapeo y Clasificación de Suelos y Tierras del primer semestre del año 2013.

3.3.3 METODOLOGÍA

Para la realización del presente servicio se llevaron a cabo los pasos que se mencionan a continuación

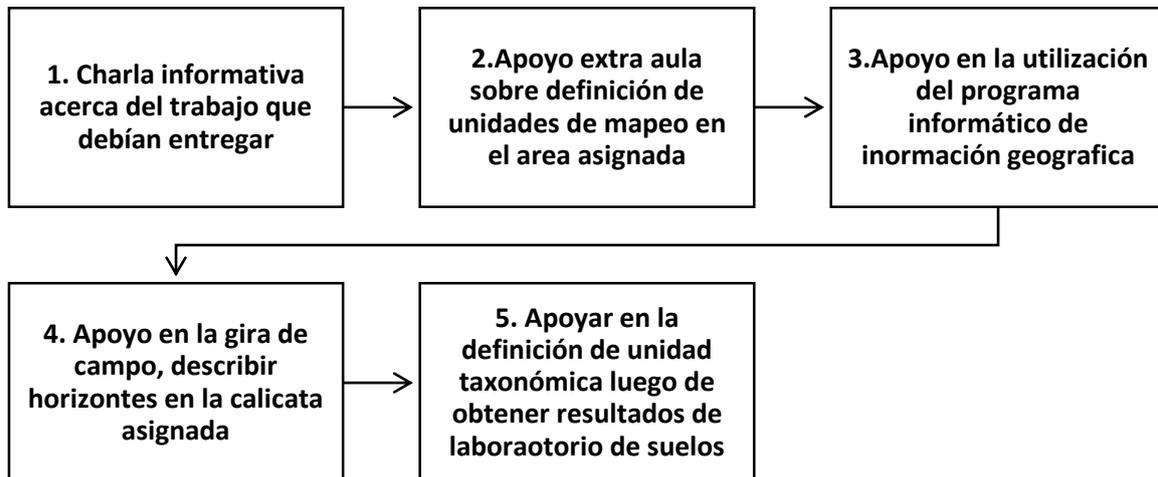


Figura 40 Pasos metodológicos para la realización del servicio dos

3.3.4 RESULTADOS

- 1) Se realizó una presentación el día 12 de febrero de 2013, en el salón 3-16 edificio T-9, Agronomía, con un total de 21 estudiantes, en donde se les indicó las especificaciones necesarias para que los estudiantes se familiarizarán con el tema de la cartografía digital de suelos, la información que contenía dicha presentación era específicamente a estudios realizados con anterioridad similares al que los estudiantes debían realizar, uso de sistemas de coordenadas, georreferenciación de imágenes, análisis de resultados de laboratorio.



Figura 41 Grupo de estudiantes recibiendo la charla informativa previa a realizar su trabajo especial en campo

Análisis físico - químico del suelo P-05

Cuadro 14. Análisis físico de los horizontes del perfil P-05 en los suelos de la zona de estudio del C. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura (%)			Clase textural (2)	Porcentaje de arena (3)	Porcentaje de limo (4)	Porcentaje de arcilla (5)	Capacidad de campo (6)	Retención de agua (7)
		arenosa	limosa	arcillosa						
12	0-10	50.50	22.50	27.00	Plano a medio arenoso	50.50	22.50	27.00	15.00	10.00
13	10-30	42.00	18.75	39.25	arenoso	42.00	18.75	39.25	12.00	8.00
14	30-60	7.00	9.00	84.00	Arma franca	7.00	9.00	84.00	5.00	3.00

Cuadro 15. Análisis químico de los horizontes del perfil P-05 de los suelos de la zona de estudio del C. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Horizonte	Profundidad (cm)	Nitrógeno (1)		Fósforo (2)	Potasio (3)		pH (4)	Capacidad de campo (5)	Retención de agua (6)
		total	orgánico		total	disponible			
12	0-10	0.15	0.05	1.50	5.50	1.50	5.50	15.00	10.00
13	10-30	0.12	0.04	1.20	5.00	1.20	5.00	12.00	8.00
14	30-60	0.08	0.03	0.80	4.00	0.80	4.00	8.00	6.00

(1) Análisis efectuados en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía, USAC.
(2) Análisis efectuados en el laboratorio de suelos, CYRYA.



Figura 42 Ejemplo de la información proporcionada a los estudiantes

- 2) A cada estudiante se le asignó un área específica (municipio), para realizar el trabajo de campo que consistía en la realización de un levantamiento edafológico en el área de estudio, únicamente con dos calicatas.



El trabajo debía realizarse de manera individual, por lo que se les asignó un municipio a cada estudiante, comprendidos en los siguientes departamentos: Guatemala, Sacatepéquez, Sololá, Escuintla y Chimaltenango.

3) Apoyo en los siguientes aspectos: Estudio del

perfil, definir horizontes en campo, extraer muestras y llevarlas al laboratorio de suelos de la facultad para su análisis, elaborar un documento integrado con las características del suelo de cada calicata, así mismo determinar factores y procesos de formación de suelos.



Figura 43 Apoyo en campo a estudiantes en la realización de calicatas en el municipio asignado

El apoyo a estudiantes en campo se realizó en los siguientes municipios: Jocotenango, Sacatepéquez, Magdalena Milpas Altas, Sacatepéquez, San José del Golfo, Guatemala, San Pedro la Laguna, Sololá.

- 4) Apoyo en la gira de campo realizada en distintos lugares del país iniciando en San Lucas Sacatepéquez, luego departamento de Escuintla, Taxisco Santa Rosa y finalizando con la elaboración de calicatas por grupo de trabajo en la Finca Sabana grande esto realizado el día 4 de Mayo de 2013, junto con el Ing. Hugo Tobías encargado del curso.



Figura 44 Apoyo en las giras de campo

3.3.5 CONCLUSIONES

- 3.3.5.1 Se apoyó el curso de mapeo y clasificación de suelos, en el primer semestre en el año 2013, atendiendo a un total de 25 estudiantes del curso en aspectos introductorios al manejo del mapeo digital de suelos,
- 3.3.5.2 Se resolvieron dudas acerca del uso de un programa de Información Geográfica para la realización del trabajo especial en un municipio asignado en los departamentos de: Chimaltenango, Escuintla, Guatemala, Sacatepéquez y Sololá.
- 3.3.5.3 Se brindó apoyo extra aula a los estudiantes del curso de Mapeo y Clasificación de Suelos, en el salón 3-13 de la Unidad de Sistemas de Información Geográfica, ubicado en el tercer nivel del edificio T-9, en aspectos de uso y manejo del software geoestadístico ArcGis 10.0

3.3.6 BIBLIOGRAFÍA

- 1) Duchaufour, PH. 1987. Manual de edafología. Barcelona, España, Toray-Masson. 476 p.
- 2) ESRI, US. 1996. ArcGis the geographic information system for everyone (version en Español). US. 250 p.
- 3) Giraldo, R. 2006. Introducción a la geoestadística, teoría y aplicación. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Estadística. 97 p.