

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Agronomía  
Área Integrada



Trabajo de graduación

Identificación de los principales factores que limitan la sostenibilidad del suelo con fines de producción agrícola en el departamento de Escuintla, Guatemala, C. A.

Oscar Daniel Bonilla Reyna

Guatemala, noviembre de 2016







Universidad de San Carlos de Guatemala  
Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales  
Facultad de Agronomía  
Área Integrada

Trabajo de Graduación

Identificación de los principales factores que limitan la sostenibilidad del suelo con fines de producción agrícola en el departamento de Escuintla, Guatemala, C. A.

Presentado a la honorable Junta Directiva de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Por

Oscar Daniel Bonilla Reyna

En el acto de investidura como

Ingeniero Agrónomo

en

Sistemas de Producción Agrícola

En el Grado Académico de

Licenciado

Guatemala, noviembre de 2016



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Agronomía

Rector

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

Junta Directiva de la Facultad de Agronomía

Decano	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
Vocal primero	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
Vocal segundo	Ing. Agr. M. A. Cesar Linneo García Contrera
Vocal tercero	Ing. Agr. M. Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
Vocal cuarto	Br. Ind. Milton Juan José Caná Aguilar
Vocal quinto	P. Agr. Cristian Alexander Méndez López
Secretario	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, noviembre 2016





Guatemala, noviembre de 2016

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 “Identificación de los principales factores que limitan la sostenibilidad del suelo con fines de producción agrícola en el departamento de Escuintla, Guatemala, C. A.”, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

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

Atentamente,

“Id y enseñad a todos”

Oscar Daniel Bonilla Reyna



## Acto que dedico

A Dios

Por permitirme alcanzar este grado académico y darme vida para poder estar aquí presente

A mi madre

Isabel Reyna, por ser guía, amiga, consejera y por el amor que todo hijo necesita para poder salir adelante en este mundo efímero

A mis Hermanos

Lesly, Heydi y Michelle por el amor, apoyo y compañía que hemos vivido, las quiero mas que a mi vida

A todos aquellas personas que he conocido durante mi estadía en la Facultad de Agronomía, gracias por compartir esta parte de mi vida.



Trabajo de graduación que dedico

A

Dios

La República de Guatemala

La Universidad de San Carlos de Guatemala

La Facultad de Agronomía

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Escuela Nacional de Ciencias Comerciales "AMERICA"

Colegio Centro Educacional VIDA

Colegio Liceo Mixto San José



## Agradecimientos

A Dios	Por regalarme este día para culminar esta faceta en mis estudios
A mis asesores	Ing. Agr. Hugo Antonio Tobías, Ing. Agr. Aníbal Sacbaja Galindo, por la asesoría brindada para que este documento se realizara de la mejor manera posible
A mi Madrina	Auditora Heidi Carlotia Bonilla Reyna
Facultad de Agronomía	Por ser la casa de estudios que me permitió desarrollarme como un profesional en el área agrícola
CONCYT-FAUSAC	Por permitirme realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado mediante el Proyecto FODECYT 02-2012

A mis catedráticos

Por compartir sus conocimientos y mediante sus consejos y sabiduría formarme como un profesional

A mis amigos

A los cuales agradezco su amistad y compañía durante estos años que estudie en la Facultad, a todos ellos saben que en lo posible cuentan conmigo



## Tabla de contenido

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Índice de cuadros.....	xi
Índice de figuras.....	xiv
Resumen.....	xix
<b>Capítulo I: Diagnóstico de los principales laboratorios que realizan análisis de suelos con la finalidad de clasificar suelos y tierras en Guatemala</b>	
1.1 Presentación.....	3
1.2 Marco referencial.....	5
1.2.1 Antecedentes de la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos -UVIGER-.....	5
1.2.2 Ubicación geográfica de la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos –UVIGER-.....	6
A Unidad de Sistemas de Información Geográfica -USIG-.....	7
B Situación actual del laboratorio Sistemas de Información Geográfica –SIG- dentro de la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos -UVIGER-.....	8
a Ubicación de los laboratorios de suelo bajo estudio en el presente diagnóstico.....	8
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 General.....	10
A Específicos.....	10
1.4 Metodología.....	11
1.4.1 Fase I: Identificación de los laboratorios de suelos.....	11

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1.4.2 Fase II: Preparación de un cuestionario para entrevistar a los encargados de los laboratorios de suelos.....	12
1.4.3 Fase III: Vaciado de datos y análisis de la información recabada.....	13
1.5 Resultados.....	15
1.5.1 Instituciones que cuentan con laboratorio de suelo en Guatemala.....	15
1.5.2 Naturaleza de la institución que dirigen al laboratorio de suelo.....	16
1.5.3 Análisis físico de suelos .....	16
A Análisis de granulometría .....	17
B Densidad aparente .....	18
C Densidad real .....	18
D Retención de humedad .....	19
E Color del suelo .....	20
F Estructura del suelo.....	21
G Coeficiente de extensibilidad lineal (COLE) ó CEL .....	22
H Análisis mineralógicos del suelo.....	23
I Análisis micromorfológico del suelo.....	25
J Análisis de pH en el suelo .....	26
K Análisis del Carbono Orgánico .....	28
L Presencia de Carbonatos utilizando HCl .....	29
M Capacidad de Intercambio Catiónico.....	31
N Análisis de las bases intercambiables.....	33
O Análisis de la fijación de fosfatos en el suelo .....	34
P Análisis del Hierro, Aluminio (activo) y Silicio .....	35
Q Análisis del índice Melánico .....	36

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1.5.4 Determinaciones realizadas por cada laboratorio según el tipo de institución que pertenecen.....	37
1.6 Discusión de resultados .....	39
1.7 Conclusiones .....	41
1.8 Recomendaciones .....	42
1.9 Bibliografía .....	43
1.10 Anexo.....	45
1.10.1 Cuestionario utilizado durante las entrevistas a los representantes de los laboratorios de Análisis de Suelos .....	45

**Capítulo II: Identificación de los principales factores que limitan la sostenibilidad del suelo con fines de producción agrícola en el departamento de Escuintla, Guatemala, C. A.**

2.1 Introducción .....	57
2.2 Marco teórico .....	59
2.2.1 Marco conceptual .....	59
A Factores limitantes para la producción agrícola .....	59
a Factores limitantes por el entorno geográfico.....	59
b Factores limitantes del suelo .....	60
B Macro nutrientes primarios .....	71
C Macro nutrientes secundarios.....	71
D Absorción de nutrientes en su forma química.....	72
E Movimiento de los nutrientes en el suelo.....	72
2.2.2 Marco referencial.....	73
A Ubicación política del departamento de Escuintla .....	73

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
B Descripción biofísica .....	74
a División política .....	74
b Geología.....	75
c Características climáticas.....	77
d Suelos .....	81
e Uso de la tierra .....	83
f Pendiente .....	84
g Cuencas hidrográficas.....	85
C Características socioeconómicas .....	87
a Población.....	87
b Escolaridad.....	88
c Población económicamente activa .....	89
d Pobreza .....	90
D Características culturales .....	91
a Etnicidad de la población de Escuintla .....	91
b Origen del nombre del departamento.....	91
c Religión .....	91
2.3 Hipótesis.....	92
2.4 Objetivos.....	92
2.4.1 General .....	92
2.4.2 Específicos.....	92
2.5 Metodología.....	93
2.5.1 Identificación de las fuentes de información.....	93
2.5.2 Ubicación de los documentos con análisis de suelos.....	93

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
2.5.3 Colecta de datos de los registros consultados .....	93
2.5.4 Encuesta a técnicos de campo .....	94
2.5.5 Análisis descriptivo del cuestionario .....	94
2.5.6 Análisis descriptivo de los datos de factores físicos y químicos colectados ...	94
2.5.7 Interpolación lineal de las variables estudiadas.....	95
2.6 Resultados y discusión .....	96
2.6.1 Instituciones visitadas para coleccionar datos sobre análisis físico y químico de los suelos de Escuintla .....	96
2.6.2 Potencial de hidrógeno (pH) .....	97
A Ubicación espacial de los registros del potencial de hidrógeno.....	97
B Descripción estadística de la variable potencial de hidrógeno .....	97
C Normalidad de los datos observados del potencial de hidrógeno.....	99
D Información de la consulta a expertos sobre el potencial de hidrógeno .....	100
E Acidez extrema a moderada.....	101
F Acidez muy débil a neutra.....	103
G Alcalinidad muy débil a fuerte .....	103
H Alcalinidad fuerte a muy fuerte .....	104
I Análisis geoestadístico de la acidez del suelo .....	105
2.6.3 Materia orgánica (M.O.).....	107
A Ubicación espacial de los registros de materia orgánica .....	107
B Normalidad de los datos observados de materia orgánica .....	110
C Información de la consulta a expertos sobre la materia orgánica .....	110
D Materia orgánica categorizada como baja a ligeramente baja.....	111
E Materia orgánica categorizada como contenido medio en los suelos.....	113
F Materia orgánica categorizada como alto contenido en el suelo .....	114

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
G Análisis geoestadístico de la materia orgánica del suelo .....	115
2.6.4 Capacidad de Intercambio catiónico (CIC) .....	117
A Distribución espacial de registros obtenidos con datos de capacidad de intercambio catiónico .....	117
B Análisis estadístico de la variable capacidad de intercambio catiónico .....	117
C Normalidad de los datos observados de capacidad de intercambio catiónico (CIC) .....	120
D Capacidad de intercambio catiónico con una categoría muy baja.....	121
E Capacidad de intercambio catiónico con un categoría baja .....	122
F Capacidad de intercambio catiónico con una categoría ligeramente baja ....	123
G Capacidad de intercambio catiónico con una categoría buena .....	124
H Análisis geoestadístico de la capacidad de intercambio catiónico del suelo .....	125
2.6.5 Calcio .....	127
A Distribución espacial de registros obtenidos con datos de calcio.....	127
B Análisis estadístico de la variable calcio .....	128
C Normalidad de la variable calcio observada .....	130
D Bajo contenido de calcio .....	131
E Ligeramente bajo contenido de calcio .....	131
F Contenido medio de calcio .....	132
G Contenido alto de calcio .....	133
H Análisis geoestadístico del calcio en el suelo.....	134
2.6.6 Magnesio.....	135
A Distribución espacial de los registros capturados de la variable magnesio en el suelo .....	135

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
B Análisis estadístico de la variable magnesio .....	136
C Normalidad de los datos de la variable magnesio .....	139
D Bajo contenido de magnesio .....	139
E Ligeramente bajo contenido de magnesio .....	140
F Contenido de magnesio categorizado como medio .....	141
G Magnesio categorizado como alto .....	141
H Análisis geoestadístico del magnesio en el suelo.....	142
2.6.7 Potasio.....	144
A Distribución espacial de los registros capturados de la variable potasio .....	144
B Análisis Estadístico de la variable potasio .....	144
C Normalidad de los datos de la variable potasio .....	147
D Bajo contenido de potasio .....	148
E Contenido de potasio categorizado como “ligeramente bajo” .....	148
F Potasio categorizado como contenido “medio” .....	149
G Contenido de potasio categorizado como alto .....	150
H Análisis geoestadístico del potasio en el suelo.....	151
2.6.8 Sodio .....	153
A Distribución espacial de los registros colectados de la variable sodio.....	153
B Análisis estadístico de la variable sodio .....	153
C Normalidad de los datos de la variable sodio .....	156
D Información de la consulta a expertos sobre el sodio .....	156
E Contenido de sodio categorizado como “bajo” .....	157
F Sodio categorizado como ligeramente bajo .....	158
G Sodio categorizado como contenido medio .....	158

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
H Cantidades de sodio en el suelo categorizado como alto contenido .....	159
I Análisis geoestadístico del sodio en el suelo .....	160
2.6.9 Otra Información de la consulta realizada a expertos sobre la percepción de los suelos del departamento de Escuintla .....	161
A Variables sobre limitantes físicas del suelo .....	161
a Compactación del suelo (limitación para la labranza) .....	161
b Profundidad efectiva limitada .....	162
c Inundaciones del terreno .....	163
d Pedregosidad superficial .....	163
e Pedregosidad interna .....	164
f Pendientes muy fuertes .....	165
g Betas arenosas .....	165
h Suelos muy arenosos .....	166
i Suelos muy arcillosos o estructuras masivas .....	167
j Contaminación por agentes físicos .....	167
k Erosión .....	168
B Variables sobre limitantes químicas de suelo .....	169
a Toxicidad de aluminio .....	169
b Contaminación por agroquímicos .....	169
c Contaminación por otras sustancias químicas .....	170
2.7 Discusión de resultados observados .....	172
2.8 Conclusiones .....	175
2.9 Recomendaciones .....	176
2.10 Bibliografía .....	177
2.11 Anexos .....	180



<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
2.11.1 Glosario .....	180
A Suelo .....	180
B Pedón .....	180
C Horizonte .....	180
D Perfil del suelo .....	180
E Profundidad efectiva del suelo.....	180
F Pendiente.....	180
G Calicata.....	181
2.11.2 Cuestionario utilizado en la encuesta electrónica.....	182

### **Capítulo III: Servicios realizados durante el Ejercicio Profesional Supervisado en el Proyecto de Investigación FODECYT 02-2012**

3.1 Presentación .....	187
3.2 Servicio 1: Creación de plantilla utilizada para vaciar los datos encontrados sobre análisis físicos y químicos de suelo .....	189
3.2.1 Objetivo .....	189
3.2.2 Metodología.....	190
A Consulta con investigadores de la FAUSAC sobre las variables a recopilar.....	190
B Variables adicionales a recopilar .....	190
C Dimensionales de las variables a incluir en la plantilla para crear la base de datos.....	191
D Formato electrónico de la plantilla para crear la base de datos.....	194
3.2.3 Resultados.....	195

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
3.3 Servicio 2: Visita a instituciones para determinar si poseen información sobre análisis físicos y químicos de suelos .....	195
3.3.1 Objetivo .....	196
3.3.2 Metodología.....	196
A Reuniones de trabajo con los investigadores para ubicar instituciones que posean información sobre el suelo .....	196
B Invitación a los altos directivos de las instituciones para presentarles el Proyecto FODECYT 02-2012 .....	197
C Visitas a las instituciones que poseen información sobre suelo .....	197
3.3.3 Resultados .....	198
A Asistencia al taller destinado a la presentación del Proyecto FODECYT 02-2012.....	198
B Visita a instituciones para la colecta de datos .....	198

## Índice de Cuadros

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Cuadro 1. Ubicación física de los laboratorios de suelo diagnosticados .....	9
Cuadro 2. Instituciones visitadas y los responsables de los laboratorios de suelo.....	15
Cuadro 3. Otras soluciones empleadas para medir el pH por los laboratorios en sus análisis .....	27
Cuadro 4. Determinación de carbonatos en el suelo.....	29
Cuadro 5. Tamaño de las partículas texturales en el suelo según la Asociación Internacional de Ciencia del Suelo .....	61
Cuadro 6. Clases texturales del suelo.....	61
Cuadro 7. Acidez y alcalinidad del suelo según Emil Troug.....	67
Cuadro 8. Clasificación de la materia orgánica en el suelo según su contenido en %.....	69
Cuadro 9. División política de los municipios del departamento de Escuintla .....	75
Cuadro 10. Distribución de la geología del departamento de Escuintla .....	76
Cuadro 11. Temperatura promedio anual del departamento de Escuintla .....	78
Cuadro 12. Distribución superficial y porcentual de las zonas de vida presentes en el departamento de Escuintla.....	81
Cuadro 13. Área cubierta por cada uno de los órdenes de suelo en el departamento de Escuintla.....	82
Cuadro 14. Uso de la tierra por la agricultura en el departamento de Escuintla .....	84
Cuadro 15. Porcentaje de pendiente del departamento de Escuintla.....	85
Cuadro 16. Área que ocupa cada cuenca dentro del departamento de Escuintla.....	86
Cuadro 17. Estimación de la población distribuida por municipio dentro del departamento de Escuintla .....	88
Cuadro 18. Índice de escolaridad a nivel nacional .....	89
Cuadro 19. Población económicamente activa a nivel nacional.....	90
Cuadro 20. Posición de la pobreza del departamento de Escuintla a nivel nacional.....	91
Cuadro 21. Listado de instituciones visitadas en las cuales se obtuvo información sobre análisis físico y químico de suelo .....	96

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Cuadro 22. Resultado del análisis exploratorio de la variable potencial de hidrógeno .....	98
Cuadro 23. Frecuencias y porcentajes del potencial de hidrógeno en Escuintla .....	98
Cuadro 24. Prueba de normalidad de los datos de la variable potencial de hidrógeno .....	99
Cuadro 25. Resultado del análisis exploratorio de la variable materia orgánica .....	108
Cuadro 26. Frecuencias y porcentajes de materia orgánica en Escuintla .....	109
Cuadro 27. Prueba de normalidad de los datos de materia orgánica .....	110
Cuadro 28. Resultado del análisis exploratorio de la variable capacidad de intercambio catiónico .....	118
Cuadro 29. Categoría, frecuencias y porcentajes de la variable capacidad de intercambio catiónico .....	119
Cuadro 30. Prueba de normalidad a la variable capacidad de intercambio catiónico .....	120
Cuadro 31. Resultados del análisis exploratorio de la variable calcio .....	128
Cuadro 32. Categoría de los rangos del calcio en el suelo .....	129
Cuadro 33. Rangos de calcio y sus frecuencias en el departamento de Escuintla .....	129
Cuadro 34. Prueba de normalidad a la variable calcio .....	130
Cuadro 35. Resultados del análisis exploratorio de la variable magnesio .....	137
Cuadro 36. Categorías de los rangos de magnesio en el suelo .....	137
Cuadro 37. Rangos y frecuencias de magnesio encontrados en el departamento de Escuintla .....	138
Cuadro 38. Prueba de normalidad de los valores de magnesio .....	139
Cuadro 39. Resumen estadístico exploratorio de la variable potasio .....	145
Cuadro 40. Categorías de los rangos de potasio en el suelo .....	145
Cuadro 41. Rangos y frecuencias de potasio .....	146
Cuadro 42. Prueba de normalidad para la variable potasio .....	147
Cuadro 43. Resumen estadístico exploratorio de la variable sodio .....	154
Cuadro 44. Categorías de los rangos de sodio en el suelo .....	154
Cuadro 45. Rangos y frecuencias de sodio registrados en Escuintla .....	155
Cuadro 46. Prueba de normalidad a los valores de la variable sodio .....	156
Cuadro 47. Variables y sus dimensionales a recopilar en la plantilla para crear la base de datos .....	191

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Cuadro 48. Descripción de la variable recopilada en la base de datos .....	192
Cuadro 49. Instituciones asistentes a la presentación del proyecto FODECYT 02-2012 .....	198
Cuadro 50. Disponibilidad de la información útil para el proyecto: .....	199
Cuadro 51. Coordenadas geográficas con información de suelos obtenidos en las diferentes visitas a instituciones .....	200

## Índice de Figuras

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Ciudad Universitaria Zona 12 de la ciudad de Guatemala.....	6
Figura 2. Edificio UVIGER dentro del Centro Experimental Docente de Agronomía “Domingo Amador” –CEDA- .....	7
Figura 3. Resumen de metodología empleada para realizar el diagnóstico.....	14
Figura 4. Tipo de institución la cual posee laboratorio para el análisis de suelo.....	16
Figura 5. Método empleado por los laboratorios para análisis de granulometría.....	17
Figura 6. Método empleado por los laboratorios para el análisis de la densidad aparente .....	18
Figura 7. Método empleado por los laboratorios para el análisis de la densidad real del suelo .....	19
Figura 8. Método empleado por los laboratorios de suelo para el análisis de retención de humedad .....	20
Figura 9. Laboratorios que determinan el color del suelo mediante el uso de la libreta munsell .....	21
Figura 10. Método empleado para el análisis de la estructura del suelo por CENGICAÑA .....	22
Figura 11. Cantidad de instituciones que realizan el análisis de COLE ó CEL al suelo.....	23
Figura 12. Ausencia del análisis mineralógico en suelo por parte de los laboratorios .....	24
Figura 13. Ausencia de la realización del análisis a nivel micromorfológico en el suelo ....	25
Figura 14. Relación de suelo:agua utilizada por los laboratorios para medir el pH en el suelo .....	27
Figura 15. Método utilizado para realizar el análisis de C.O. por los laboratorios de suelo .....	29
Figura 16. Porcentaje de laboratorios que realizan el análisis de carbonato de calcio en el suelo.....	30
Figura 17. Método utilizado por los laboratorios para determinar el carbonato de calcio en el suelo .....	31

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Figura 18. Porcentaje de laboratorios que realizan el análisis de la CIC en el suelo, así como el método empleado en su detección .....	33
Figura 19. Porcentaje de laboratorios que realizan el análisis de las bases intercambiables .....	34
Figura 20. Método utilizado en el análisis del índice melánico por los laboratorios que lo realizan .....	36
Figura 21. Cantidad de determinaciones realizadas por los diferentes laboratorios de suelo en el país .....	38
Figura 22. Triangulo para determinar la clase textural de un suelo .....	62
Figura 23. Diagrama de disponibilidad de nutrientes según potencial de hidrógeno del suelo (Emil Truog) .....	68
Figura 24. Ubicación geográfica del departamento de Escuintla.....	73
Figura 25. Municipios del departamento de Escuintla .....	74
Figura 26. Geología de Escuintla .....	76
Figura 27. Rango de Precipitación Promedio Anual (mm) .....	77
Figura 28. Mapa de la temperatura anual promedio del departamento de Escuintla .....	79
Figura 29. Zonas de vida del departamento de Escuintla .....	79
Figura 30. Ordenes de suelos del departamento de Escuintla.....	82
Figura 31. Uso de la tierra en el departamento de Escuintla con sus principales cultivos .....	83
Figura 32. Descripción de la pendiente presente en el departamento de Escuintla .....	85
Figura 33. Cuencas del departamento de Escuintla.....	86
Figura 34. Cantidad de hombres y mujeres registrados por el INE en el año 2012. ....	87
Figura 35. Ubicación espacial de los datos de potencial de hidrógeno colectados.....	97
Figura 36. Histograma de la variable potencial de hidrógeno .....	99
Figura 37. Resultado de la encuesta sobre la variable potencial de hidrógeno a expertos que laboran en campo .....	100
Figura 38. Dispersión de los datos de potencial de hidrógeno categorizados como ácidos extremos hacia ácidos moderados. ....	102

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Figura 39. Dispersión de los datos de potencial de hidrógeno categorizados como ácidos débiles hacia neutros. ....	103
Figura 40. Dispersión de los datos de potencial de hidrógeno categorizados como básicos débiles hacia básicos fuertes.....	105
Figura 41. Distribución de la acidez en el suelo del departamento de Escuintla.....	107
Figura 42. Dispersión de los datos de materia orgánica .....	108
Figura 43. Histograma de la variable materia orgánica.....	109
Figura 44. Materia orgánica en el suelo según entrevista a profesionales agrícolas en Escuintla .....	111
Figura 45. Dispersión de los datos de materia orgánica menores o iguales a 1%.....	112
Figura 46. Dispersión de los datos de materia orgánica categorizados como bajo y ligeramente bajo contenido de materia orgánica .....	113
Figura 47. Dispersión de los datos de materia orgánica categorizados como nivel medio contenido en el suelo de Escuintla.....	114
Figura 48..Dispersión de los datos de materia orgánica categorizados como alto en el suelo .....	115
Figura 49. Distribución de la materia orgánica en el suelo del departamento de Escuintla .....	116
Figura 50. Distribución espacial de los datos de capacidad de intercambio catiónico .....	117
Figura 51. Histograma de la variable capacidad de intercambio catiónico.....	120
Figura 52. Dispersión de los datos de capacidad de intercambio catiónico categorizados como muy bajo .....	122
Figura 53. Dispersión de los dato de capacidad de intercambio catiónico categorizados como bajos .....	123
Figura 54. Dispersión de los datos de capacidad de intercambio catiónico categorizados como ligeramente bajo .....	124
Figura 55. Dispersión de los datos de capacidad de intercambio catiónico categorizados como buena.....	125
Figura 56. Distribución de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo del departamento de Escuintla .....	127



<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Figura 57. Dispersión de los datos obtenidos de calcio .....	128
Figura 58. Histograma de la variable calcio.....	130
Figura 59. Dispersión de los datos de calcio categorizados como bajo .....	131
Figura 60. Dispersión de los datos de calcio categorizados como ligeramente bajo.....	132
Figura 61. Dispersión de los datos de calcio categorizados como contenido medio .....	133
Figura 62. Dispersión de los dato de calcio categorizados como alto contenido de calcio.....	133
Figura 63. Distribución del calcio en el suelo del departamento de Escuintla .....	135
Figura 64. Dispersión de los datos obtenidos de magnesio en Escuintla.....	136
Figura 65. Histograma de la variable magnesio .....	138
Figura 66. Dispersión de los datos de magnesio categorizados como bajo .....	140
Figura 67. Dispersión de los datos de magnesio categorizados como ligeramente bajo.....	140
Figura 68. Dispersión de los datos de magnesio categorizados como contenido “medio”.....	141
Figura 69. Dispersión de datos de magnesio categorizados como altos.....	142
Figura 70. Distribución del magnesio en el suelo del departamento de Escuintla.....	143
Figura 71. Dispersión de los datos obtenidos de potasio en Escuintla.....	144
Figura 72. Histograma de la variable potasio .....	147
Figura 73. Dispersión de los datos de potasio categorizados como bajos .....	148
Figura 74. Dispersión de datos de potasio categorizados como ligeramente bajo.....	149
Figura 75. Dispersión de datos de potasio categorizados como “medio” .....	150
Figura 76. Dispersión de datos de potasio categorizados como altos.....	151
Figura 77. Distribución del potasio en el suelo del departamento de Escuintla.....	152
Figura 78. Dispersión de los datos obtenidos de sodio en Escuintla.....	153
Figura 79. Histograma de la variable sodio .....	155
Figura 80. Resultado de la encuesta sobre la variable sodio .....	156
Figura 81. Dispersión de datos de sodio categorizados como bajo .....	157
Figura 82. Dispersión de datos de sodio categorizados como ligeramente bajo.....	158
Figura 83. Dispersión de datos de sodio categorizados como medio .....	159

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Figura 84. Dispersión de dato de sodio categorizados como alto .....	160
Figura 85. Distribución de la concentración de sodio en el suelo del departamento de Escuintla .....	161
Figura 86. Percepción de la compactación de los suelos de Escuintla según expertos ..	162
Figura 87. Percepción de la limitante de profundidad en suelos de Escuintla según expertos.....	162
Figura 88. Percepción de las inundaciones en suelos de Escuintla por los expertos .....	163
Figura 89. Percepción de la pedregosidad por los expertos en los suelos de Escuintla ..	164
Figura 90. Percepción de los expertos sobre la pedregosidad interna de los suelos de Escuintla .....	164
Figura 91. Percepción de los expertos sobre pendientes muy fuertes presentes en los suelos de Escuintla.....	165
Figura 92. Percepción de los expertos sobre presencia de betas arenosas en suelos de Escuintla .....	166
Figura 93. Percepción de los expertos sobre la presencia de suelos muy arenosos en los suelos de Escuintla.....	166
Figura 94. Percepción de suelos muy arcillosos en los suelos de Escuintla por los expertos .....	167
Figura 95. Percepción de contaminantes por agentes ajenos al suelo en los suelos de Escuintla según los expertos .....	168
Figura.96. Percepción de la erosión en los suelos de Escuintla según los expertos entrevistados .....	168
Figura 97. Percepción de los expertos a la limitante sobre la toxicidad de aluminio en suelos de Escuintla .....	169
Figura 98. Percepción de los expertos sobre la contaminación por agroquímicos en los suelos de Escuintla.....	170
Figura 99. Percepción de los expertos consultado sobre la contaminación por otras sustancias químicas en los suelos de Escuintla.....	171
Figura 100A. Cuestionario sobre limitantes físicas del suelo .....	182
Figura 101A. Cuestionario sobre limitantes químicas del suelo.....	183

Identificación de los principales factores que limitan la sostenibilidad del suelo con fines de producción agrícola en el departamento de Escuintla, Guatemala, C. A.

## **Resumen**

El presente trabajo fue ejecutado durante el Ejercicio Profesional Supervisado durante el periodo de febrero a noviembre 2012 realizado sobre la información recabada en las diferentes instituciones públicas y privadas del departamento de Escuintla.

El primer capítulo presenta el diagnóstico llevado a cabo en la República de Guatemala, donde se ubicó a las instituciones públicas y privadas las cuales generan, almacenan o disponían de información de suelos generada mediante los resultados analizados por laboratorios que estudian al suelo a nivel físico y químico.

Mediante la búsqueda virtual y física se identificaron nueve laboratorios de análisis de suelo a nivel nacional, que por su historia, reconocimiento y participación en estudios de suelos fueron incluidos en el presente diagnóstico. Se encontró que en el país existen cuatro laboratorios del tipo privado, tres laboratorios del tipo académicos y dos laboratorios de suelo del tipo público.

Los laboratorios de suelo diagnosticados evidenciaron que estos coinciden en un 59% en las metodologías empleadas para realizar los análisis de las muestras de suelo. Una de la finalidad del diagnóstico fue mostrar la capacidad de estos laboratorios para realizar un estudio a nivel de clasificación taxonómica de suelo, logrando determinar que ninguno de estos ofrece realizar todas las pruebas necesarias para dicho estudio, no contar con el análisis mineralógico y morfológico, la cantidad máxima de análisis que pueden realizarse a nivel nacional es de 21 análisis entre físicos y químicos.

El segundo capítulo trata sobre la “identificación de los principales factores que limitan la sostenibilidad del suelo con fines de producción agrícola en el departamento de Escuintla”, en este se recabaron un total de 640 análisis de suelo con su respectiva ubicación geográfica dentro del departamento, de esto se logro obtener 13,904 datos los cuales

sirvieron para estudiar las variables de potencial de hidrógeno, capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, potasio, sodio y materia orgánica.

Con los datos obtenidos se procedió a realizar mapas digitales de los cuales se obtuvo cuatro categorías de cada una de las variables estudiadas, divididas por rangos establecidos donde se describen los municipios donde estas categorías se encuentran, posterior a esto se procedió a realizar un mapa de interpolación lineal usando el método simple predictivo de Kriging, estos mapas se crearon a una escala de 1:700,000. Se encontró que de los 4,495.57 km<sup>2</sup> el departamento tiene limitantes de potencial de hidrogeno en 1.45%, de materia orgánica en un 0.35%, la capacidad de intercambio catiónico en un 26.55% , con el calcio en un 0.21%, el magnesio con alto contenido en un 57.06% y el potasio con un 0.23% de la superficie terrestre.

También en el Capítulo II se consultó a 16 profesionales de las ciencias agrícolas, sobre la percepción de los suelos del departamento de Escuintla referente a las limitantes químicas y físicas que estos observan es dicho lugar. En las repuestas obtenidas por los profesionales se encontró que observan problemas en los suelos con respecto a la materia orgánica, inundaciones en los terrenos, presencia de betas arenosa, suelos muy arcillosos y contaminación por agroquímicos.

El Capítulo III corresponde a los servicios prestados los cuales fueron dos, el primero consistió en la creación de una plantilla utilizada para vaciar los datos encontrados sobre análisis físicos y químicos de suelo, fue creada utilizando un libro de Microsoft Excel ®, en el cual se almaceno datos de 42 variables, en esta se define el tipo de variable y su respectiva dimensional para poder ser almacenada.

El segundo servicio consistió en visitar a 11 instituciones de las cuales para el departamento de Escuintla dos instituciones son las que aportaron información siendo estas CENGICAÑA y Facultad de Agronomía, con un total de 640 registros obtenidos con su respectiva ubicación geográfica.

## **Capítulo I**

### Informe de diagnóstico

Diagnóstico de los principales laboratorios que realizan análisis de suelos con la finalidad de clasificar suelos y tierras en Guatemala



## 1.1 Presentación

A lo largo de la historia de Guatemala se han logrado realizar estudios de los suelos de este país tal es el caso de la clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de Guatemala realizado por Simmons Ch., Tárano J. M. y Pinto J. H. en el año de 1,959. Posterior a este resalta el estudio realizado por el MAGA en el año 2,000 donde se hace una Aproximación al mapa de Clasificación Taxonómica de suelo del país utilizando una escala de 1:250,000.

La necesidad de información actualizada de suelos en Guatemala ha llevado a la realización de estudios semidetallados a nivel departamental por parte del MAGA, con el fin de generar mapas a una escala de 1:50,000 además de la descripción del suelo. Este trabajo ha sido realizado por 4 diferentes instituciones siendo: CENGICAÑA, ANACAFE, ENCA y el IGAC

El MAGA ha logrado publicar los estudios a un nivel semidetallado de los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez y Sololá en los últimos 3 años, para ello ha utilizado la cantidad de 217 calicatas realizadas en Chimaltenango, 114 calicatas realizadas en Sololá y 78 calicatas realizadas en Sacatepéquez. A cada una de esas 409 calicatas se le realizó su respectivo análisis de suelo químico, físico, micromorfológico y mineralógico en cada uno de los horizontes encontrados ubicados dentro de cada perfil estudiado. En los estudios semidetallados publicados, se indica que cada laboratorio utilizó una diferente metodología para obtener el fósforo contenido en el suelo. (MAGA, 2013, pág. xxix)

Algo que llama la atención de estos estudios semidetallados fue que los análisis micromorfológicos, mineralógicos y algunos análisis químicos se realizaron fuera del país y que ninguna de las muestras de suelo para analizar, se haya enviado al laboratorio de

suelos del MAGA o del ICTA, siendo estos laboratorios de suelo del sector público, lo que supone una falta de capacidad nacional para generar estudios de esta naturaleza.

Por lo indicado anteriormente, el presente diagnóstico buscó establecer el por qué existiendo 9 laboratorios de suelos institucionales a nivel nacional solo 3 laboratorios nacionales fueron utilizados por el MAGA para realizar esta clasificación taxonómica a nivel departamental, también se estableció el por qué la necesidad de enviar muestras de suelo fuera del país específicamente al laboratorio de suelos del IGAC<sup>1</sup> en la República de Colombia para complementar el estudio del suelo.

---

<sup>1</sup> IGAC = Instituto Geográfico Agustín Codazzi



## **1.2 Marco referencial**

### **1.2.1 Antecedentes de la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos -UVIGER-**

El edificio de la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos también conocido como el edificio de la UVIGER por su acrónimo, es el lugar donde actualmente se ubica un espacio para la prestación de servicios al público por parte de los laboratorios técnicos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. (TvAgroMedia, 2013)

La UVIGER es creada por la base legal mediante Acta No. 32-2000, artículo 37 punto décimo del Consejo Superior Universitario, en el cual se aprueba el reglamento para la prestación de servicios educativos, científicos y tecnológicos en la Facultad de Agronomía de la USAC. (fausac uviger, 2012)

Según Mynor Barillas Director actual de la UVIGER, para el año 2014 la UVIGER cuenta con los siguientes laboratorios instalados dentro de la infraestructura del edificio:

1. Laboratorio de Fitopatología
2. Laboratorio de Suelo-Agua-Planta "Salvador Castillo Orellana"
3. Laboratorio de Biotecnología
4. Centro de Inteligencia de Mercados
5. Laboratorio de Entomología

Aún siguen sin tomar posesión de sus respectivas instalaciones dentro del edificio los siguientes laboratorios:

6. Centro de Telemática
7. Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica

## 1.2.2 Ubicación geográfica de la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos -UVIGER-

El edificio de la UVIGER está ubicado dentro del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala de la zona 12 capitalina, según sus coordenadas geográficas este se encuentra en:

	Latitud	Longitud
Norte	14° 34' 59.64"	-90° 33' 11.59"
Este	14° 34' 57.98"	-90° 33' 13.26"
Sur	14° 34' 56.41"	-90° 33' 11.73"
Oeste	14° 34' 57.75"	-90° 33' 10.41"

Cuando se viene del norte se ingresa por el anillo periférico desviándose a la 1ra. Avenida de la colonia el Carmen zona 12 de Guatemala y al venir del sur de la ciudad se ingresa por la 31 calle de la avenida Petapa.



Fuente: [logisticacentroamericano2013.blogspot.com](http://logisticacentroamericano2013.blogspot.com)

Figura 1. Ciudad Universitaria Zona 12 de la ciudad de Guatemala



Fuente: maps.google.com.gt

Figura 2. Edificio UVIGER dentro del Centro Experimental Docente de Agronomía “Domingo Amador” –CEDA-

### **A Unidad de Sistemas de Información Geográfica -USIG-**

La USIG por su acrónimo es una unidad estructural de la FAUSAC, se encuentra adscrita al Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) y su fin es desarrollar el uso del SIG para la generación de conocimiento relacionado a este campo. (FAUSAC, 2007)

La USIG busca apoyar a la investigación y docencia que se lleva a cabo en la FAUSAC, así como prestar servicios al personal docente, estudiantil y usuarios externos así como instituciones que lo soliciten. (FAUSAC, 2007)

Actualmente esta Unidad se encuentra ubicada en el tercer nivel del edificio T-9 de la Facultad de Agronomía dentro del Campus Universitario de la zona 12 de la ciudad de Guatemala.

## **B Situación actual del laboratorio Sistemas de Información Geográfica –SIG- dentro de la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos -UVIGER-**

Cuando se crea la UVIGER se buscó que la USIG prestara servicios públicos para la población y/o todo aquel ente que necesitara del conocimiento de este sistema de información en sus instalaciones pero resulta que durante la gestión de los recursos, para la creación y funcionamiento del laboratorio de SIG no se contemplaron los gastos necesarios para la contratación de nuevo personal para su funcionamiento, así como el mobiliario y equipo acorde a las necesidades.

Aunque destaca la adquisición de 25 nuevas estaciones de trabajo con un aceptable equipamiento de hardware y software, estas sirvieron para modernizar el laboratorio de la USIG ubicada en el edificio T-8 y no fueron destinadas para el laboratorio del SIG de la UVIGER, aunado a esto se tiene la incertidumbre de los fondos que el Gobierno Central debe aportar producto del préstamo otorgado por el BCIE<sup>2</sup> hacia la USAC necesarios para su funcionamiento.

### **a Ubicación de los laboratorios de suelo bajo estudio en el presente diagnóstico**

El presente diagnóstico incluyó en su estudio nueve laboratorios de análisis de suelo los cuales fueron identificados por su historia al ser reconocidos por los edafólogos entrevistados para estudiarlos mediante la preparación del cuestionario electrónico, estos a su vez son reconocidos a nivel nacional por su participación en estudios de suelos, además de brindar servicios públicos de análisis de suelo con fines agropecuarios y forestales, siendo los que se presentan en el cuadro 1:

---

<sup>2</sup> BCEI = Banco Centroamericano de Integración Económica

Cuadro 1. Ubicación física de los laboratorios de suelo diagnosticados

Nombre de la institución	Ubicación física	Teléfono
Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola - ICTA	Oficina central: Km 21.5 carretera hacia el pacífico, Bárcena, Villa Nueva	66297899
Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación - MAGA	Km 22 carretera hacia el pacífico, Bárcena, Villa Nueva	66306017
Asociación Nacional del Café - ANACAFÉ	5ta. Calle 0-50 zona 14 ciudad de Guatemala	23111969
Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar - CENGICAÑA	Finca Camantulul, Km. 92.5 Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla	78281000
Soluciones Analíticas S. A.	14 ave. 19-50 Condado El Naranjo Bodega 23, Ofibodegas San Sebastián Zona 4 de Mixco, Guatemala, Bulevar El Narango, ciudad de Guatemala	24162916
AGROLABORATORIO CERES S.A.	2da. Avenida 5-54 zona 9, ciudad de Guatemala	23326362
Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala – FAUSAC- Laboratorio de suelo-agua-planta “Salvador Castillo Orellana”	Edificio UVIGER, 3er. Nivel. Campus central, Ciudad Universitaria zona 12, ciudad de Guatemala	40087965
Centro Universitario de Oriente -CUNORI	Finca El Zapotillo zona 5, CA 10, Chiquimula, Guatemala	78730300 Extensión 1017
Escuela Nacional de Agricultura - ENCA	Finca Bárcena, Villa Nueva, Guatemala, C. A.	66292125

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 General**

Determinar la capacidad de análisis de los laboratorios de suelo para la clasificación de suelos y tierras en Guatemala.

#### **A Específicos**

- Identificar laboratorios de análisis de suelo con fines agropecuarios que funcionan en la República de Guatemala.
- Establecer los métodos utilizados por los laboratorios en los análisis del suelo.
- Identificar limitaciones que existan para realizar clasificación de suelos en Guatemala.

## **1.4 Metodología**

Para la realización del presente diagnóstico se efectuó las siguientes fases:

### **1.4.1 Fase I: Identificación de los laboratorios de suelos**

En esta fase se trató de identificar profesionales que tienen capacidad y experiencia en el manejo y clasificación de suelos para obtener su opinión sobre los laboratorios que realizan análisis de suelos en Guatemala, logrando identificar nueve laboratorios que en la opinión de los edafólogos entrevistados son los que cuentan con el mínimo de equipo e instalaciones físicas para poder realizar análisis de suelos con aceptable adaptación en los requerimientos de las clasificaciones.

Posteriormente se procedió a la búsqueda vía electrónica de laboratorios de análisis de suelo que contaran con publicidad mediante el uso de internet en la Web para incluirlo en el presente diagnóstico. En esta ocasión se logró identificar al Laboratorio de suelos de la Universidad del Valle de Guatemala del instituto de investigaciones, pero este no cuenta con servicio al público por lo cual no se tomó en cuenta en el presente diagnóstico.

Por último se realizó consulta en entidades especializadas de la República de Guatemala, logrando establecer otros laboratorios de suelos, pero al profundizar en la consulta se logró establecer que estos analizan el suelo como soporte de obras civiles para infraestructura en el país y no para la clasificación del suelo, como ejemplo se cita el Laboratorio de suelos de Pavimentos de Guatemala S. A.

#### **1.4.2 Fase II: Preparación de un cuestionario para entrevistar a los encargados de los laboratorios de suelos**

En esta fase se revisó la metodología utilizada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) en sus recientes estudios semidetallados de suelo con el fin de establecer aquellos análisis físicos, químicos, mineralógicos y micromorfológicos utilizados para realizar sus estudios en los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez y Sololá.

Durante esta revisión se encontró que la base para determinar cuáles análisis de suelo se efectuaron para los estudios realizados a semidetalle, se relaciona al contenido del Manual de Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) presentado en el año 2006 en la República de Colombia, en este manual se describe para que es necesario realizar cada uno de los análisis de suelo los cuales se divide en 4 grupos siendo estos los análisis físicos, químicos, micromorfológicos y mineralógicos.

Posterior a revisar el manual del IGAC se procedió a formular una serie de preguntas basadas en la metodología del MAGA para realizar sus estudios semidetallados y con esto crear un cuestionario el cual se utilizó en la colecta de información de los laboratorios en referencia a los métodos del análisis del suelo.

El cuestionario preparado se presentó a los edafólogos a manera de prueba para obtener observaciones y correcciones según su experiencia, resultando un cuestionario final conteniendo 21 preguntas haciendo referencia sobre información de la institución, análisis físicos, análisis químicos, análisis mineralógicos y análisis micromorfológicos que estos laboratorios llevan a cabo.



Con los cuestionarios listos para su uso, se procedió a realizar llamadas telefónicas a los representantes de los laboratorios de suelo seleccionados, para concertar citas de trabajo logrando coleccionar información de los nueve laboratorios bajo estudio. El cuestionario utilizado puede observarse en los anexos y en forma electrónica mediante la siguiente dirección electrónica:

[https://docs.google.com/forms/d/1Pj-3T5yvvlXdlVgQk2ymrsx\\_2QHhAkOKaDfmZ3bdYs4/viewform](https://docs.google.com/forms/d/1Pj-3T5yvvlXdlVgQk2ymrsx_2QHhAkOKaDfmZ3bdYs4/viewform)

### **1.4.3 Fase III: Vaciado de datos y análisis de la información recabada**

Esta fase del diagnóstico contó con el vaciado de los datos obtenidos mediante el cuestionario utilizado en las entrevistas hacia un cuestionario electrónico creado en “google drive” mediante la opción de creación de formularios, este cuestionario electrónico al igual que el usado en las entrevistas se alimentó mediante el uso de 21 preguntas las cuales se dividieron de la siguiente manera:

De la pregunta 1 a la pregunta 4, se obtuvo información sobre el nombre del laboratorio, naturaleza de la institución, dirección electrónica y el nombre del encargado del laboratorio. De la pregunta 5 a la pregunta 11, se obtuvo información sobre los análisis físicos y los métodos para obtenerlos siendo estos la textura del suelo, densidad aparente, densidad real, retención de humedad, color del suelo, estructura del suelo y coeficiente de extensión lineal (COLE). Con la pregunta 12, se obtuvo información sobre el análisis mineralógico del suelo por parte de los laboratorios y el método que estos emplean para realizarlo. La pregunta 13 buscó recabar datos sobre la realización del análisis micromorfológico del suelo y el método empleado por parte de los laboratorios.

De la pregunta 14 a la 21, se adquirió información sobre los análisis químicos que realizan los laboratorios además del método empleado para realizarlo siendo el potencial de hidrógeno en medio acuoso, carbono orgánico, carbonatos de calcio, capacidad de

intercambio catiónico, bases intercambiables, fijación de fosfatos, el hierro, aluminio activo y silicio siendo estos tres elementos la pregunta 20, y la última pregunta fue el índice melánico.

El estudio de los datos obtenidos de las diferentes preguntas, se analizó mediante el uso de gráficas de sectores y gráficas de barras así como el uso de cuadros y figuras.

Las tres fases anteriores descritas se resumen mediante la figura 3:

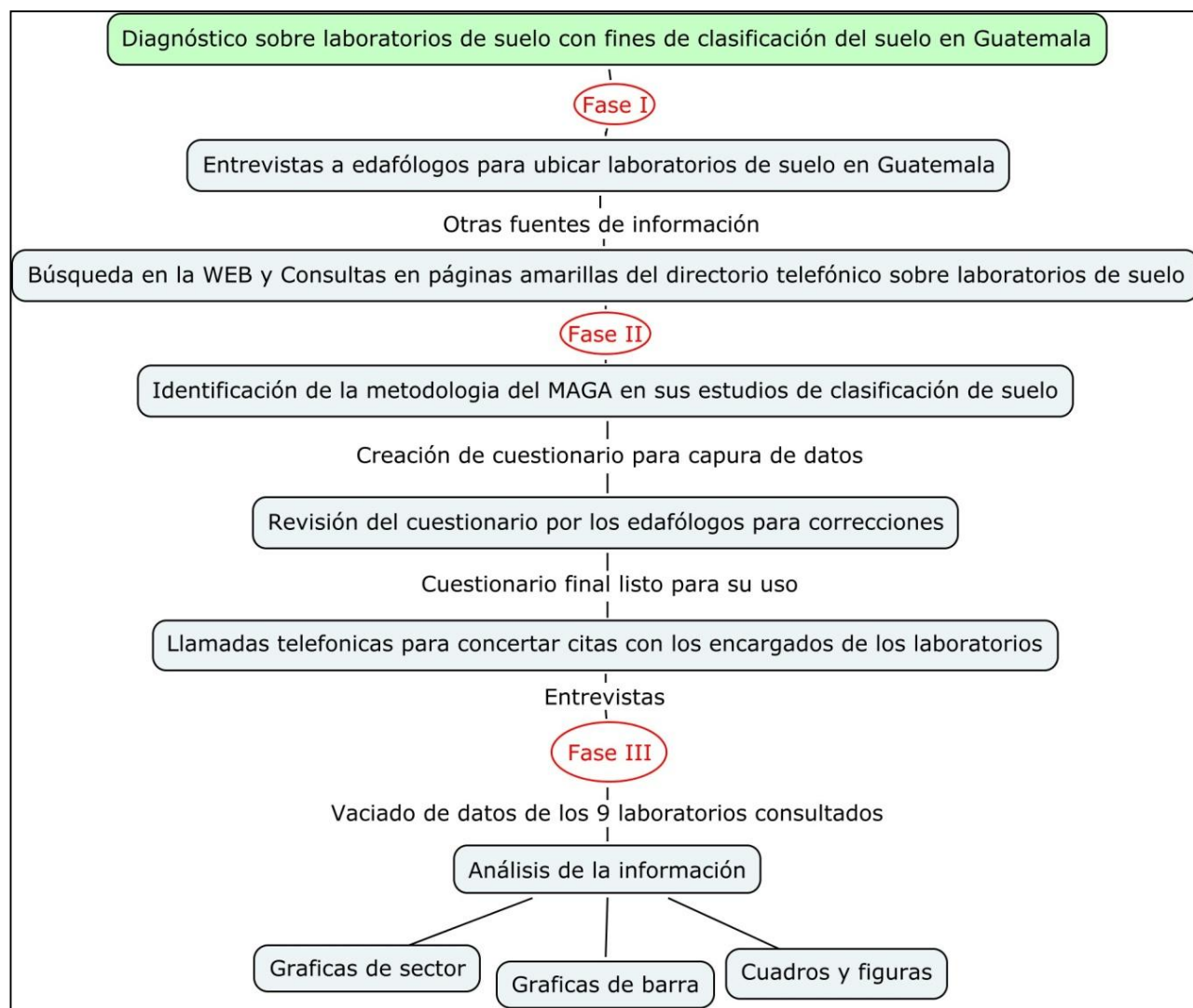


Figura 3. Resumen de metodología empleada para realizar el diagnóstico

## 1.5 Resultados

### 1.5.1 Instituciones que cuentan con laboratorio de suelo en Guatemala

El diagnóstico del presente trabajo integrado consistió en el estudio de nueve instituciones las cuales se encuentran a cargo de personal especializado en el estudio del suelo, el cuadro 2 muestra el nombre de la institución visitada, el contacto vía correo electrónico y el responsable del laboratorio de suelo visitado durante el desarrollo del presente diagnóstico:

Cuadro 2. Instituciones visitadas y los responsables de los laboratorios de suelo

<b>Nombre de la institución</b>	<b>Dirección electrónica de la institución visitada</b>	<b>Nombre del Entrevistado</b>
Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola - ICTA	labsuelos@icta.gob.gt	Sr. Julio Rolando Lima
Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación - MAGA	nayocontreras@yahoo.es	Ing. Leonardo Contreras
Asociación Nacional del Café - ANACAFÉ	info@anacafe.org	Ing. Humberto Jiménez
Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar - CENGICANA	wdecano@cengicana.org	Licda. Wendy de Cano
Soluciones Analíticas S. A.	info@solucionesanaliticas.com	Ing. Miguel Ángel Mendoza
AGROLABORATORIO CERES S.A.	info@labceres.com	Ing. Margarita Hurtarte
Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala - FAUSAC	ovansa1@gmail.com	Dr. Aníbal Sacbajá
Centro Universitario de Oriente - CUNORI	ingchicas@yahoo.com	Ing. Rodolfo Chicas
Escuela Nacional de Agricultura - ENCA	sin dirección electrónica	Dr. José Chonay

Fuente: producto del trabajo desarrollado

### 1.5.2 Naturaleza de la institución que dirigen al laboratorio de suelo

De las nueve instituciones visitadas se identificó que estas se encuentran divididas en tres tipos, donde el sector privado es el mayor representante en cuanto a cantidad de los laboratorios de suelos en Guatemala con un 45%.

Con un 22% se encontró que las instituciones del gobierno, MAGA e ICTA son las que poseen laboratorio de suelos en el país siendo esta de índole pública.

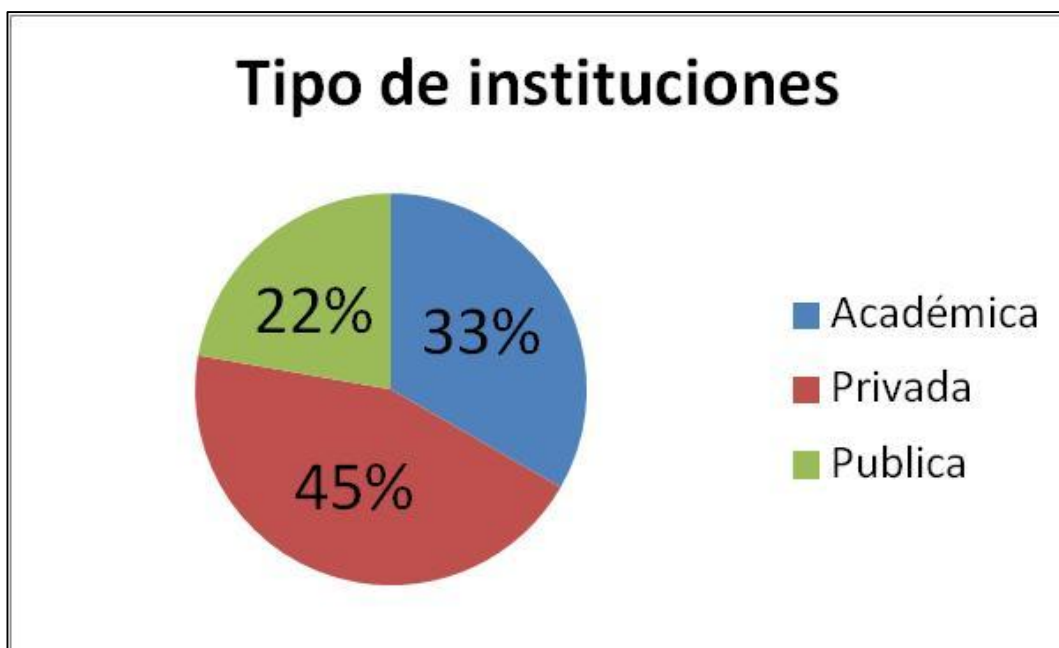


Figura 4. Tipo de institución la cual posee laboratorio para el análisis de suelo

### 1.5.3 Análisis físico de suelos

Para el análisis de suelo físico se estudiaron 7 variables con el método empleado para realizar el respectivo análisis siendo estos los resultados que a continuación se describen:

## A Análisis de granulometría

La granulometría es la medición de las partículas del suelo para conocer los diferentes tamaños que este presenta con la finalidad de obtener una fracción gruesa la cual se calcula mediante métodos físicos como el uso tamices y la fracción fina la cual se calcula mediante sedimentación mediante el método de Bouyoucos entre otros.

La fracción gruesa del suelo contiene a las gravas y arenas y la fracción fina contiene a los limos y arcilla. Los resultados de la granulometría son utilizados luego para la determinación de la textura presente en un suelo.

Se encontró que el 100% de los laboratorios utilizan el método de Bouyoucos para determinar los porcentajes de arena, limo y arcilla para la determinación de la textura de los suelos que analizan. La figura 5 muestra el resultado de la encuesta realizada:

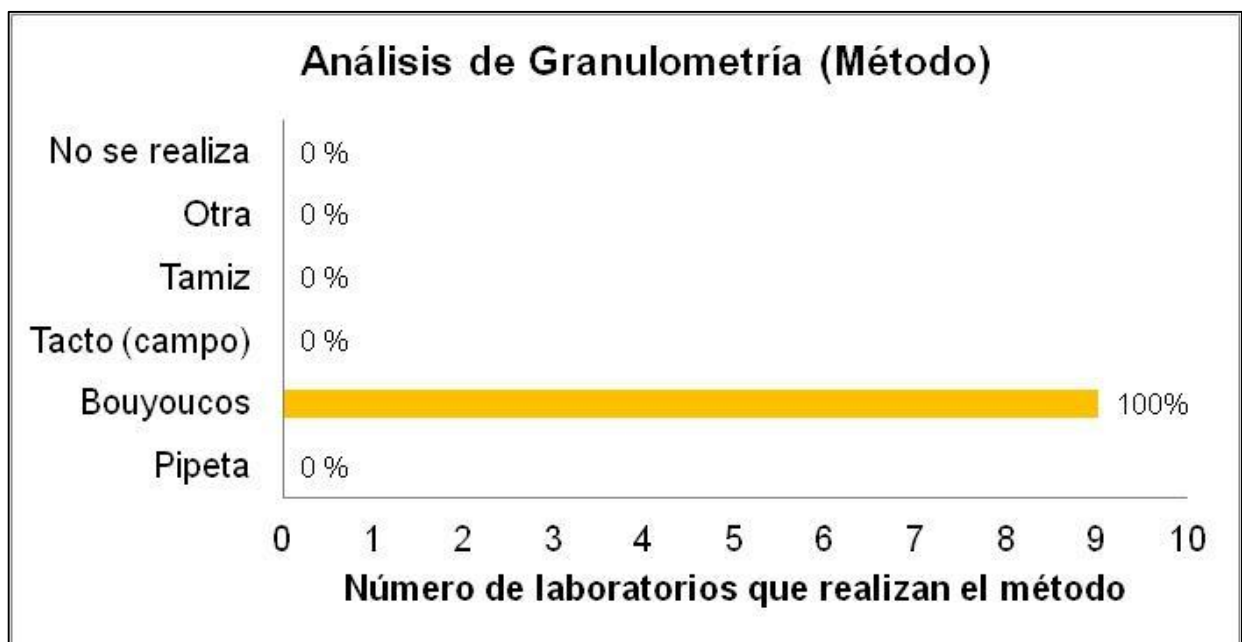


Figura 5. Método empleado por los laboratorios para análisis de granulometría

## B Densidad aparente

También llamada densidad de volumen, esta hace referencia a la masa del suelo extraído incluyendo su espacio poroso (aire + agua), este suelo se pone a secar al horno a una temperatura de 105 °C por 48 horas y el suelo seco resultante se divide entre el volumen conocido que sirvió para contenerlo. Se expresa en gramos/centímetro cúbico.

En el caso del análisis de la densidad aparente de los suelos se determinó que los laboratorios utilizan en un 100% el método de la probeta para determinar cuanta masa de suelo y espacio vacío hay un determinado volumen, la figura 6 muestra el resultado de la pregunta 6 en la encuesta realizada:

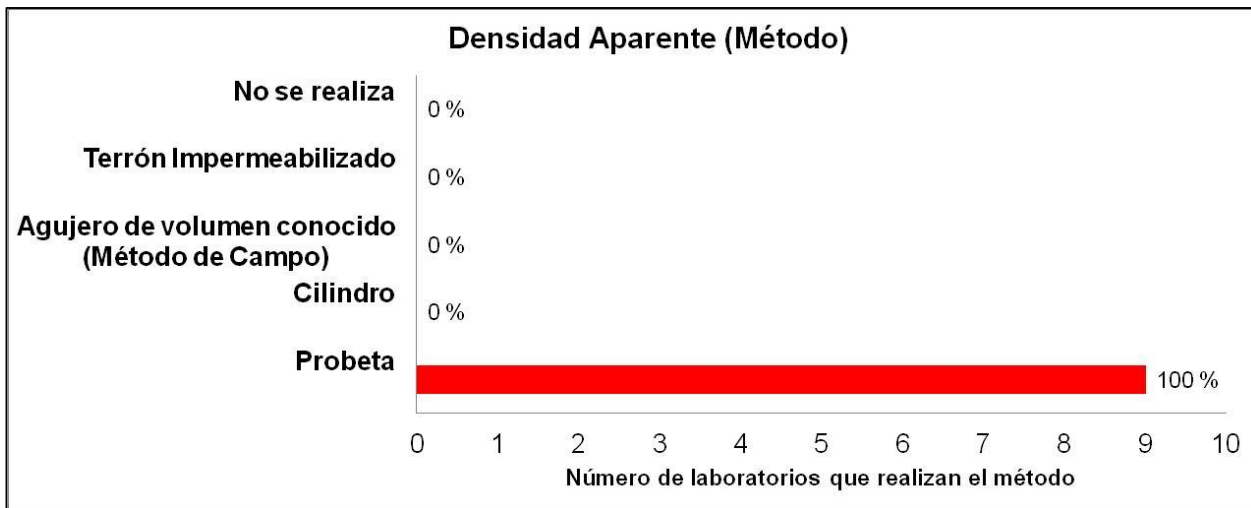


Figura 6. Método empleado por los laboratorios para el análisis de la densidad aparente

## C Densidad real

Este análisis consiste en eliminar el espacio poroso del suelo mediante el uso de agua, si este análisis se realiza mediante el picnómetro esto consiste en llenar el picnómetro con agua para luego pesarlo, posterior a esto se vacía hasta la mitad de su capacidad del picnómetro, para luego aplicarle 5 gramos de suelo, se afora (llenar) el picnómetro para pesarlo de nuevo; se resta el peso del picnómetro con agua ( $P_p$ ) menos el peso del

picnómetro con suelo diluido, siendo este el volumen del suelo; esos 5 gramos de suelo seco se dividen entre el volumen encontrado con el picnómetro para obtener la densidad real; se expresa en gramos/centímetro cúbico o Kilogramos/metro cúbico.

Para esta variable se encontró que únicamente 2 instituciones cuentan con el instrumento de medición más exacto denominado picnómetro para el análisis del suelo, 3 instituciones utiliza la probeta para este análisis y 4 de los laboratorios no realizan este análisis.

La figura 7 resume la información descrita en el párrafo anterior:

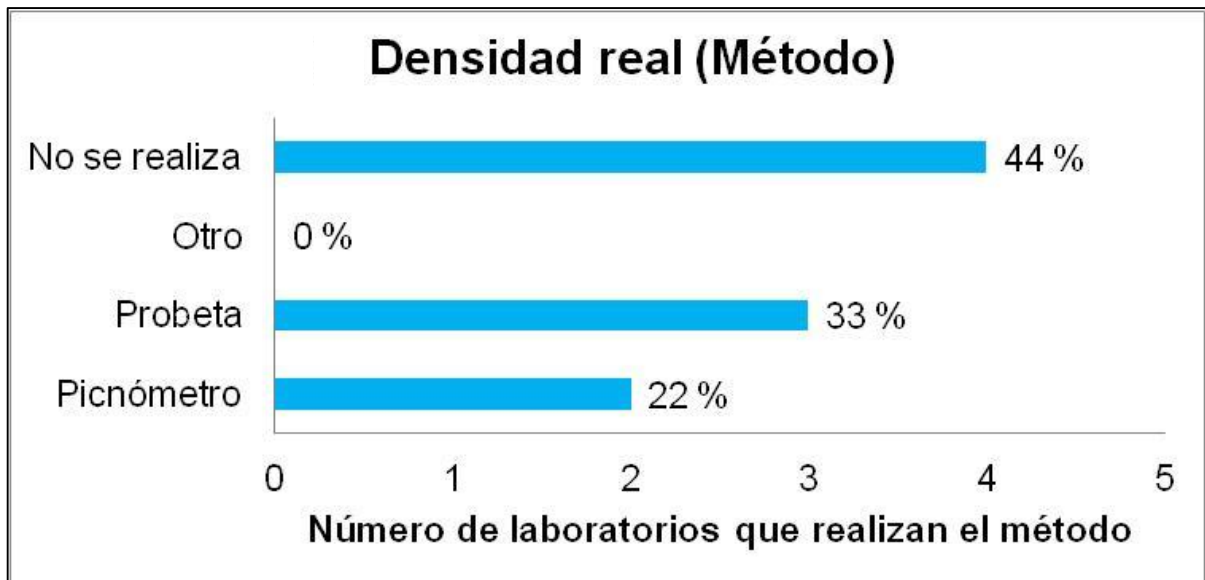


Figura 7. Método empleado por los laboratorios para el análisis de la densidad real del suelo

#### D Retención de humedad

Este análisis consiste en extraer la humedad mediante olla de presión y platos de cerámica que haciendo uso de membranas, estas retienen humedad conforme esta se extrae mediante presión ejercida sobre el suelo utilizando 0.3 kilo pascal para determinar

el punto de marchitez permanente y 15 kilopascal para determinar la capacidad de campo. El resultado se expresa en porcentaje.

Se encontró que el método para determinar la retención de humedad del suelo lo realizan 5 instituciones utilizando la olla de presión y los platos de cerámica y con un 44% se encontró que hay laboratorios que no tienen el equipo y cristalería para realizar este análisis, lo anterior corresponde a la pregunta 8 del cuestionario y el resultado de la encuesta puede observarse en la figura 8:

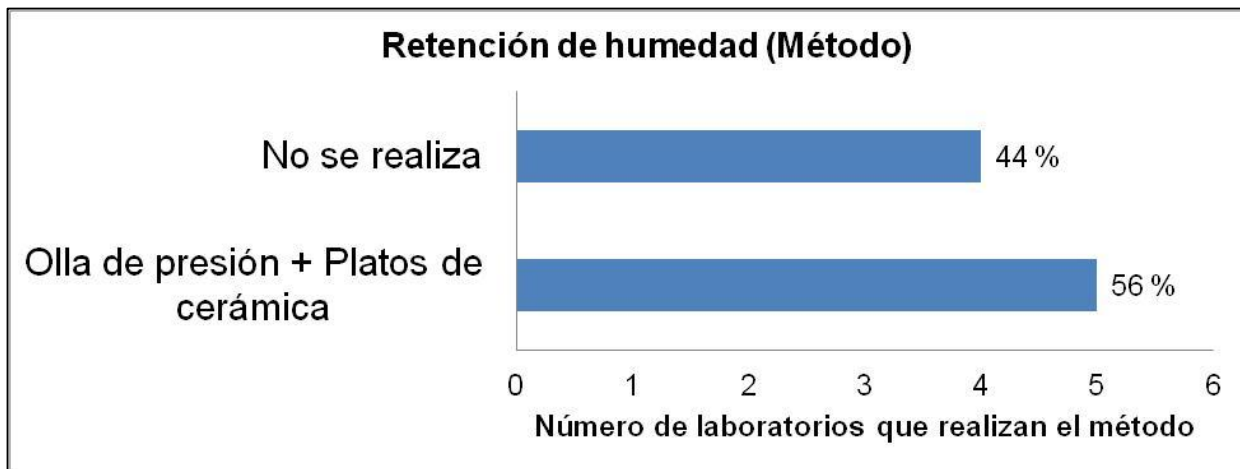


Figura 8. Método empleado por los laboratorios de suelo para el análisis de retención de humedad

## E Color del suelo

Este análisis consiste en utilizar una paleta de colores contenida en una libreta y mediante el sistema Munsell, la cual determina el color del suelo en seco y luego en húmedo mediante el matiz (Hue), claridad (Value) y pureza (Chroma).

Es importante indicar que esta determinación debe realizarse en campo, sin embargo a petición de los interesados es posible realizarla en el laboratorio.



Se observó que el 56% de los laboratorios de suelos determina el color que el suelo posee mediante el uso de la tabla de munsell. La figura 9 muestra el resultado obtenido mediante la encuesta realizada a los laboratorios de suelo visitados:

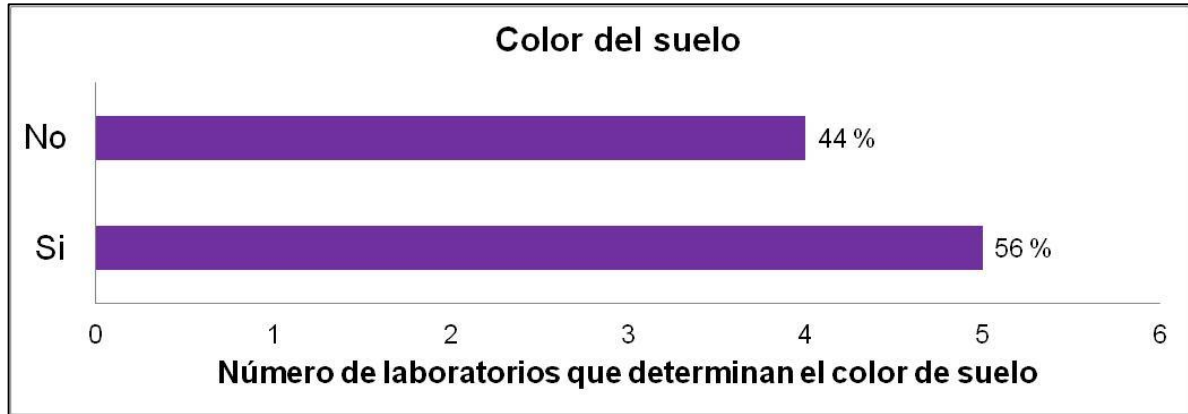


Figura 9. Laboratorios que determinan el color del suelo mediante el uso de la libreta munsell

## F Estructura del suelo

Este análisis no es una determinación habitual en laboratorio, mas tampoco es exclusiva realizarla en campo, esta consiste en observar al suelo para definir su forma de agregación ya que las partículas de arcilla, limo y arena en conjunto toman un aspecto de partículas mayores llamadas agregados los cuales se observan para definir su tipo (esferoidal, laminar, bloques o prismática), clase (muy fina, fina, media, gruesa y muy gruesa) y grado estructural (débil, moderada o fuertemente desarrollada).

En este caso se encontró que solamente el laboratorio de CENGICAÑA respondió positivo a la realización del análisis de estructura del suelo e indagando sobre el porqué, se determinó que al contar esta institución con un departamento agronómico esta puede enviar personal al área de donde se tomó la muestra y mediante el método morfológico

observar el tipo de estructura que presenta el suelo, los demás laboratorios no realizan esta determinación.

La figura 10 muestra el método empleado por CENGICAÑA para el análisis de la estructura del suelo:

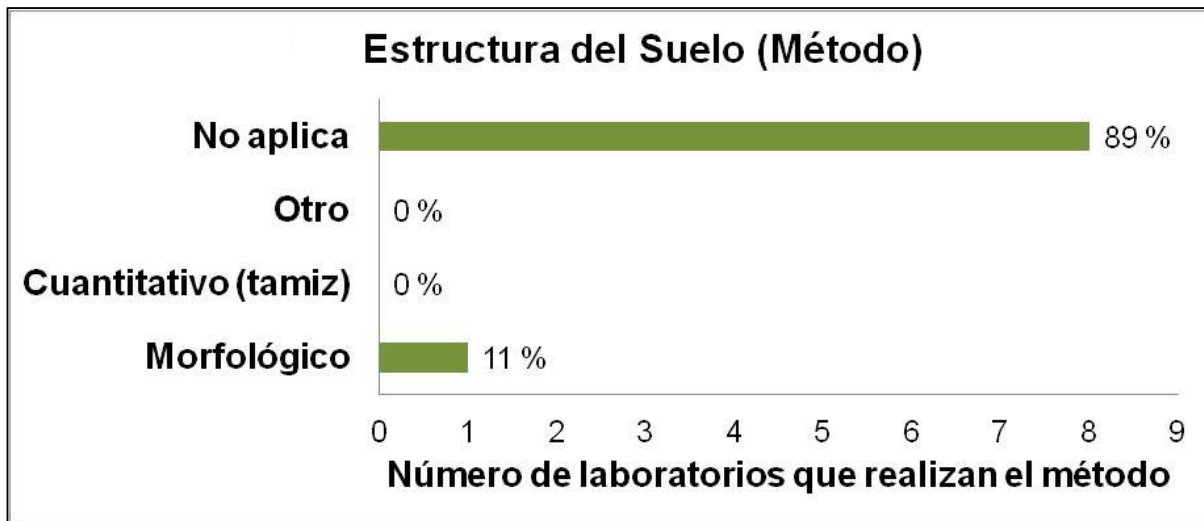


Figura 10. Método empleado para el análisis de la estructura del suelo por CENGICAÑA

### **G Coeficiente de extensibilidad lineal (COLE) ó CEL**

Este análisis consiste en tomar 50 gramos de suelo húmedo, luego se realiza una pasta con el suelo para obtener 5 “rollitos” de aproximadamente 5 mm de diámetro y exactamente 10 cm de largo, estos deber ser expuestos al aire para su secado durante 72 horas. La diferencia de longitud del rollito húmedo contra la longitud del rollito seco permite obtener el coeficiente de extensibilidad el cual puede ser muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto.

Este análisis solo es realizado por 2 laboratorios los cuales se encuentran dentro del tipo de institución académica siendo la FAUSAC y ENCA las cuales afirmaron realizar este análisis de suelo, la figura 11 muestra el resultado obtenido para esta variable.

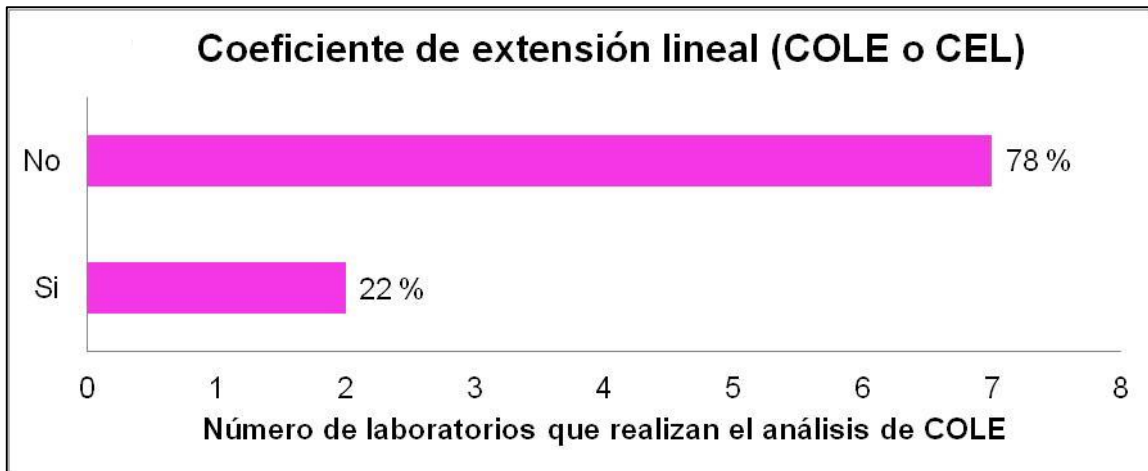


Figura 11. Cantidad de instituciones que realizan el análisis de COLE ó CEL al suelo

## H Análisis mineralógicos del suelo

Este análisis se realiza a las arenas y arcillas del suelo. En el caso de las arcillas este consiste en eliminar de la muestra de suelo a los agentes cementantes y componentes amorfos.

El procedimiento para preparar la muestra de arcilla inicia con el tamizado a 2 mm de la muestra de suelo, luego se elimina los carbonatos, para proseguir con la eliminación de los óxidos de hierro extractables, para continuar con la eliminación de los complejos no cristalinos del aluminio y sílice; se continua con la eliminación de la materia orgánica y óxidos de magnesio contenida en la muestra de suelo, se prosigue con la obtención de la granulometría para obtener las arcillas, para luego realizar una segunda separación granulométrica para obtener mediante decantación y centrifugación 3 diferentes tipos de arcillas ( $\Rightarrow 2\mu$ ) que luego se saturan con calcio, magnesio o potasio con la finalidad de

minimizar las fluctuaciones de agua contenida en el espacio interlaminar de las arcillas, realizado este procedimiento se puede continuar con los tratamientos de identificación de difracción de rayos x.

Este análisis mineralógico utiliza un equipo y programa informático especializado que genera un resultado denominado “convección” el cual indica si el mineral de arcilla encontrado está en una distribución dominante, abundante, común, presente, en traza o dudosa.

Para el análisis de las arenas se utiliza el microscopio petrográfico, siendo este un método óptico, que permite observar los granos de arena desde diferentes ángulos para determinar su color, forma, índice de refracción, birrefringencia y figura de interferencia.

La respuesta a la pregunta 12 del cuestionario evidenció que ningún laboratorio realiza algún análisis a nivel mineralógico del suelo, esto obedece a que ninguno de los laboratorios cuenta con el equipo y software sofisticado además de costoso que se utiliza para realizar dichos análisis. La figura 12 muestra el resultado obtenido en la encuesta realizada:

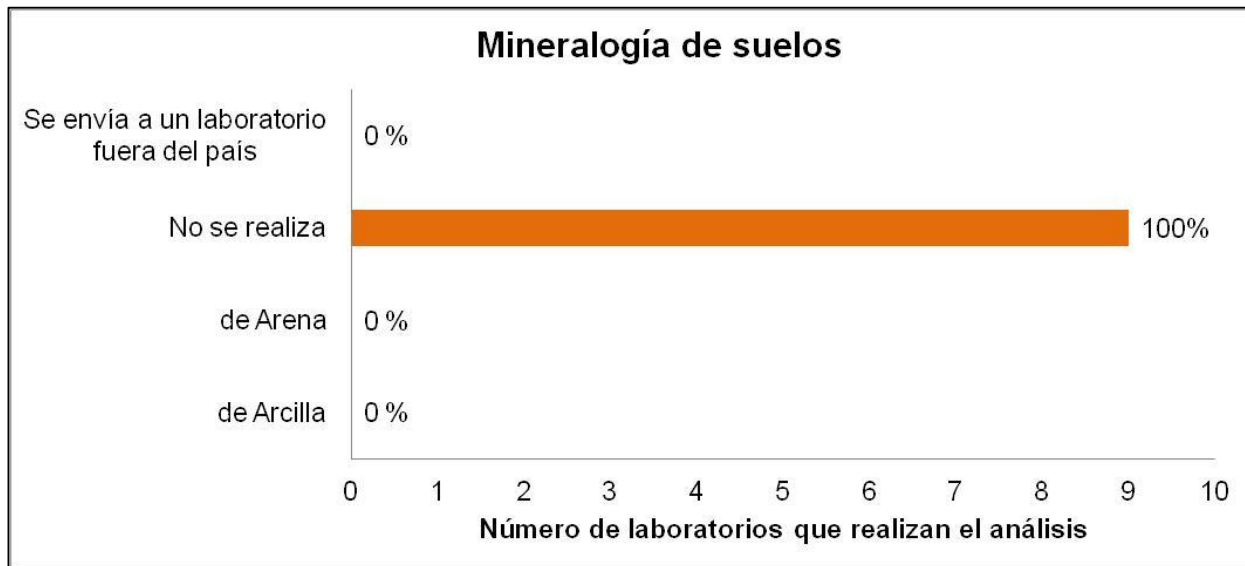


Figura 12. Ausencia del análisis mineralógico en suelo por parte de los laboratorios

## I Análisis micromorfológico del suelo

Este análisis consiste en obtener una muestra de suelo para introducirlo en algún contenedor que puede ser hecho con una caja de Kubiena recubierta por dentro con papel aluminio u otro material no contaminante, lo importante es poder obtener un bloque de suelo de aproximadamente 15 cm x 10 cm x 15 cm buscando no alterar la estructura ni disposición del suelo, ya en el laboratorio este bloque se impregna con resinas sintéticas que mediante llenado al vacío favorecen que salga el aire contenido en los poros de suelo logrando establecer una consistencia en el suelo para poder obtener cortes laminares de unos 25  $\mu\text{m}$  de grosor. Luego esta lámina es estudiada mediante el microscopio petrográfico y/o microscopio electrónico, con esto se logra comprender la génesis del suelo, identificar superficies de deslizamientos de suelo que se mezclan, así como identificar microestructuras y los fenómenos pedológicos del suelo.

El resultado de esta pregunta en el cuestionario fue la misma obtenida para la pregunta 12 al confirmar que no se realiza el análisis micromorfológico por parte de los laboratorios de suelo, siendo la restricción el acceso al equipo y software especial el empleado para la realización de dicho análisis, esto según los comentarios de los responsables de laboratorio.

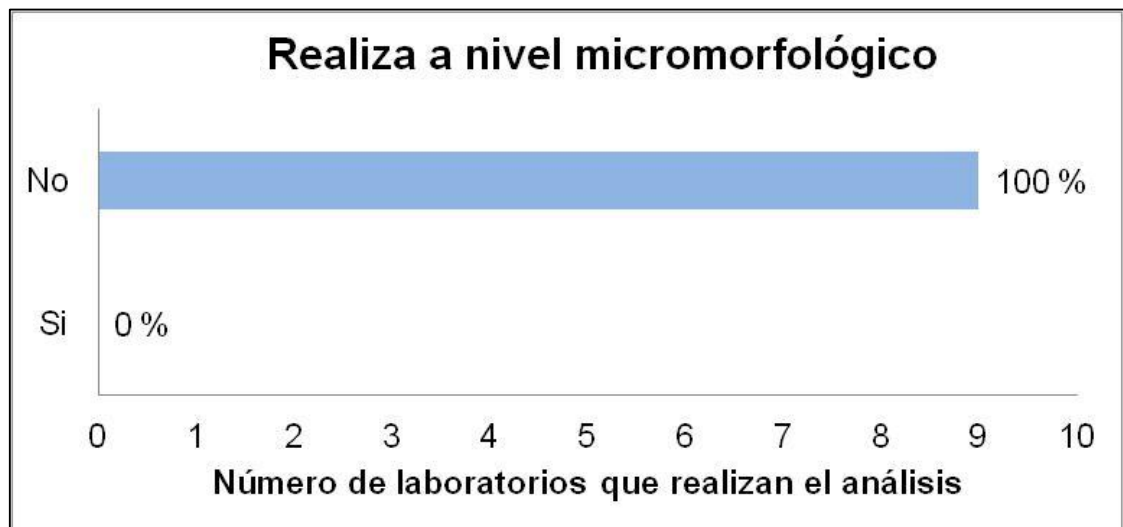


Figura 13. Ausencia de la realización del análisis a nivel micromorfológico en el suelo

## **J      Análisis de pH en el suelo**

El análisis de pH generalmente consiste en obtener de la muestra de suelo una cantidad de 10 gramos de suelo y diluirlo en 25 centímetros cúbicos de agua destilada para preparar una relación de suelo:agua de 1:2.5. Luego se utiliza un potenciómetro que mediante un bulbo de cristal cuantifica la cantidad de iones  $H^+$  en estado libre en la solución de suelo. Cabe mencionar que la relación de suelo agua 1:2.5 no es la única que se utiliza, en este caso se encontró que el laboratorio de Soluciones Analíticas S. A. utiliza una relación de suelo agua de 1:2.

Otra forma de medir el pH de manera muy popular por la facilidad de obtener los materiales y por el bajo costo comparado con el método del potenciómetro es el papel tornasol, el cual consiste en una banda generalmente de color naranja la cual se corta en trozos y mediante pinzas habitualmente de plástico se sumerge en la solución de suelo generando esto un viraje de color que luego se compara con la escala de colores que trae en su contenedor de papel para determinar el pH del suelo en solución.

Para el potencial de hidrógeno en el suelo se identificó que todos los laboratorios realizan el análisis utilizando agua, además de poseer un potenciómetro para realizar la medición de esta variable en el suelo, también se logró identificar que 89% de los laboratorios utilizan una relación de 1:2.5 suelo:agua y el restante 11% lo realiza utilizando una relación de 1:2 de suelo:agua siendo este el laboratorio de Soluciones Analíticas S. A.

La figura 14 muestra el resultado obtenido de la consulta realizada a los laboratorios:

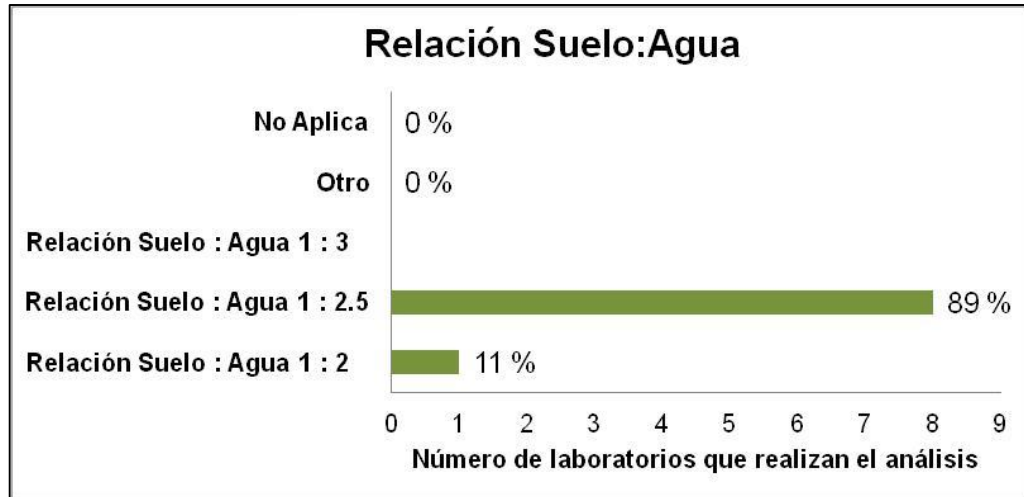


Figura 14. Relación de suelo:agua utilizada por los laboratorios para medir el pH en el suelo

Durante la visita a estas instituciones, se identificó que además de realizar el análisis del pH en solución acuosa utilizando agua también se realiza en solución de KCl y CaCl<sub>2</sub> y NaF, siendo estos laboratorios los que se describen en el cuadro 3:

Cuadro 3. Otras soluciones empleadas para medir el pH por los laboratorios en sus análisis

Nombre de la institución	KCl	CaCl <sub>2</sub>	NaF
Asociación Nacional del Café - ANACAFÉ	X	X	
Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar - CENGICAÑA			X
AGROLABORATORIO CERES S.A.		X	
Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala - FAUSAC	X	X	
Laboratorio de Suelos del Centro Universitario de Oriente - CUNORI	X	X	
Escuela Nacional de Agricultura - ENCA	X		

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

## **K Análisis del Carbono Orgánico**

El análisis del C. O. se basa en la determinación del contenido de la materia orgánica fácilmente oxidable del suelo, la cual se expresa en porcentaje, este es un método de combustión húmeda.

Esta determinación se basa en la oxidación incompleta del carbono orgánico mediante una mezcla oxidante del dicromato de potasio y ácido sulfúrico acentuada por el calor de dilución acuosa del ácido sulfúrico a una temperatura de 110 a 130 °C. El resultado de esta combustión húmeda es generar un consumo de los oxidantes los cuales mediante fotolorimetría se mide la intensidad color verde en los iones  $\text{Cr}^{6+}$  amarillos del dicromato inicial el cual se compara con la curva de calibración preparada. El carbono orgánico total se calcula, ya que existe una oxidación de C. O. del 75%, y que la materia orgánica posee un 58% de carbono.

Los resultados obtenidos para el carbono orgánico, revelaron que solo 7 laboratorios realizan el análisis de la materia orgánica contenida en el suelo, los laboratorios que carecen de equipo para realiza este análisis son el ICTA y el MAGA.

La encuesta mostró que del 78% de los laboratorios que realizan el análisis de C.O. utilizan el método de Walkley Black (modificado). La figura 15 muestra el resultado obtenido de la pregunta realizada a los encargados de los laboratorios visitados:



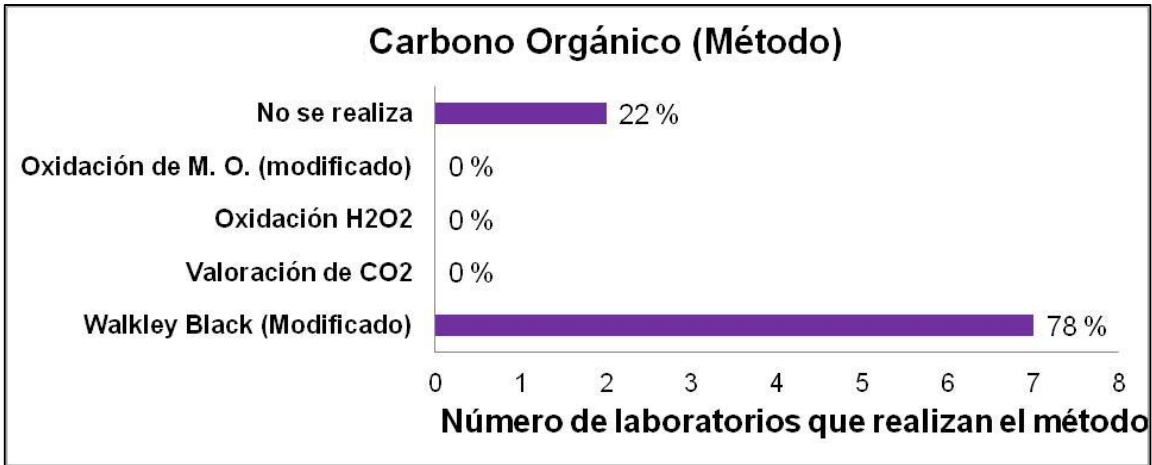


Figura 15. Método utilizado para realizar el análisis de C.O. por los laboratorios de suelo

## L Presencia de Carbonatos utilizando HCl

Este consiste en utilizar una solución diluida de ácido clorhídrico (HCl) en una proporción de 1:10 (10%) la cual se aplica a la muestra de suelo para tratar de observar efervescencia en el suelo por la reacción del ácido con los carbonatos. Básicamente la presencia de carbonatos se determina mediante clases según lo descrito en el cuadro 4:

Esta es otra determinación que generalmente se hace en campo pero si el usuario lo solicita se puede realizar en el laboratorio.

Cuadro 4. Determinación de carbonatos en el suelo

<b>Carbonatos</b>	<b>Reacción acido-suelo</b>
Ausente	No se observa burbujas por efervescencia
Muy débil	Se observa escasas burbujas
Débil	Se observa fácilmente la formación de burbujas
Moderado	Las burbujas forman una espuma
Fuerte	Una espuma espesa se forma rápidamente

Fuente: (Fadda, s.a.)

El resultado obtenido de la pregunta 16 correspondiente al análisis de carbonato en el suelo, mostró que el 56% de los laboratorios realizan este análisis en sus instalaciones, los laboratorio de suelos que no realizan el análisis de carbonato de calcio son el ICTA, MAGA, ANACAFE y AgroLaboratorio CERES, S. A.

La figura 16 muestra el porcentaje de laboratorios que realizan el análisis de carbonato en el suelo.

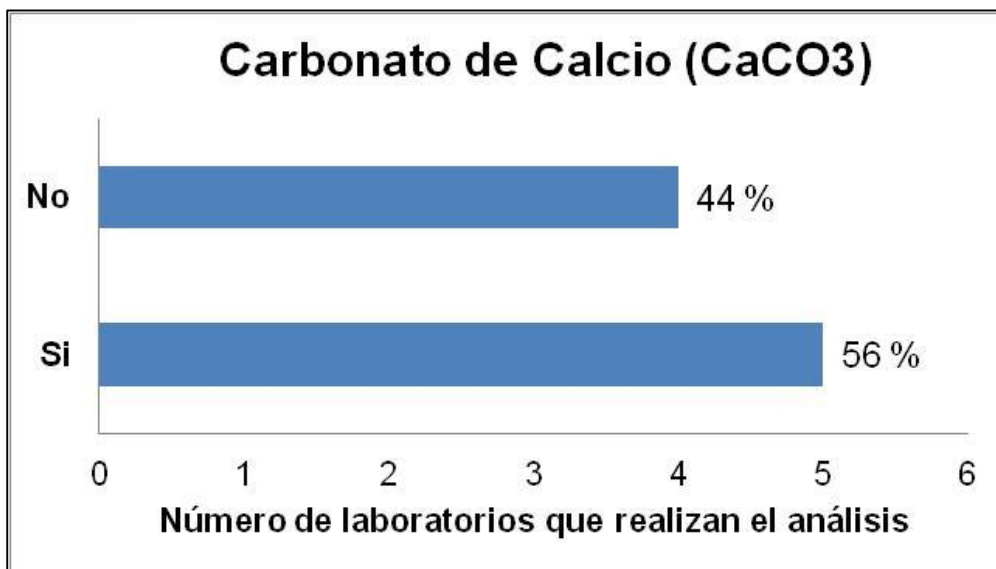


Figura 16. Porcentaje de laboratorios que realizan el análisis de carbonato de calcio en el suelo

En el caso de los restantes laboratorios estos utilizan el método de ácido clorhídrico al 10% para detectar la presencia del carbonato en las muestras de suelo analizadas.

La figura 17 muestra que el 44% de los laboratorios utilizan el medio de extracción utilizando HCl al 10% para detectar el carbonato en el suelo, resalta el método utilizado

por el laboratorio de suelos de Soluciones Analíticas S. A. al utilizar el método de valoración titulométrica para detectar el carbonato correspondiéndole el 11% .

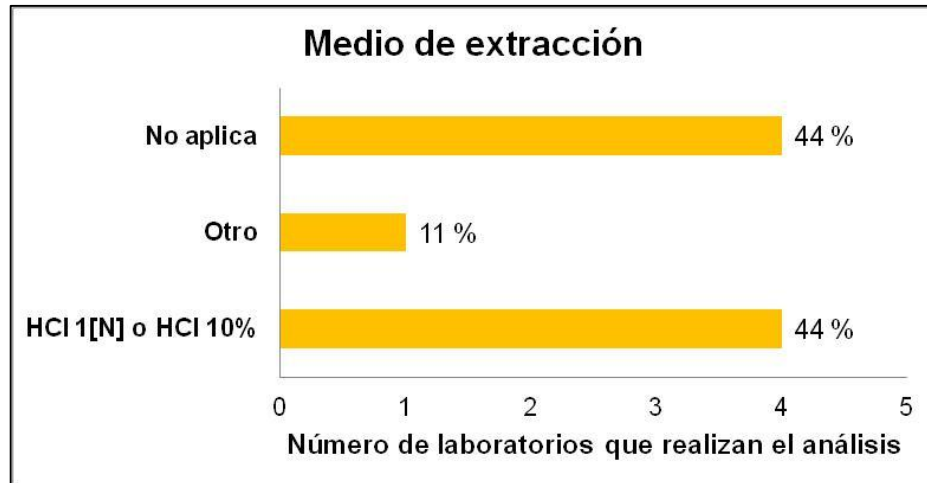


Figura 17. Método utilizado por los laboratorios para determinar el carbonato de calcio en el suelo

## M Capacidad de Intercambio Catiónico

En este análisis intervienen los cationes de reacción ácida, el hidrógeno ( $H^+$ ) y aluminio ( $Al^{+3}$ ), también los cationes de reacción básica, calcio ( $Ca^{+2}$ ), magnesio ( $Mg^{+2}$ ), sodio ( $Na^+$ ) y potasio ( $K^+$ ).

Este análisis consiste en obtener una muestra de suelo en base seca, a la cual se le aplica una solución de acetato de amonio ( $NH_4COOH_3$ ) 1[N] a pH 7 hasta saturar el suelo, con la finalidad de que el amonio ( $NH_4^+$ ) sustituya los cationes presentes en el suelo por un desprendimiento de los cationes intercambiables calcio, magnesio, potasio, sodio y aluminio.

Luego a la muestra de suelo se le realiza 3 lavados con alcohol etílico al 95% con intervalos de 8 horas con la finalidad de lavar el exceso de amonio y así evitar la remoción de iones cambiabiles, el lixiviado de estos lavados se elimina. Con el suelo lavado se procede a la aplicación de 3 nuevos lavados utilizando cloruro de sodio al 10% hasta obtener un nuevo lixiviado el cual servirá para determinar indirectamente la CIC del suelo.

Se continua el análisis tomando una alícuota de 10 ml del lixiviado anterior obtenido el cual se coloca en el tubo del destilador Microkjedahl al cual se le añade hidróxido de sodio (NaOH) que es una base fuerte lo que permite el arrastre de amoniaco ( $\text{NH}_3^+$ ) mediante el vapor de agua producto de la destilación que lleva este a un erlenmeyer el cual contiene ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) mezclado con un indicador e cual se tornara de un color verde al fijar al amoniaco transformándolo nuevamente en amonio lo que permite formar iones de borato ( $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ).

Los iones borato son titulados mediante el uso de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0.01 [N] para transfórmalos de nuevo a ácido bórico logrando hacer un gasto de ml de ácido sulfúrico los cuales se multiplican por su normalidad para determinar lo miliequivalentes (meq) que reaccionaron de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) con el ácido bórico y esto equivale a la CIC presente en la muestra de suelo.

Se encontró que para el análisis de la CIC por parte de los laboratorios solamente 3 laboratorios no lo ofertan.

De los otros 7 laboratorios se logró evidenciar que estos utilizan al acetato de amonio 1[N] con pH 7 en su metodología para determinar dicha CIC.

La figura 18 muestra el resultado de la encuesta realizada a las instituciones así como el común denominador en cuanto al método utilizado para obtener la CIC en su análisis:

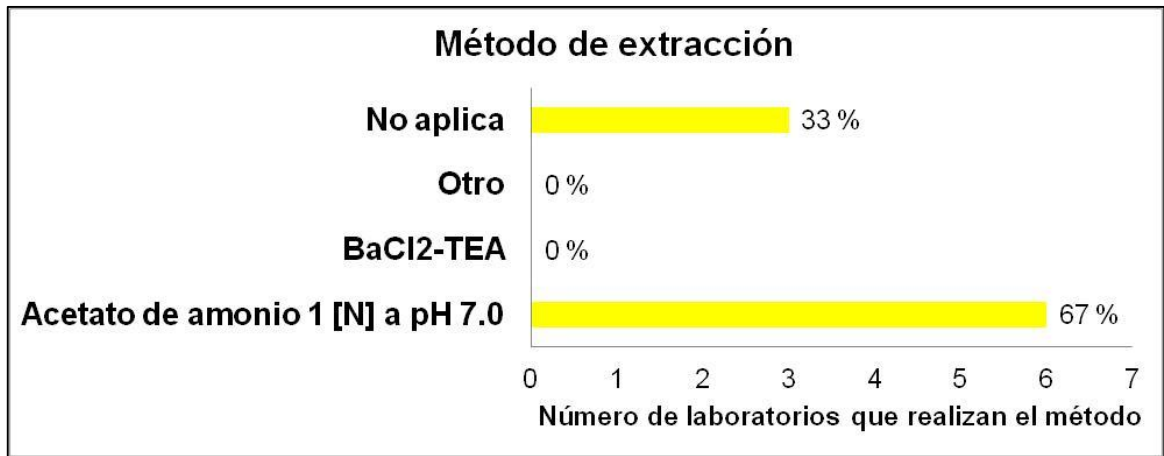


Figura 18. Porcentaje de laboratorios que realizan el análisis de la CIC en el suelo, así como el método empleado en su detección

## **N      Análisis de las bases intercambiables**

Al igual que la CIC este análisis consiste en obtener una muestra de suelo en base seca, a la cual se le aplica una solución de acetato de amonio ( $\text{NH}_4\text{COOH}_3$ ) 1[N] a pH 7 hasta saturar el suelo, con la finalidad de que el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) sustituya los cationes presentes en el suelo por un desprendimiento de los cationes intercambiables calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y sodio ( $\text{Na}^+$ ).

A la muestra de suelo se le realiza 3 lavados con alcohol etílico al 95% con intervalos de 8 horas entre cada lavada, con la finalidad de lavar el exceso de amonio y así evitar la remoción de iones cambiabiles, el lixiviado de estos lavados se descarta. Con el suelo lavado se procede a la aplicación de 3 nuevos lavados utilizando cloruro de sodio al 10% hasta obtener un nuevo lixiviado el cual servirá para determinar los miliequivalentes de las bases intercambiables mediante el uso del espectrofotómetro de absorción atómica gracias a la dilución del lixiviado recién obtenido para permitir al espectrofotómetro realizar las lecturas de los elementos.

Para el caso del sodio y potasio se toma una alícuota de 2 ml de lixiviado a la cual se le agrega 8 ml de agua destilada para lograr una relación de 1:5 que luego se lleva al espectrofotómetro para su lectura. Para el Calcio y Magnesio se toma una alícuota de 2 ml de lixiviado a la cual se le agrega 18 ml de agua destilada, de esta dilución se toma una alícuota de 1 ml y se le agrega 24 ml de óxido de lantano, esta nueva dilución se lleva al espectrofotómetro para su lectura.

En el análisis de las bases intercambiables se encontró que el 78% de los laboratorios realizan este análisis del suelos y que el mismo porcentaje usa en su metodología para extraer los elementos Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio al acetato de amonio 1[N] con pH 7. Los laboratorios que no realizan este análisis son el MAGA y Soluciones Analíticas S. A., lo anterior descrito se observa en la figura 19:

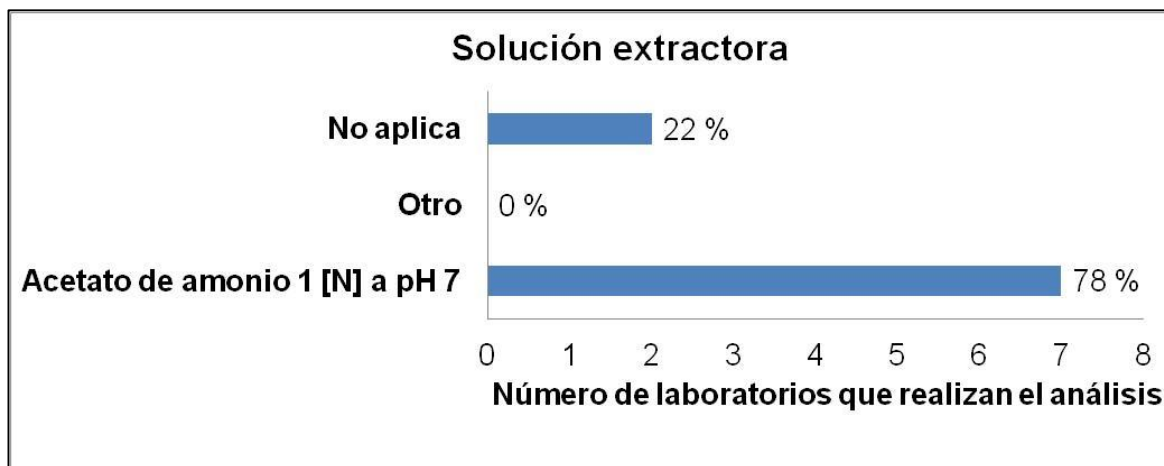


Figura 19. Porcentaje de laboratorios que realizan el análisis de las bases intercambiables

## O Análisis de la fijación de fosfatos en el suelo

Este análisis consiste en equilibrar las muestras de suelo con una solución de fosfato dihidruro de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) en una relación de suelo: solución de 1:10 durante 24 horas,

luego mediante colorimetría se determina al fósforo que quedo en solución de molibdato de amonio utilizando Cloruro de estaño ( $\text{SnCl}_2$ ) como reductor. Este fosfato se expresa en porcentaje mediante la resta del Fósforo adicionado inicialmente menos el fósforo determinado en la solución.

Para este análisis se encontró que el 56% de los laboratorios lo realizan, y que de este porcentaje solamente 1 laboratorio lo realiza utilizando la metodología de Agustín Codazzi el cual emplea una agitación de la solución por 72 horas a diferencia de los restantes laboratorios que utilizan la incubación por 24 horas.

El laboratorio que utiliza la metodología de Codazzi es el de la ENCA, los laboratorios que no realizan este análisis son el ICTA, MAGA, CENGICAÑA y el Laboratorio de suelos del Centro Universitario de Oriente (CUNORI).

## **P      Análisis del Hierro, Aluminio (activo) y Silicio**

Estos se analizan mediante la aplicación de oxalato de amonio a 0.2 molar a pH de 3.5 en un cuarto oscuro a la muestra de suelo la cual fue secada al aire y tamizada a 2 mm, el lixiviado obtenido es medido mediante el espectrofotómetro.

Se encontró que de los 9 laboratorios consultados ninguno ofrece realizar este análisis del suelo, cuando se les pregunto el por qué, razonaron que la metodología es distinta a las ya establecidas en los laboratorios y que este análisis no es demandado por la mayoría de los usuarios.

## Q Análisis del índice Melánico

Este análisis sirve para identificar al epipedon melánico en el suelo, consiste en relacionar la proporción de ácidos húmicos y fúlvicos de la materia orgánica presente en el suelo; para esto se debe de tomar 0.5 gramos de suelo en base seca tamizado a 2 mm al cual se le aplica 25 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 5% dentro de un tubo para centrifugarlo (separa sólidos de líquidos mediante fuerza centrífuga) durante 60 minutos.

Cuando se obtiene el centrifugado se le agrega agente floculante (agrupa coloides provocando un precipitado) y la mezcla es nuevamente centrifugada durante 10 minutos para luego mediante espectrofotómetro realizar lecturas de absorbancia de 450 nm y 520 nm para luego determinar un índice.

Se estableció que solamente 2 laboratorios realizan este análisis en el suelo siendo los laboratorios de suelo de la FAUSAC y la ENCA. El método de laboratorio empleado para su estudio es el porcentaje de transmitancia de la muestra a 450nm y 520nm.

El resultado de esta pregunta dentro de la encuesta se observa en la figura 20:

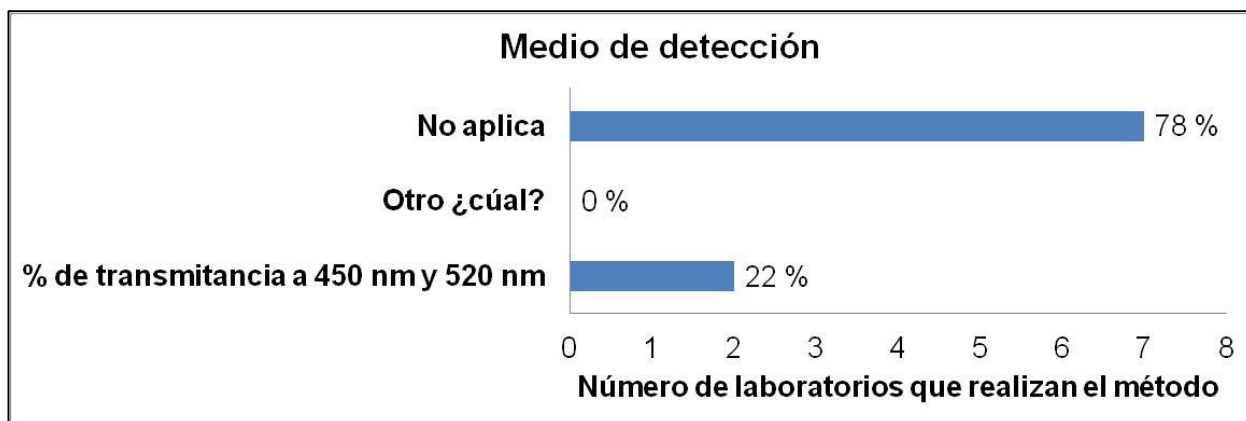


Figura 20. Método utilizado en el análisis del índice melánico por los laboratorios que lo realizan



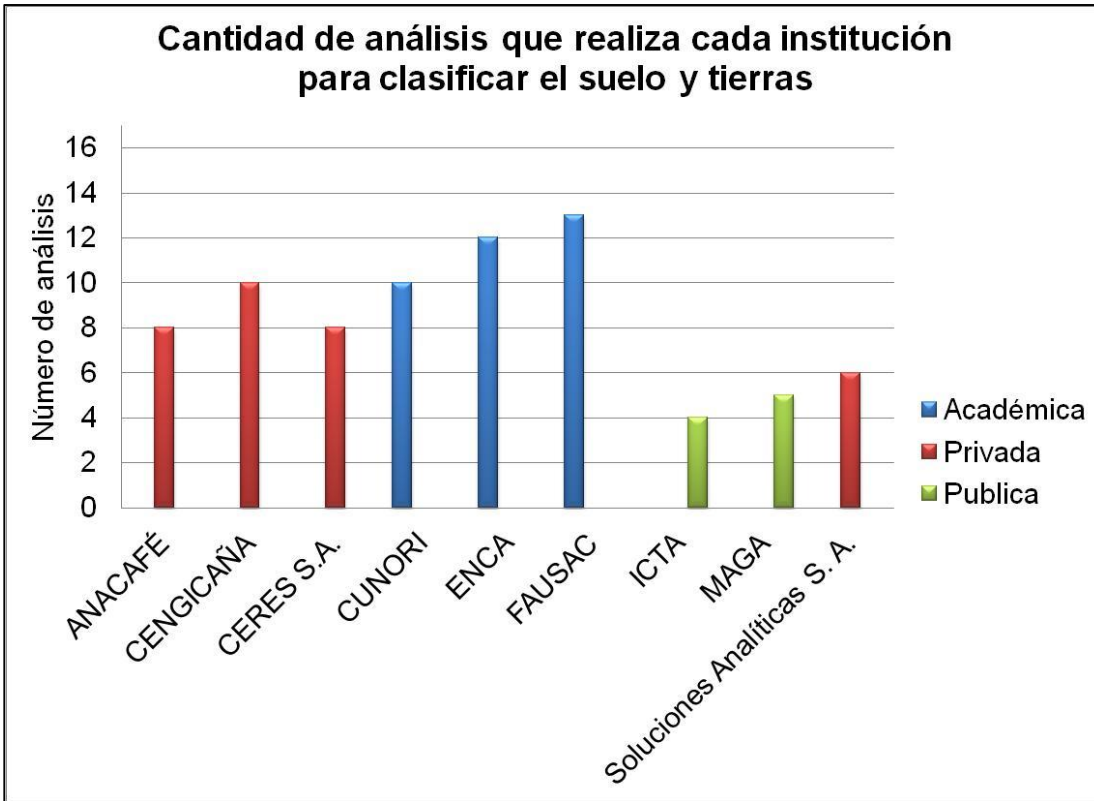
#### **1.5.4 Determinaciones realizadas por cada laboratorio según el tipo de institución que pertenecen**

Se evidenció que del total de las 17 determinaciones mínimas necesarias para el análisis del suelo, útiles para realizar una clasificación taxonómica de suelos, las instituciones académicas son las que realizan la mayor cantidad, siendo el laboratorio de suelo-agua-planta “Salvador Castillo Orellana” de la FAUSAC el que realiza la mayor cantidad de determinaciones al contabilizarse un total de 13 diferentes.

El coeficiente de variación entre los diferentes laboratorios con respecto a los análisis que realizan en las instituciones corresponde al 41%, generando esto que existe un 59% de coincidencia en las metodologías para realizar las pruebas de laboratorio.

Como un segundo tipo de institución que ofrecen realizar determinaciones de suelo, se encontró a los laboratorios de las instituciones privadas siendo CENGICAÑA quien con 10 análisis diferentes de suelos es la que posee la mayor cantidad de estas determinaciones.

En un tercer tipo de institución se ubican a las instituciones públicas siendo el ICTA el laboratorio que menor cantidad de análisis realiza alcanzado 4 diferentes tipos de análisis de suelo.



Fuente: Encuesta específica

Figura 21. Cantidad de determinaciones realizadas por los diferentes laboratorios de suelo en el país

## 1.6 Discusión de resultados

1. Se identificó la existencia de 9 laboratorios que realizan análisis de suelos con fines agropecuarios en la República de Guatemala, de estos 3 pertenecen al sector académico siendo estos el laboratorio de análisis de suelo de la FAUSAC, ENCA y CUNORI, 4 pertenecen al sector privado siendo estos ANACAFE, CENGICAÑA, Laboratorio CERES S. A. y el laboratorio de Soluciones Analíticas S. A., y 2 pertenecen al sector público siendo el laboratorio del ICTA y del MAGA.
2. Los métodos comunes utilizados por los diferentes laboratorios para realizar los análisis de suelo son: el uso del hidrómetro de Bouyoucos para el análisis de granulometría, el método de la probeta para la densidad aparente, la densidad real se determina con el uso del picnómetro, La retención de humedad emplea el método de la olla de presión y los platos de cerámica.

El análisis del color del suelo emplea la utilización de la libreta Munsell, la determinación de la estructura de suelo se realiza en campo como parte del estudio morfológico que es la percepción personal de esta característica.

El coeficiente de extensión lineal (COLE ó CEL) se determina utilizando el método de la diferencia entre las longitudes de los rollitos de suelo en húmedo y luego en suelo seco.

Ningún laboratorio realiza el análisis Mineralógico de suelo, ninguno de los laboratorios realiza el análisis Morfológico de suelo.

Para determinar el pH se utiliza el método del uso del potenciómetro, el Carbono Orgánico es determinado mediante el método de Walkley Black (modificado).

En la presencia de Carbonatos en el suelo se utiliza el HCl al 10% para observar la intensidad de efervescencia.

El análisis de la CIC es determinado mediante el Acetato de Amonio 1[N] a pH 7.0 para su extracción, para el análisis de las bases intercambiables se encontró la utilización de la metodología del uso del Acetato de Amonio 1[N] con un pH 7.0 para su extracción.

En la fijación de fosfatos el método utilizado es equilibrar las muestras de suelo con fosfato di hidruro de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) durante 24 horas, luego mediante colorimetría se determina al fósforo que quedo en solución de molibdato de amonio. Ningún laboratorio reportó realizar el análisis de hierro, aluminio (activo) y silicio.

Para el análisis del Índice Melánico se reporta el método de la lectura de la muestra preparada utilizando el espectrofotómetro con porcentaje de transmitancia a 450nm y 520nm para determinar su índice.

3. Por último se Identificó que los laboratorios de análisis de suelo en Guatemala no tienen la capacidad para realizar el mínimo de análisis de suelo para poder ser utilizados por los edafólogos en la clasificación de suelos según la metodología planteada por el MAGA en sus estudios semidetallados.

## 1.7 Conclusiones

1. En Guatemala existe 9 laboratorios que realizan análisis de suelo con fines agropecuarios.
2. De los 21 diferentes análisis de suelo efectuados por los laboratorios de suelo de las instituciones consultadas, se encontró que estos coinciden parcialmente en un 59% las metodologías empleadas para realizar el análisis a las muestras de suelo.
3. Las principales limitantes para realizar una clasificación taxonómica de suelo en Guatemala son la ausencia de la realización del análisis micromorfológico, mineralógicos y el análisis del hierro, aluminio y silicio activo del suelo.

## 1.8 Recomendaciones

1. En lo posible proponer por parte de una de las instituciones consultadas sugiriendo al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación para la estandarización de las metodologías para realización del análisis de suelo para utilizarla a nivel nacional.
2. Buscar a largo plazo los fondos necesarios para implementar un laboratorio que tenga la capacidad de realizar análisis de suelo a nivel mineralógico y micromorfológico en Guatemala.
3. Buscar un convenio que forme capital humano del sector público y/o académico para la realización de análisis a nivel mineralógico y micromorfológico fuera del país con instituciones que realicen este tipo de análisis y que por medio de este capital humano se logre replicar estos talleres o módulos técnicos-demostrativos para implementarlos dentro de Guatemala de una forma abierta mediante el uso de las tecnologías de información y comunicación.

## 1.9 Bibliografía

1. Fadda, G. S. (s.a.). Metodología para los estudios de suelos en campo. Obtenido de <http://www.edafologia.com.ar/http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/Metodologia%20X.pdf>
2. Fassbender, H. W. (1968). Química de suelos. Obtenido de [http://books.google.com.gt/http://books.google.com.gt/books?id=uRQPAQAIAAJ&pg=PR5IA12&lpg=PR5IA12&dq=microscopio+petrogr%C3%A1fico+suelo&source=bl&ots=B4qT\\_Va8hE&sig=YeRtsqRMDNhIX6Zo4\\_KQgRRTZ\\_8&hl=es&sa=X&ei=6LtrVOrRGciqNpGrgOAL&ved=0CDsQ6AEwCA#v=onepage&q=microscopio%20petrogr](http://books.google.com.gt/http://books.google.com.gt/books?id=uRQPAQAIAAJ&pg=PR5IA12&lpg=PR5IA12&dq=microscopio+petrogr%C3%A1fico+suelo&source=bl&ots=B4qT_Va8hE&sig=YeRtsqRMDNhIX6Zo4_KQgRRTZ_8&hl=es&sa=X&ei=6LtrVOrRGciqNpGrgOAL&ved=0CDsQ6AEwCA#v=onepage&q=microscopio%20petrogr)
3. FAUSAC. (2007). Normativos de la Facultad de Agronomía. Guatemala: Verónica Archila.
4. Fausac uviger. (4 de Junio de 2012). prezi.com. Obtenido de UVIGER: <http://prezi.com/zntyojake69g/uviger/>
5. Justo, Á., & Morillo, E. (1,999). Técnicas de difracción de Rayos X para la identificación cualitativa y cuantitativa de minerales de la arcilla. Obtenido de <http://digital.csic.es/http://digital.csic.es/bitstream/10261/79501/4/T%C3%A9cnicas%20de%20difracci%C3%B3n%20de%20rayos%20X.pdf>
6. MAGA. (2010). Estudio Semidetallado de los Suelos del Departamento de Chimaltenango, Guatemala (Vol. II). Guatemala: Ediciones Don Quijote, S.A.
7. MAGA. (2013). Estudio Semidetallado de los Suelos de Sacatepéquez, Guatemala (Vol. I). Guatemala: Ediciones Don Quijote, S. A.
8. MAGA. (2013). Estudio Semidetallado de los Suelos del departamento de Sololá, Guatemala (Vol. II). Guatemala: Ediciones Don Quijote, S. A.

9. Mercé Bergadá, M. (s. a.). Estudio Micromorfológico de la Balma de la Griera (Calafell, Tarragona): Análisis Sedimentario y Reconstrucción Paleoambiental. Obtenido de [http://tierra.rediris.es/http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol12\\_2/Cuaternario12\(3-4\)\\_03.pdf](http://tierra.rediris.es/http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol12_2/Cuaternario12(3-4)_03.pdf)
10. TvAgroMedia. (22 de Julio de 2013). YouTube. Obtenido de UVIGER: <https://www.youtube.com/watch?v=S2njPoJSkfs>
11. USDA. (2006). Claves para la taxonomía de suelo décima edición, 2006. Obtenido de [http://mazinger.sisib.uchile.cl/http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\\_agronomicas/u2008411230spanish\\_keys.pdf](http://mazinger.sisib.uchile.cl/http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/u2008411230spanish_keys.pdf)



## 1.10 Anexo

### 1.10.1 Cuestionario utilizado durante las entrevistas a los representantes de los laboratorios de Análisis de Suelos

Diagnóstico de los análisis de laboratorio necesarios para su uso en la clasificación de suelos y tierras utilizados en Guatemala

El siguiente cuestionario busca recopilar información del estado actual de los principales laboratorios en cuanto al método y medio de medición utilizados en sus análisis de suelo físicos y químicos para luego ser utilizados por los edafólogos en la clasificación de suelos del país de Guatemala utilizando el mínimo de análisis necesarias según la metodología utilizada por el MAGA basados en su estudio semidetallado del departamento de Chimaltenango.

#### 1. Nombre de la institución\*Obligatorio

#### 2. Tipo de institución\*Obligatorio

- Publica
- Privada
- Académica
- Otra

**3. Dirección electrónica de la institución visitada\*Obligatorio****4. Nombre del Entrevistado\*Obligatorio** Preferible que sea el responsable del laboratorio**Análisis Físico de Suelo****5. Análisis de Granulometría (Método)\*Obligatorio**

- Pipeta
- Bouyoucos
- Tacto (campo)
- Tamiz
- Otra
- No se realiza

**6. Densidad Aparente (Método)\*Obligatorio**

- Probeta
- Cilindro
- Agujero de volumen conocido (método de campo)
- Terrón Impermeabilizado
- No se realiza

**7. Densidad Real (Método)\*Obligatorio**

- Picnómetro
- Probeta
- Otro
- No se realiza

**8. Retención de Humedad (Método)\*Obligatorio**

- Olla de presión + Platos de cerámica
- No se realiza

**9. Color del suelo\*Obligatorio**

- Si
- No

**Método\*Obligatorio**

- Tabla munsell
- Otro
- No aplica

**10. Estructura del suelo\*Obligatorio**

- Si
- No

**Método\*Obligatorio**

- Morfológico
- Cuantitativo (tamiz)
- Otro
- No aplica

**11. Coeficiente de extensión lineal (COLE)\*Obligatorio**

- Si
- No

**Análisis Mineralógicos****12. Mineralogía de suelos\*Obligatorio**

- de Arcilla
- de Arena
- No se realiza
- Se envían a un laboratorio fuera del país

**Mineralogía de Arcilla (Método)\*Obligatorio**

- Difracción de rayos X
- Análisis térmico diferencial (ATD)
- Químico
- Otro
- No aplica

**Mineralogía de Arena (Método)\*Obligatorio**

- Análisis Óptico
- Otro
- No aplica

**Análisis Micromorfológicos****13. Realiza a nivel micromorfológico \*Obligatorio**

- Si
- No

**Si fue positiva su respuesta indique quien realiza los análisis y cuales análisis realiza**

## Análisis Químicos

### 14. pH medio acuoso\*Obligatorio

- En Agua
- En KCl
- En CaCl<sub>2</sub>
- Otro
- No se realiza

### Método de medición\*Obligatorio

- Potenciómetro
- Papel indicador
- Otro
- No aplica

### Relación Suelo:Agua\*Obligatorio

- Relación suelo : agua 1:2
- Relación suelo : agua 1:2.5
- Relación suelo : agua 1:3
- Otro
- No aplica

**15. Carbono Orgánico (Método)\*Obligatorio**

- Walkley Black (modificado)
- Valoración de CO<sub>2</sub>
- Oxidación con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
- Oxidación de M.O. (modificado)
- No se realiza

**16. Carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>)\*Obligatorio**

- Si
- No

**Medio de extracción\*Obligatorio**

- HCl 1 [N] o HCl al 10%
- Otro
- No aplica

**17. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)\*Obligatorio**

- Si
- No

**Método de extracción\*Obligatorio**

- Acetato de Amonio 1 [N] a pH 7.0
- BaCl<sub>2</sub>-TEA
- Otro
- No aplica

**18. Ca, Mg, Na, K (Bases intercambiables)\*Obligatorio**

- Si
- No

**Solución extractora\*Obligatorio**

- Acetato de Amonio 1 [N] a pH 7.0
- Otro
- No aplica

**19. Fijación de fosfatos\*Obligatorio**

- Si
- No se realiza



**Método\*Obligatorio**

- Adsorción
- Otro
- No aplica

**20. Hierro, Aluminio (activo) y Silicio\*Obligatorio**

- Si
- No

**Método\*Obligatorio**

- Ditionito de sodio
- Oxalato ácido de amonio
- Otro
- No aplica

**21. Índice Melánico\*Obligatorio**

- Si
- No

**Método\*Obligatorio**

- Campo
- Laboratorio
- Otro
- No aplica

**Medio de detección\*Obligatorio**

- % de transmitancia a 450 nm y 520 nm
- Otro ¿Cuál?
- No aplica

## **Capítulo II**

### Informe de investigación

Identificación de los principales factores que limitan la sostenibilidad del suelo con fines de producción agrícola en el departamento de Escuintla, Guatemala, C. A.

Identification of the main factors limiting the sustainability of soil for agricultural production in the department of Escuintla, Guatemala, C.A.



## 2.1 Introducción

El suelo es el conjunto de agua, minerales, gases y materia orgánica, donde la forma para conocer la presencia de nutrientes en forma de minerales o compuestos químicos es mediante los análisis de laboratorio de suelos los cuales son los encargados de orientar al técnico para discutir el estado actual de dicho suelo y con esto poder establecer las condiciones para poder aprovechar el suelo.

Es por ello la necesidad de visitar las instituciones y obtener los datos disponibles que estas entidades ofrezcan, para poder crear una base de datos compilada a través de la mayor cantidad de estudios hechos por dichas instituciones públicas y privadas, con la información obtenida en este departamento se logró generar resultados más precisos sobre los factores limitantes de la producción agrícola.

Debido a la necesidad de recursos financieros, personal calificado y proyectos a nivel regional aún no se cuenta con un estudio que exprese el estado actual de los suelos a nivel de región, cabe mencionar que actualmente el MAGA se encuentra realizando estudios a nivel de semidetalle para 8 departamentos del país pero hasta la fecha han logrado presentar 3 departamentos además existe un esfuerzo por parte del CIAT<sup>3</sup> y EMBRAPA<sup>4</sup> con la colaboración de 20 países latinoamericanos por medio de la plataforma SISLAC<sup>5</sup> que busca crear un repositorio de información de análisis de suelos para su consulta en línea a nivel regional y con esto crear el Atlas de mapa de suelos a nivel de Latinoamérica a una escala 1:1,000,000.

Escuintla actualmente no cuenta con documentos que muestren el comportamiento a nivel departamental de factores físicos o factores químicos tanto por falta como por exceso de estos que puedan limitar la producción agrícola.

La información generada mediante análisis de laboratorio de suelo por las instituciones públicas y privadas de Guatemala ha llevado en la actualidad a tener clasificaciones de

---

<sup>3</sup> CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical

<sup>4</sup> EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria

<sup>5</sup> SISLAC: Sistema de Información de Suelos de Latinoamérica

suelos a nivel nacional siendo este el documento “Primera Aproximación al Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala, donde los análisis de laboratorio de suelo fueron base importante para completar la clasificación taxonómica de suelos.

A nivel departamental los recientes documentos presentados por el MAGA son los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez y Sololá, con las descripciones de dichas áreas departamentales donde se respaldan utilizando los análisis de laboratorio de suelos obtenidos para poder deducir los tipos de suelos por departamento, además con esto dar a conocer los resultados físicos y químicos y las recomendaciones de uso de insumos a nivel local para su producción, mas sin embargo existe mucha información generada por otras instituciones relacionadas al uso de suelo como el caso de las tesis de la FAUSAC<sup>6</sup>, Análisis físico-químicos de suelos por parte de laboratorios de suelo privados, Estudios a nivel de zonas productoras como el caso de ANACAFE<sup>7</sup> para la zona cafetalera y CENGICANÑA<sup>8</sup> para la zona cañera del país, entre otras.

Con la presente investigación se buscó aprovechar los estudios realizados por instituciones públicas y privadas que hasta la fecha hayan producido, utilizado, y/o almacenado información referente a estudios de suelos para determinar si existe limitantes físicas y/o químicas en el departamento de Escuintla.

Con la información obtenida se decidió estudiar a la Materia Orgánica (M.O.), los factores químicos como el Potencial de hidrógeno (pH), Capacidad de Intercambio Catiónico, Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Sodio (Na) para identificar si existen áreas con limitaciones para el desarrollo de actividades agrícolas en el departamento.

Otro motivo de estudiar al departamento de Escuintla en cuanto a su limitante agrícola fue la naturaleza del avance en el estudio de estos suelos al ser aprovechados principalmente para la producción de caña de azúcar, café y maíz, generando esto una buena cantidad de documentos, estudios y reportes, además por la facilidad para movilizarse al momento de realizar las consultas y reuniones para acceder a esta información.

---

<sup>6</sup>FAUSAC: Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala

<sup>7</sup>ANACAFE: Asociación Nacional del Café Guatemala

<sup>8</sup>CENGICANÑA: Centro Guatemalteco de Capacitación e Investigación de la Caña de Azúcar

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Marco conceptual**

#### **A Factores limitantes para la producción agrícola**

Los factores limitantes de la producción agrícola son aquellas propiedades y características del ambiente geográfico que influyen negativamente en el desarrollo de los cultivos. (Morell, López, & Hernández, 2008, pág. 17)

Los factores limitantes para la producción agrícola pueden ser:

1. Relacionados con el entorno geográfico
2. Por las características edafológicas
3. Degradación por acción antropogénica

#### **a Factores limitantes por el entorno geográfico**

Los suelos sufren pérdida de sus componentes debido a la erosión que estos sufren por acción del viento (erosión eólica) y precipitación (erosión hídrica) donde la pendiente dada por el relieve del suelo afectara en mayor cantidad las áreas que presenten mayor altitud. (Buol, Hole, & McCracken, 1988, pág. 145).

Cuando la precipitación pluvial cae directamente sobre el suelo produce la disgregación de los agregados del suelo en partículas más pequeñas creando con esto una laminilla superficial que reduce la infiltración del suelo y con esto se produce la escorrentía. (FAO, 1992)

La erosión produce un gran efecto en la degradación de un suelo al cambiar una o más propiedades del suelo a condiciones inferiores a las originales. (FAO, 1992)

Un suelo agrícola se vuelve menos productivo debido a la degradación de la estructura del suelo, disminución de la materia orgánica, pérdida de suelo y pérdida de nutrientes. (FAO, 1992)

Al ser mayor la precipitación que la infiltración la escorrentía arrastra materia orgánica, suelo y nutrientes, afectando la fertilidad de estas áreas. (Sánchez, 1981)

## **b Factores limitantes del suelo**

Estos factores limitantes se dividen en factores físicos y químicos, los factores limitantes físicos son aquellos que afectan al movimiento del agua, aire y nutrientes en el suelo donde estos factores influyen el desarrollo de la raíz y producción de las plantas estos son la profundidad efectiva, Pedregosidad, compactación, textura del suelo, estructura del suelo, densidad del suelo y compactación. (Morell, López, & Hernández, 2008)

Los factores químicos son aquellos que afectan al suelo mediante la acidez, salinidad, la capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, organismos del suelo y disponibilidad de los nutrientes en el suelo. (Morell, López, & Hernández, 2008)

## **i Factores limitantes físicos del suelo**

Estos influyen en el desarrollo radical y producción de las plantas.

- **Profundidad efectiva del suelo**

Esta es la máxima profundidad que un suelo es capaz de ser penetrado por el sistema radicular de un cultivo hasta el horizonte "R" (roca), capas endurecidas o niveles freáticos del suelo. (INAB, 1998, pág. 24)

La necesidad de la planta en cuanto a la profundidad del suelo estará dada por el cultivo en producción y su fase fenológica. Entre más profundo sea un suelo mayor será la reserva o contenido de nutrientes, agua y el espacio para el desarrollo radicular. (INAB, 1998, pág. 24)

- **Pedregosidad**

Esta es la presencia de partículas mayores a los 4.5 centímetros de diámetro donde se considera como no limitante cuando estas gravas se encuentran distribuidos en la superficie del suelo en un porcentaje menor o igual al 20%. Cuando estas gravas están arriba del 20% se puede definir como una limitante para uso agrícola ya que dificultan principalmente la labranza del suelo. (INAB, 1998, pág. 24)

- **Granulometría del suelo**

Llamada también composición granulométrica, la textura del suelo se clasifica en categorías una vez han sido destruido los agregados del suelo llevándolos a partículas



iguales o inferiores a 2 mm, denominando a esto como “tierra fina”. (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975, pág. 26) (Ver cuadro 5).

Cuadro 5. Tamaño de las partículas texturales en el suelo según la Asociación Internacional de Ciencia del Suelo

Partícula	Tamaño
Arena gruesa	0.2 mm – 2 mm
Arena fina	50 $\mu$ – 0.2mm
Limos grueso	20 $\mu$ – 50 $\mu$
Limos finos	2 $\mu$ – 20 $\mu$
Fracción fina	Inferior a 2 $\mu$

Fuente: (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975)

Existen 12 clases texturales que indican el porcentaje de arcilla, limo y arena contenidos en un suelo utilizando para esto se usa un diagrama en forma de triángulo donde 3 rectas paralelas sobre este indican la clase textural que representa el suelo en estudio. (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975, pág. 28), (Ver cuadro 6).

Cuadro 6. Clases texturales del suelo

Clase textural	Código
Arcillosa	A
Arcillo Limosa	AL
Arcillo Arenosa	AA
Franco Arcillosa	FA
Franco Arcillo Limosa	FAL
Franco Arcillo Arenosa	FAA
Franca	F
Franco Limosa	FL
Franco Arenosa	FAr
Areno Francosa	AF
Limo	L
Arena	A

Fuente: (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975)

La figura 22 es un diagrama triangular para identificar el tipo de textura de un suelo en estudio:

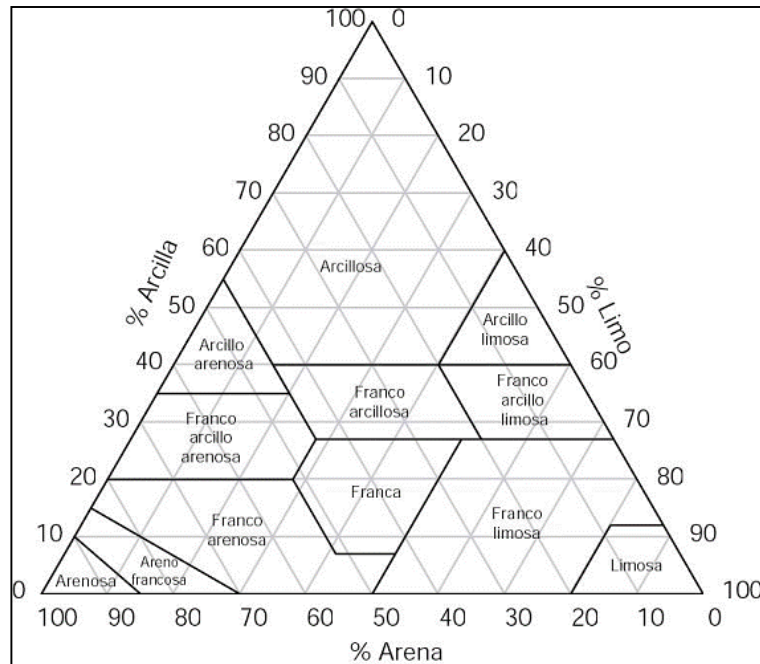


Figura 22. Triángulo para determinar la clase textural de un suelo

- **Estructura del suelo**

Relacionada con la textura del suelo, la estructura en grumos o estructura particular muestra el estado de los coloides del suelo que están “*floculados formando parte de agregados elementales como la estructura en grumos o por el contrario estar dispersos como la estructura particular*”. (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975, pág. 32)

La estructura es importante debido a que influyen en la aireación del suelo, resistencia a la erosión, penetración de las raíces, lavado de suelos y su permeabilidad. (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975, pág. 32)

Los suelos que presentan una estructura grumosa estable tienen las ventajas de lavarse poco por acción de la escorrentía, su permeabilidad es elevada, además de conservar reservas de agua en el interior de los grumos. (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975, pág. 33)

Los suelos que presentan estructura dispersa (estructura particular) y pobres en elementos finos (arcillas), presentan permeabilidad media, están sujetos al lavado además de faltos de cohesión. (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975, pág. 33)

Los suelos con estructura dispersa ricos en elementos finos, presentan una permeabilidad baja y el lavado es reducido por el hinchamiento de los coloides en presencia de agua por lo tanto se vuelve un suelo asfixiante por la falta de aireación. (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975, pág. 33)

Los suelos ricos en arcilla al estar sometidos a la estación seca producen retracción creando fisuración de la masa del suelo dividiéndose en elementos angulosos. (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975, pág. 33)

Esta fracción es la que un mayor papel juega en cuanto a la nutrición de la planta debido a que las arcillas son minerales cristalinos que se constituyen por átomos de silicio, aluminio, hierro, magnesio, oxígeno y grupos oxidrilos, ordenados espacialmente. (López Ritas & López Melida, 1978, pág. 24)

Los átomos anteriormente descritos hacen posible la sustitución de aluminio por el silicio, el magnesio y hierro sustituyen a los átomos de silicio creando con esto cargas que necesitan ser equilibradas con los denominados cationes de cambio que son: Calcio, Magnesio, Potasio. Sodio, Amoniacó que se encuentran en la solución del suelo. (López Ritas & López Melida, 1978, pág. 24)

En cuanto más arcilla presente un suelo mayor será su capacidad de intercambio catiónico, donde las vermiculitas tienen mayor intercambio que una montmorillonitas esta a su vez tiene mayor capacidad que una arcilla illitas y esta tiene mayor capacidad que una caolinita. (López Ritas & López Melida, 1978, pág. 24)

- **Compactación**

Según Donahueetal. (1981) se llama compactación del suelo a la pérdida de volumen que sufre una masa de suelo debido a fuerzas externas que actúan sobre el suelo. Las fuerzas externas en la actividad agrícola están dadas por:

- Uso de los Implementos de labranza del suelo.
- Pisoteo de animales en los terrenos.
- Cargas producidas por los neumáticos de tractores e implementos de arrastre al momento de preparar el área a cultivar.
- Los suelos arados a la misma profundidad durante muchos años

Al compactarse el suelo se produce un aumento en su densidad aparente, aumenta su resistencia mecánica, destruye y debilita la estructura del suelo. (Donahue, Miller, & Schickluna, 1981)

Todo esto hace disminuir la porosidad del suelo, y los efectos de la compactación producen un menor desarrollo del sistema radicular de los cultivos por lo tanto genera una menor producción de los cultivos. (Donahue, Miller, & Schickluna, 1981)

- **Erosión**

La erosión son aquellos efectos que causan una degradación del suelo creando una disminución en la fertilidad del suelo. La erosión del suelo es causada principalmente por la lluvia y el viento.

Algo importante de mencionar es que la erosión natural causada por el agua (lluvias principalmente) y el viento en las zonas altas de un área son las causantes de la edafogénesis (creación de nuevo suelo) en las zonas bajas de dichas áreas creando lo que generalmente se conoce como un valle fértil apto para la agricultura. (OCEANO, s. f., pág. 70)

Cuando la erosión es causada por el agua se le conoce como erosión hídrica la cual puede ocasionarse en tres diferentes formas

- Golpe de gotas de lluvia al suelo
- Por escorrentía
- Flujo canalizado que es el causante de la formación de cárcavas

Cuando la erosión es causada por el viento se le conoce como erosión eólica esta se logra observar en el campo como nubes de polvo o remolinos que desplazan las partículas más finas de suelo que se encuentran en la superficie terrestre.

También existe la erosión causada por la actividad humana la cual se resume como la ocupación de áreas de suelo destinadas para agricultura, construcciones, embalses y otros tipos de infraestructura. (OCEANO, s. f., pág. 71)

- **Inundación**

Una inundación es un desbordamiento del agua fuera de su cauce sea este natural o artificial. Los factores por los que ocurre obedecen a las alteraciones que los cauces sufren ya sean naturales como la erosión, o artificiales debido a la acción humana. La causa de una inundación principalmente obedece al exceso de precipitación generando esto escorrentía, en lugares con climas fríos se da por la derretimiento de la nieve en las partes altas generando un exceso de líquido en los cauces. (Salas Salinas & Jiménez Espinosa, 2013)

También la actividad humana es causa de inundaciones por ejemplo donde la tala de bosques asociado con la actividad agrícola desnuda los suelos generando que el agua de lluvia lleve ahora materiales en suspensión o por arrastre y sature los cauces de los cuerpos de agua. (MAGA, INSIVUMEH & MICIVI, 2002)

Los efectos de una inundación son desde la pérdida de vida de los seres que habitan las cercanías de los cauces hasta la pérdida de cultivos, aparición de hambre, plagas, enfermedades etc. (MAGA, INSIVUMEH & MICIVI, 2002)

## **ii Factores limitantes químicos del suelo**

Estos factores influyen en la disponibilidad de los elementos o nutrientes en el suelo.

- **Potencial de hidrógeno del suelo**

Conocida como Potencial de hidrógeno se refiere a la acidez actual del suelo y es el cologaritmo (logaritmo negativo) de la concentración de iones  $H^+$  en estado libre (activo) dentro de la solución del suelo. (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975, pág. 96)

Según (Sánchez, 1981, pág. 227) el catión aluminio ( $Al^{+++}$ ) es el principal causante de la acidez en un suelo ya que los iones de Hidrógeno producidos por la descomposición de la materia orgánica al ser inestables en los suelos minerales debido a su reacción con arcillas de silicato laminares, liberan aluminio intercambiable y ácido silicio.

El Potencial de hidrógeno varía de 0 a 14 donde la neutralidad se alcanza a un Potencial de hidrógeno 7, Según (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975) cuando se habla de suelos ácidos estos se agrupan de la siguiente manera:

1. Suelos muy ácidos son aquellos que presentan un Potencial de hidrógeno menor a 5
2. Suelos ligeramente ácidos son los que presentan un Potencial de hidrógeno entre 5 y 6
3. Suelos neutro son aquellos que presentan Potencial de hidrógeno igual a 7
4. Suelos Alcalinos presentan Potencial de hidrógeno superior a 7 y una reacción básica.

La acidez o alcalinidad de un suelo repercute directamente sobre los nutrientes disponibles en el suelo al inmovilizarlos, ya que los nutrientes necesitan de un estado donde el nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio prefieren suelos desde ligeramente ácidos pasando por suelos neutros a suelos ligeramente alcalinos. (Salgado García, Palma López, Lagunez Espinoza, & Castelán Estrada, 2006, pág. 6)

Según el diagrama de Emil Truog el potencial de Hidrógeno del suelo se puede clasificar según su grado de acidez o alcalinidad (ver cuadro 7), donde la zona de color gris muestra el potencial de hidrógeno donde los elementos se encuentran disponibles en el suelo para el aprovechamiento por las raíces de las plantas.

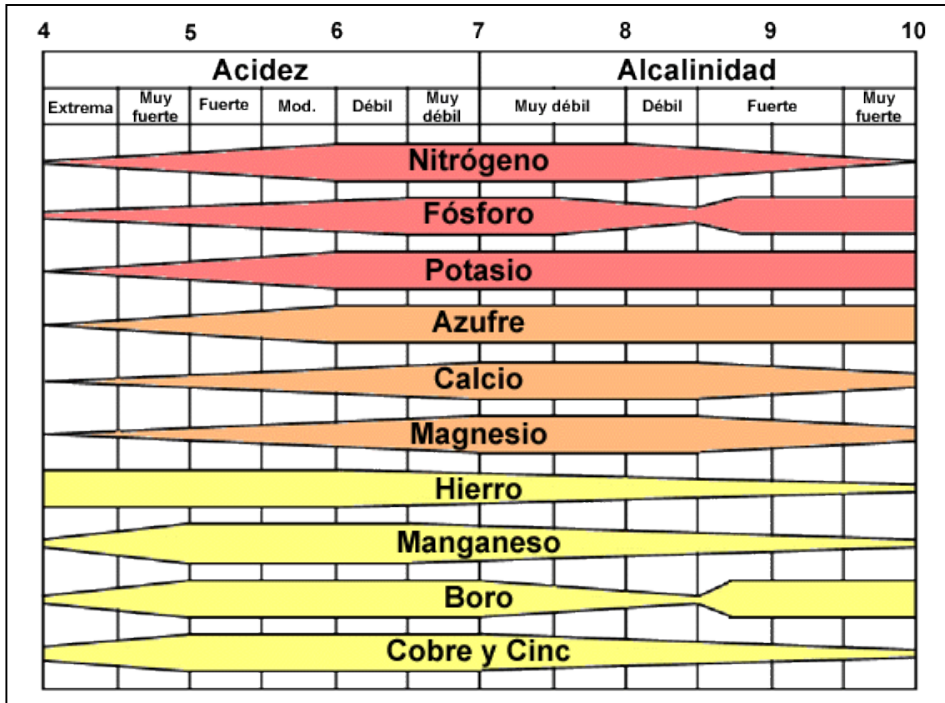
Cuadro 7. Acidez y alcalinidad del suelo según Emil Troug

Potencial de hidrógeno	Estado	N	P	K y S	Ca y Mg	Fe	Mg	B	Cu y Zn
4	Ácido	Extrema				■			
4.5		Muy Fuerte				■			
5		Fuerte				■	■	■	■
5.5		Moderada				■	■	■	■
6		Débil	■		■		■	■	■
6.5		Muy débil	■	■	■			■	■
7		Neutro		■	■	■			■
7.5	Alcalino	Muy débil	■	■	■				
8			■		■				
8.5		Débil			■	■			
9		Fuerte			■				
9.5					■				
10		Muy Fuerte			■				

Fuente: Emil Troug

Los nutrientes hierro, manganeso, boro, cobre y zinc están disponibles para la planta en suelos con Potencial de hidrógeno ácidos a ligeramente ácidos.

La figura 23 muestra la disponibilidad de los nutrientes en función del Potencial de hidrógeno (pH) del suelo donde un suelo con Potencial de hidrógeno de 6.5 a 7.5 es el que mayor disponibilidad de nutrientes ofrece. (Salgado García, Palma López, Lagunez Espinoza, & Castelán Estrada, 2006)



Fuente: grupos.emagister.com

Figura 23. Diagrama de disponibilidad de nutrientes según potencial de hidrógeno del suelo (Emil Truog)

- **Materia orgánica**

Se le denomina materia orgánica a todos los restos vegetales y animales que se depositan sobre el suelo siendo esto la principal fuente de abastecimiento como hojas tallos, ramas, raíces entre otros.

Producto del actuar de los microorganismos sobre la materia orgánica esta es transformada y mineralizada en elementos minerales solubles y gaseosos cuando la degradación es rápida. Cuando la degradación de la Materia Orgánica es lenta esta forma complejos húmicos dado su resistencia contra el actuar de los microorganismos sobre esta. (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975)

La materia orgánica tiene las propiedades de mejora la capacidad de intercambio catiónico ya que aporta cargas al complejo de cargas, logra un amortiguamiento en el Potencial de hidrógeno. La formación de quelatos es otra propiedad de la descomposición de la materia



orgánica al envolver elementos metálicos. (Salgado García, Palma López, Lagunez Espinoza, & Castelán Estrada, 2006)

La mineralización de la materia orgánica forma componentes simples como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4$ , Ca, Mg entre otros. La interpretación del porcentaje de la materia orgánica en el suelo se observa en el cuadro 8.

Cuadro 8. Clasificación de la materia orgánica en el suelo según su contenido en %

Interpretación	Materia Orgánica (%)
Muy Bajo	<2%
Bajo	2-5
Medio	5-8
Alto	8-15
Muy Alto	>15

Fuente: (Fassbender & Bornemisza, 1987)

- **Salinidad del suelo**

Los suelos salinos se clasifican mediante dos criterios, siendo estos:

- **Contenido total de sales solubles**

Son aquellos compuestos inorgánicos más solubles que el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) las sales solubles en el suelo están compuestas de cationes sodio ( $\text{Na}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) y por aniones cloro ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{--}$ ) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3^{--}$ ). (Donahue, Miller, & Schickluna, 1981)

Estos compuestos se forman debido a la meteorización de rocas con dichos cationes y aniones donde la génesis se da al estar en zonas áridas y semiáridas donde los suelos presentan drenaje deficiente y la evaporización es alta crenado con esto las llamadas costras. (Ruiz Cerda, Aldaco Nuncio, Montemayor Trejo, Forti Hernández, Olague Ramírez, & Villagómez Gamboa, 2007, págs. 19-20)

En algunos suelos las sales aumentan ya que el agua de infiltraciones no sigue su paso sino se evapora o el agua utilizada para regar es mínima lo que ocasiona que no ocurra un lavado. (Donahue, Miller, & Schickluna, 1981, págs. 263-264)

- **Porcentaje de sodio intercambiable**

Este es el porcentaje de sodio intercambiable dividido entre el total de cationes intercambiables esto multiplicado por 100. El suelo adsorbe sodio debido al paso del agua salada por la fracción arcillosa del suelo, la presencia de mucho sodio en el suelo causa un cambio de Potencial de hidrógeno entre los 8 y 10 además de la desintegración de los agregados del suelo. (Donahue, Miller, & Schickluna, 1981, pág. 264)

Según (Donahue, Miller, & Schickluna, 1981) al contar con la medida de las sales solubles y el porcentaje de sodio intercambiable se puede clasificar a estos suelos como:

Suelo salino aquel que donde el porcentaje de sodio intercambiable es menor al 15% pero su conductividad eléctrica es igual o mayor a 4 milimhos/cm, a estos se les conocía también como álcali blancos.

Suelo sódico este presenta una conductividad eléctrica menor a 4 milimhos/cm pero su porcentaje de sodio intercambiable es mayor al 15%. Anteriormente se les conocía como álcali negro.

Suelo salino-sódico aquí el porcentaje de sodio intercambiable es mayor a 15% y la conductividad eléctrica es mayor a los 4 milimhos/cm.

Por lo tanto un suelo no sódico (normal) es aquel que presenta una conductividad eléctrica menor a 4 milimhos/cm y presentan menos del 15 % de sodio intercambiable.

- **Capacidad de intercambio catiónico**

La Capacidad de Intercambio Catiónico como se le conoce también, es la medida que se da al suelo para establecer su fertilidad bruta y se expresa como retención de cationes en un peso de suelo, estos cationes están retenidos alrededor de coloides electronegativos del suelo, compuestos húmicos y arcillas que forman enjambres de cationes adheridos expresados como  $\text{Cmol}^+/\text{kg}$  de suelo. (Duchaufour, Bonneau, Jacquin, & Souchier, 1975, pág. 85)

Estos cationes son iones Hidrógeno ( $\text{H}^+$ ), cationes metálicos como Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ), Sodio ( $\text{Na}^+$ ) y en pequeñas cantidades Amonio ( $\text{NH}_4$ ),

Manganeso ( $Mn^{++}$ ), Cobre ( $Cu^{++}$ ), Zinc ( $Zn^{++}$ ). El Aluminio ( $Al^{+++}$ ) es otro catión que se encuentra en abundancia en suelos ácidos.

Un catión en el suelo puede estar disuelto en una solución, en forma cambiante y en forma no cambiante como componente de la porción sólida del suelo. Los valores que pueden obtener suelos minerales de Capacidad de Intercambio Catiónico van desde 3  $Cmol^+/kg$  de suelo hasta 35  $Cmol^+/kg$  de suelo y en el caso del compuesto orgánico húmico oscilan entre 120  $Cmol^+/kg$  de suelo a 180  $Cmol^+/kg$  de suelo (López Ritas & López Melida, 1978, págs. 111-112).

## **B Macro nutrientes primarios**

Estos nutrientes se requieren en altas cantidades en la planta.

Según (Salgado García, Palma López, Lagunez Espinoza, & Castelán Estrada, 2006, pág. 11) estos son el Nitrógeno (N) absorbidos en formas de nitratos ( $NO_3^-$ ), Amonio ( $NH_4^+$ ), urea ( $CO(NH_2)_2$ ), amidas y aminoácidos.

El Fósforo (P) absorbido en forma de Fosfato di ácido ( $H_2PO_4^-$ ), fosfato mono ácido ( $HPO_4^{2-}$ ).

EL Potasio (K) absorbido en forma de catión  $K^+$ .

## **C Macro nutrientes secundarios**

Según (Salgado García, Palma López, Lagunez Espinoza, & Castelán Estrada, 2006, pág. 35), estos nutrientes se requieren en las plantas en menores cantidades que los macro nutrientes primarios, siendo estos:

El Calcio (Ca) absorbido en forma de catión  $Ca^{++}$

El Magnesio (Mg) absorbido en forma de catión  $Mg^{++}$

EL Azufre (S) absorbido en forma de sulfato ( $SO_4^{2-}$ )

**D Absorción de nutrientes en su forma química**

(Salgado García, Palma López, Lagunez Espinoza, & Castelán Estrada, 2006) Indica que los nutrientes son absorbidos por la planta mediante la raíz y estos presentan estado catiónico que hace referencia a cargas positivas y el aniónico que hace referencia a las cargas negativas de los elementos o compuestos.

Los elementos o compuestos catiónicos son: el Nitrógeno ( $\text{NH}_4^+$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ), Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), Manganeseo ( $\text{Mn}^{++}$ ), Zinc ( $\text{Zn}^{++}$ ), Cobre ( $\text{Cu}^{++}$ ) y Hierro ( $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{+++}$ ).

Los elementos o compuesto aniónico son: el Nitrógeno ( $\text{NO}_3^-$ ), fósforo ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), Azufre ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), Boro ( $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ,  $\text{B}(\text{OH})_4^-$ ,  $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ ), Molibdeno ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{HMoO}_4^-$ ) y Cloro ( $\text{Cl}^-$ ).

**E Movimiento de los nutrientes en el suelo**

Según (Salgado García, Palma López, Lagunez Espinoza, & Castelán Estrada, 2006, pág. 12), en el suelo la raíz puede tener acceso a los nutrientes mediante tres tipos de movimientos siendo: Difusión, Flujo de Masas e Intercepción.

## 2.2.2 Marco referencial

### A Ubicación política del departamento de Escuintla

El presente estudio se llevó a cabo en el departamento de Escuintla. La figura 24 muestra la ubicación espacial y las colindancias con los demás departamentos de la República de Guatemala.

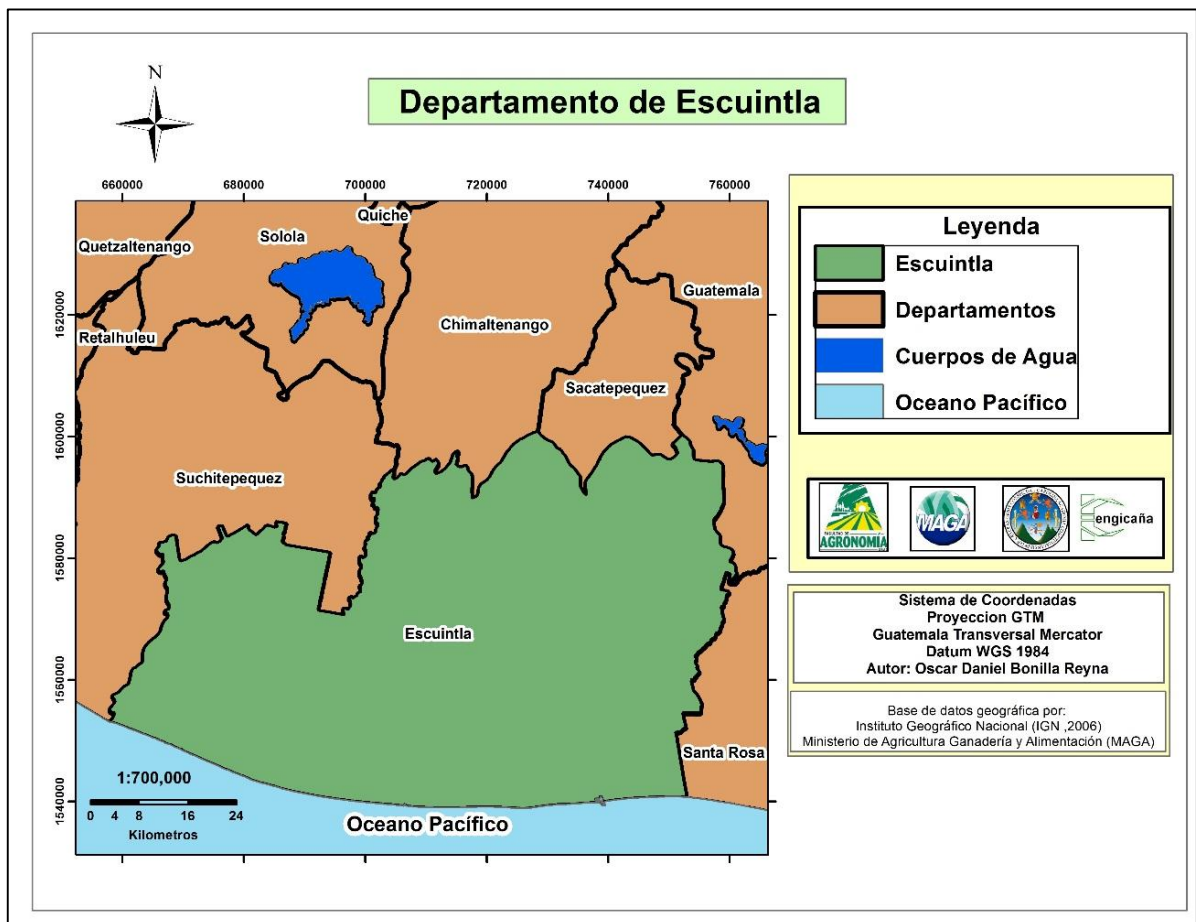


Figura 24. Ubicación geográfica del departamento de Escuintla

## B Descripción biofísica

### a División política

EL departamento de Escuintla, se divide en trece municipios con un área total de 4,495.57Km<sup>2</sup>. (MAGA, 2006)

La ubicación geográfica del municipio de Escuintla dentro del país de Guatemala se muestra en la figura 24, los nombres de los municipios se presentan en la figura 25 y su extensión territorial se resumen en el cuadro 9.

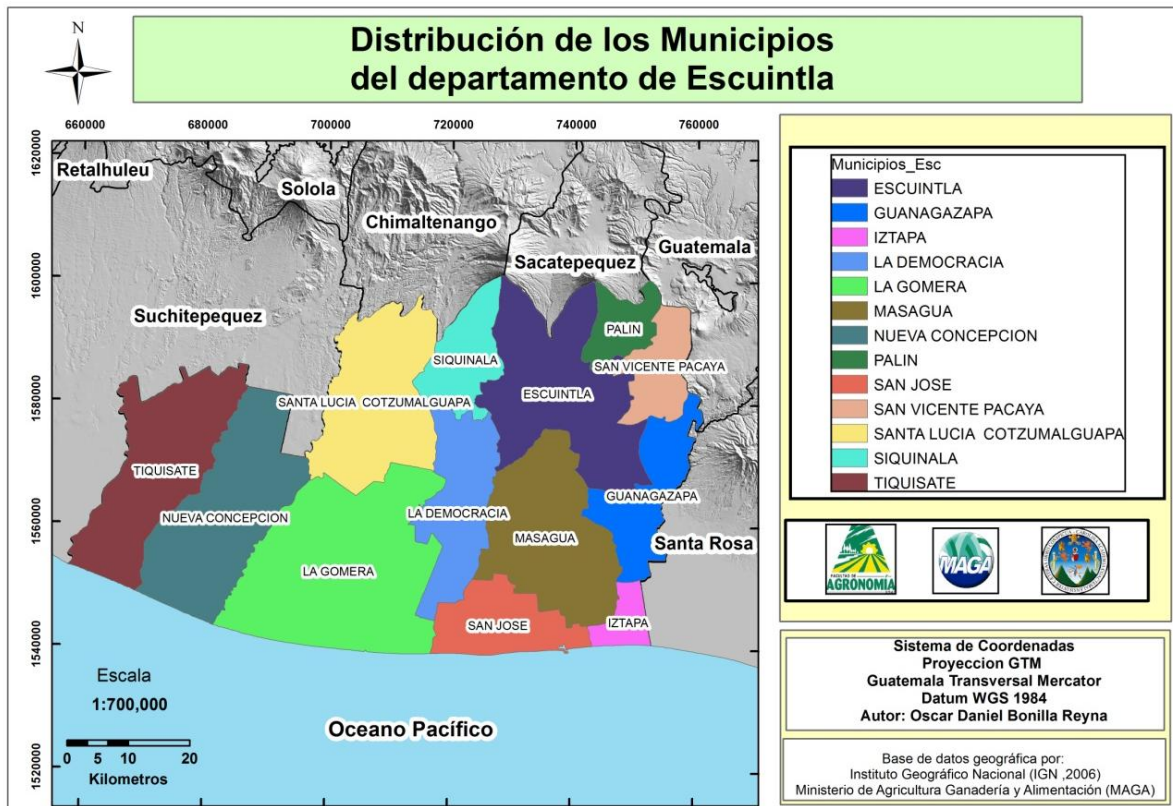


Figura 25. Municipios del departamento de Escuintla

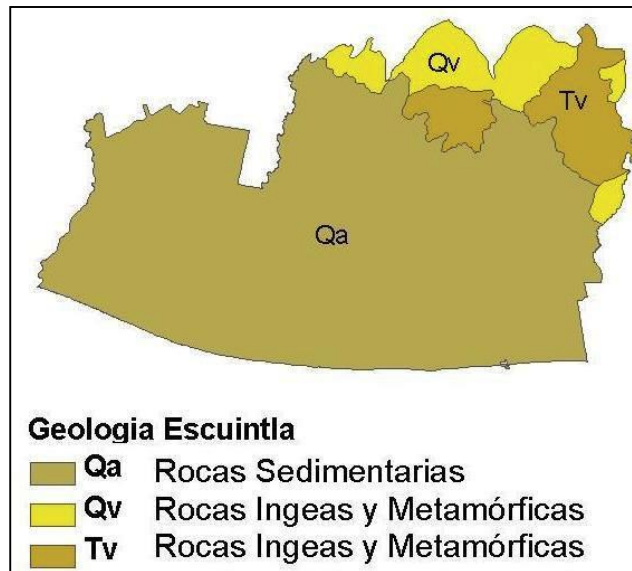
Cuadro 9. División política de los municipios del departamento de Escuintla

<b>No.</b>	<b>Municipio</b>	<b>Extensión Territorial (Km<sup>2</sup>)</b>
1	<b>Escuintla</b>	554.2014
2	<b>Tiquisate</b>	471.3578
3	<b>Nueva Concepción</b>	527.0142
4	<b>Santa Lucía Cotzumalguapa</b>	456.1173
5	<b>La Gomera</b>	800.5701
6	<b>Siquinalá</b>	168.1661
7	<b>La Democracia</b>	292.7005
8	<b>Masagua</b>	473.7950
9	<b>Puerto San José</b>	214.9882
10	<b>Palín</b>	110.6397
11	<b>San Vicente Pacaya</b>	150.7022
12	<b>Guanagazapa</b>	218.4618
13	<b>Puerto de Iztapa</b>	56.8535
<b>Total</b>		<b>4495.5678</b>

Fuente: (MAGA, 2006)

## **b Geología**

Escuintla por su ubicación geográfica presenta geología desarrollada sobre material fluvio volcánico a elevaciones bajas, este departamento se encuentra ubicado en la franja litoral del pacifico y su principal material de formación geológica está compuesto por aluviones del cuaternario (Qa) el cual se observa en la figura 26.



Fuente: (MAGA, 2005)

Figura 26. Geología de Escuintla

EL aluvión cuaternario (Qa) es producto de los deslizamientos de arcilla, avalanchas volcánicas y material arrastrado por la precipitación pluvial, creando la llanura costera del pacífico caracterizada por planicies de poca ondulación y con problemas de inundaciones. La pendiente volcánica (Qv y Tv) es producto de las coladas de lava, ceniza volcánica, flujos lahóricos y flujo de arcilla. (Coy Poou, 2008)

El porcentaje cubierto por cada tipo de roca se muestra en el cuadro 10:

Cuadro 10. Distribución de la geología del departamento de Escuintla

Símbolo	Tipo de Roca	Superficie (Km <sup>2</sup> )	%
Qa	Sedimentaria	3,715	82.61
Tv	Ígneas y Metamórficas	498	11.07
Qv	Ígneas y Metamórficas	284	6.32
<b>Total</b>		4,497	100.00

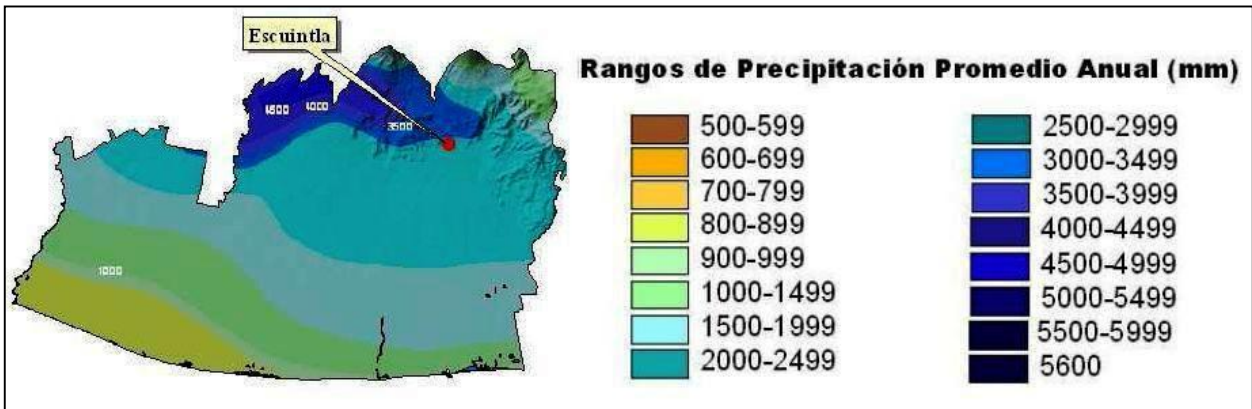
Fuente: (MAGA, 2005)



## c Características climáticas

### i Precipitación promedio anual

La precipitación promedio anual dentro del departamento de Escuintla oscila desde los 500 mm a 4500 mm por año siendo los municipios de Tiquisate y Nueva concepción los que reciben menos precipitación pluvial al año y los municipios de Santa Lucía, Siquinalá y Escuintla los que presentan más lluvia en intensidad y duración. (MAGA, 2005)



Fuente: (MAGA, 2005)

Figura 27. Rango de Precipitación Promedio Anual (mm)

### ii Temperatura promedio anual

Siendo uno de los departamentos de Guatemala con las temperaturas más altas que van desde los 10 °C en la parte norte hasta los 28 °C en la parte sur. (MAGA, 2005)

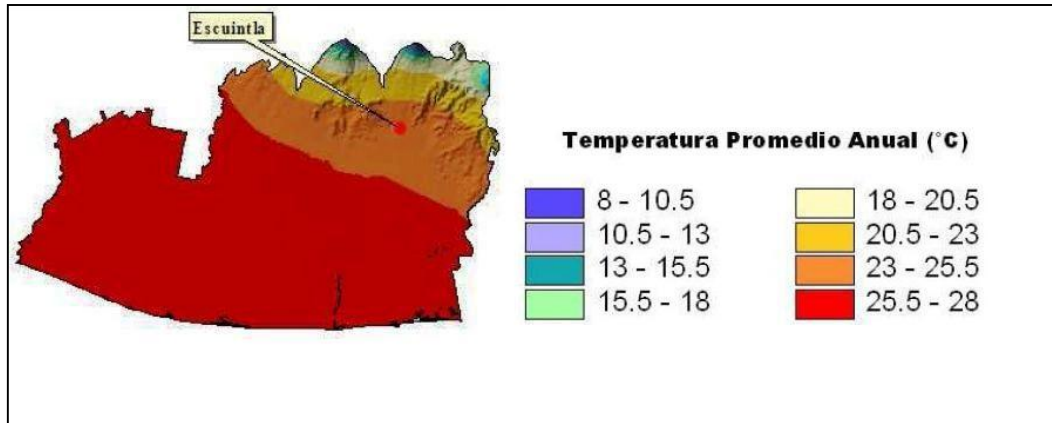
El cuadro 11 muestra las áreas con su respectiva temperatura y su porcentaje cubierto por área de la región de Escuintla:

Cuadro 11. Temperatura promedio anual del departamento de Escuintla

Temperatura (°C)	(Superficie Km <sup>2</sup> )	%
10	2	0.04
11	2	0.04
12	3	0.07
13	4	0.09
14	7	0.16
15	15	0.33
16	18	0.40
17	19	0.42
18	21	0.47
19	25	0.56
20	116	2.58
21	112	2.49
22	139	3.09
23	158	3.51
24	160	3.56
25	934	20.77
26	893	19.86
27	1137	25.28
28	732	16.28
<b>Total</b>	<b>4497</b>	<b>100</b>

Fuente: (MAGA, 2005)

La figura 28 muestra el comportamiento de la temperatura promedio en el departamento de Escuintla durante el año.

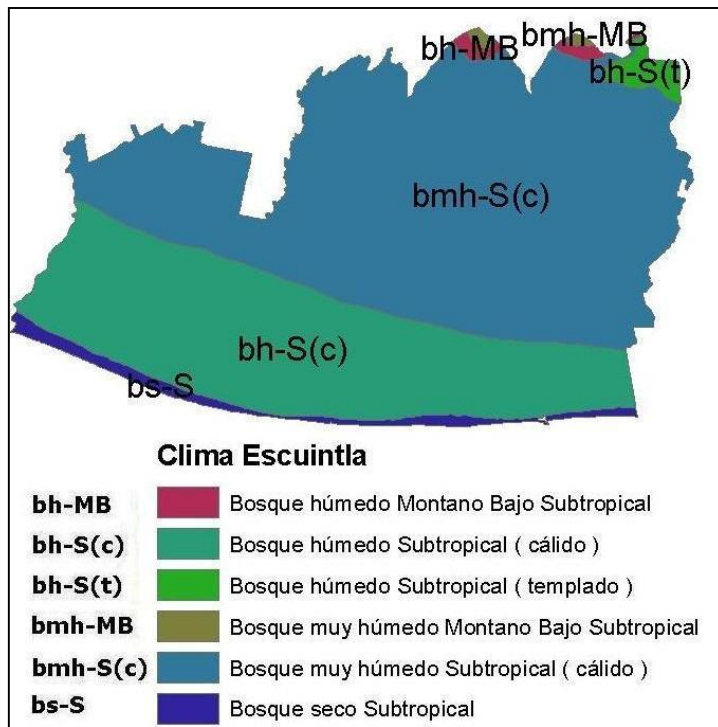


Fuente: (MAGA, 2005)

Figura 28. Mapa de la temperatura anual promedio del departamento de Escuintla

**iii Zonas de vida Holdridge**

Escuintla posee 5 tipos de zona de vida de holdridge que hacen que su clima sea desde seco subtropical hasta muy húmedo subtropical cálido. (MAGA, 2005)



Fuente: (MAGA, 2005)

Figura 29. Zonas de vida del departamento de Escuintla

- **Bosque seco subtropical (bs-S)**

Con precipitaciones que van desde los 500 mm a los 1000mm anuales con un promedio de 750 mm, presenta una temperatura que oscila entre los 19°C a los 24°C y la altitud va desde los 0 msnm hasta los 1200 msnm, también presenta días claros y soleados durante los meses en que no llueve y parcialmente nublados durante la época de enero-abril. (Cruz S., 1982)

- **Bosque muy húmedo subtropical cálido (bmh-S(c))**

Las precipitaciones de esta zona van desde los 2136mm a los 4327mm creando en promedio anual una precipitación pluvial de 3284mm, la bio-temperatura oscila entre los 21°C a 25°C, a elevación es entre 80 msnm hasta los 1600 msnm, debido a la influencia de los vientos no se encuentra un clima definido, es la zona de vida con más área en el departamento de Escuintla. (Cruz S., 1982)

- **Bosque muy húmedo montano bajo subtropical (bmh-MB)**

Este clima presenta precipitaciones que van desde los 2065mm a los 3900mm creando un promedio de 2730mm de lluvia al año, la bio-temperatura va desde los 12.5 °C a los 18.6 °C y tiene una elevación que va desde los 1500msnm a los 2400msnm. (Cruz S., 1982)

- **Bosque húmedo subtropical templado (bh-S (t))**

Las lluvias van de 1100mm a los 1349mm las lluvias son frecuentes desde mayo a noviembre, la bio-temperatura va de los 20°C hasta los 26°C, la elevación sobre el nivel del mar está entre los 600msnm a los 1700 msnm comprende una pequeña porción del área de Escuintla. (Cruz S., 1982)

- **Bosque húmedo subtropical cálido (bh-S (c))**

Las lluvias en esta zona sur se presenta desde los 1200mm a los 2000mm, la bio-temperatura oscila entre los 22°C a los 27°C, la elevación está comprendida desde los 0msnm a los 80msnm, comprende una importante zona climática por su presencia en gran parte del área de Escuintla. (Cruz S., 1982)

- **Bosque húmedo montano bajo subtropical (bh-MB)**

Este clima presenta precipitaciones que van de 1057mm a 1588mm con un promedio anual de 1344mm, la bio-temperatura de esta región se encuentra entre los 15°C hasta los 23°C y la elevación va desde los 1500msnm hasta los 2400msnm. (Cruz S., 1982)

El cuadro 12 muestra cómo se encuentra distribuidas las Zonas de Vida dentro del departamento de Escuintla, donde predomina el Bosque muy húmedo Subtropical cálido con un 61% de la superficie.

Cuadro 12. Distribución superficial y porcentual de las zonas de vida presentes en el departamento de Escuintla

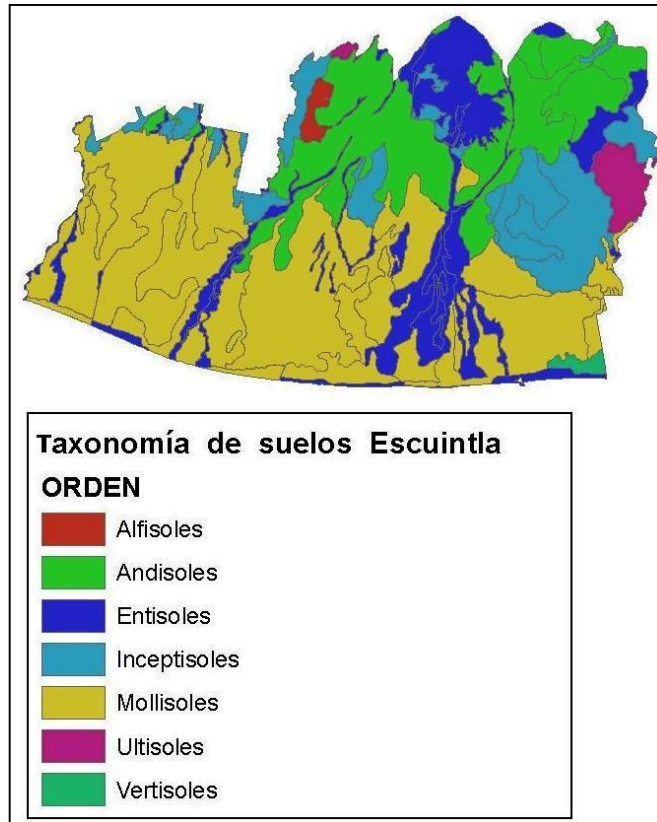
<b>Zona de Vida</b>	<b>Km<sup>2</sup>.</b>	<b>%</b>
bs-S	123.73	2.8
bmh-S(c)	2741.29	61.0
bmh-MB	13.16	0.3
bh-S(t)	57.82	1.3
bh-S(c)	1528.22	34.0
bh-MB	31.35	0.7

Fuente: (Cruz S., 1982)

#### **d Suelos**

En Escuintla están identificados a nivel taxonómico siete ordenes de suelos siendo de mayor presencia los Molisoles que cubren un aproximado de 2,246.26 Km<sup>2</sup> y el orden de suelo en menor cantidad son los Vertisoles que ocupan 22.36 Km<sup>2</sup>. (MAGA, 2005)

La figura 30 muestra cómo están distribuidos los órdenes de suelo en la superficie del departamento de Escuintla.



Fuente: (MAGA, 2005)

Figura 30. Ordenes de suelos del departamento de Escuintla

El cuadro 13 muestra el estado aproximado del área cubierta por cada orden de suelo en el departamento de Escuintla:

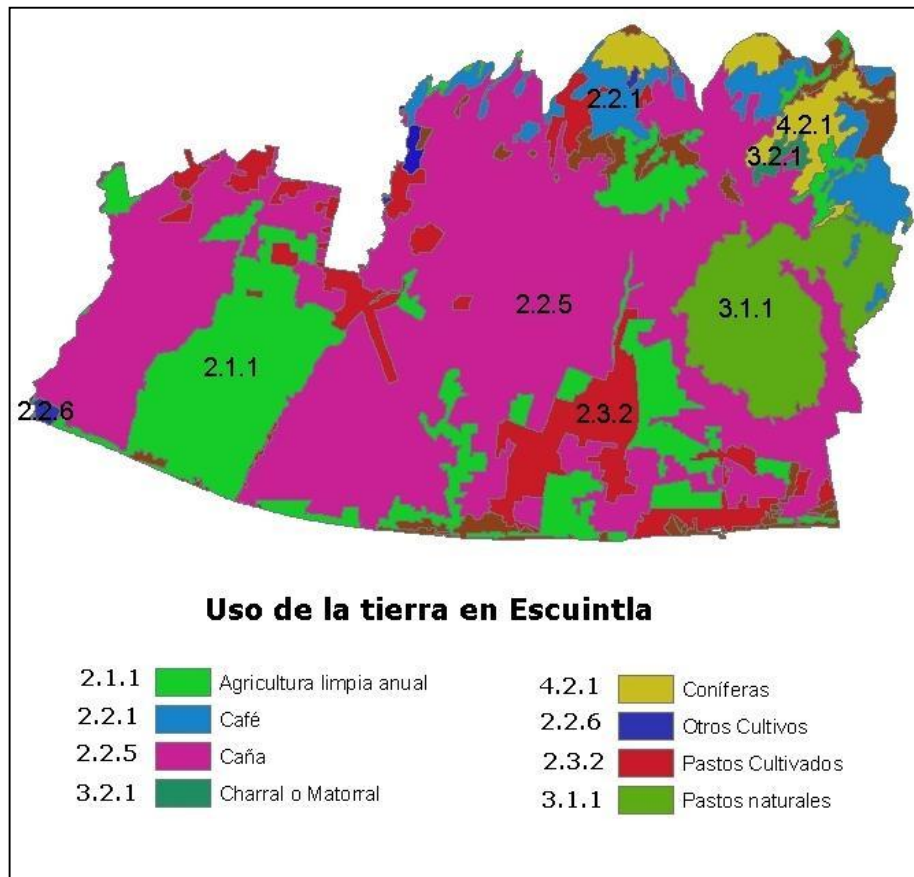
Cuadro 13. Área cubierta por cada uno de los órdenes de suelo en el departamento de Escuintla

Orden	Área	%
Alfisoles	29.52	0.66
Andisoles	919.62	20.45
Entisoles	533.16	11.86
Inceptisoles	643.20	14.30
Molisoles	2,246.26	49.95
Ultisoles	102.88	2.29
Vertisoles	22.36	0.50
<b>Total</b>	<b>4497</b>	<b>100.00</b>

Fuente: (MAGA, 2005)

### e Uso de la tierra

El departamento de Escuintla tiene una capacidad de uso agrícola al estar cultivado con más del 45% de su área total con caña de azúcar esto se puede apreciar en la figura 31, seguido de cultivos de granos básicos, pastos principalmente para la ganadería y café. (MAGA, 2006)



Fuente: (MAGA, 2005)

Figura 31. Uso de la tierra en el departamento de Escuintla con sus principales cultivos

El cuadro 14 describe la superficie del área cubierta por la agricultura en el departamento de Escuintla, donde se observa que la mayor parte del territorio es utilizado para cultivar caña de azúcar con un 45.65%, le sigue los pastos cultivados con 10.73%, el cultivo de granos básicos con un 11% y el cultivo de café con un 5.83%:

Cuadro 14. Uso de la tierra por la agricultura en el departamento de Escuintla

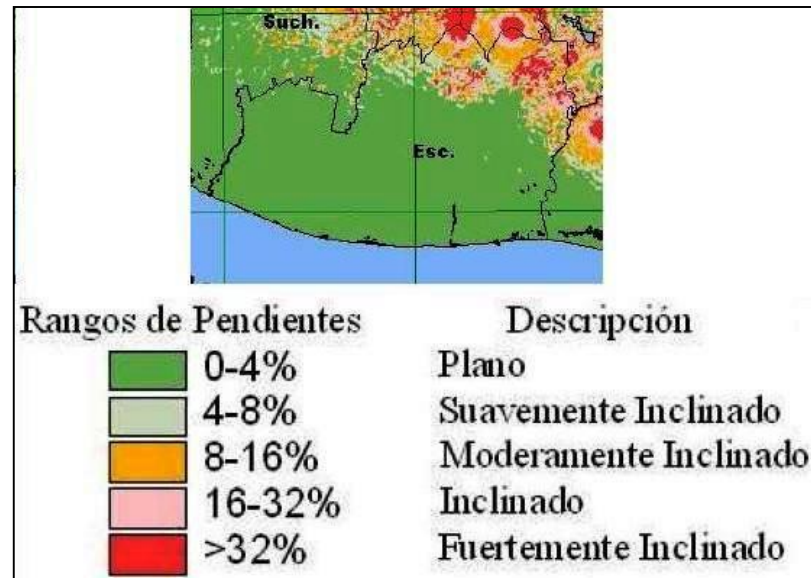
<b>Cultivo</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>% Área</b>
Granos básicos	494.55	11.007
Café	262.19	5.8323
Banano-Plátano	110.19	2.451
Hule	51.69	1.1498
Palma Africana	87.88	1.9548
Cítricos	6.709	0.1492
Pejibaye	0.2481	0.0055
Aguacate	1.2459	0.0277
Mango	4.6351	0.1031
Frutales deciduos	0.0888	0.002
Otros frutales	0.7439	0.0165
Plantación conífera	0.0038	0.0001
Plantación latifoliada	0.1162	0.0026
<b>Agricultura semi-perenne</b>		
Caña de azúcar	2,046.65	45.6564
Papaya	0.8827	0.0196
Piña	4.9774	0.1107
<b>Huertos, viveros y hortalizas</b>		
Hortalizas-ornamental	0.1332	0.003
<b>Pastos mejorados</b>		
Pastos cultivados	482.69	10.7371
<b>Total área</b>	<b>3,555.63</b>	<b>79.2284</b>
<b>Total área Escuintla</b>	<b>4,495.57</b>	<b>100</b>

Fuente: (MAGA, 2006)

## f Pendiente

Según la metodología USDA, el departamento de Escuintla cuenta con más del 80% de su extensión territorial con la categoría “plano a ondulado” al ser menor al 4% su pendiente en la mayoría del departamento según el mapa de pendientes contenido en el Atlas Temático de la República de Guatemala. (MAGA, 2005)





Fuente: (MAGA, 2005)

Figura 32. Descripción de la pendiente presente en el departamento de Escuintla

El cuadro 15 detalla la superficie proporcional de pendiente presente en el área del departamento de Escuintla:

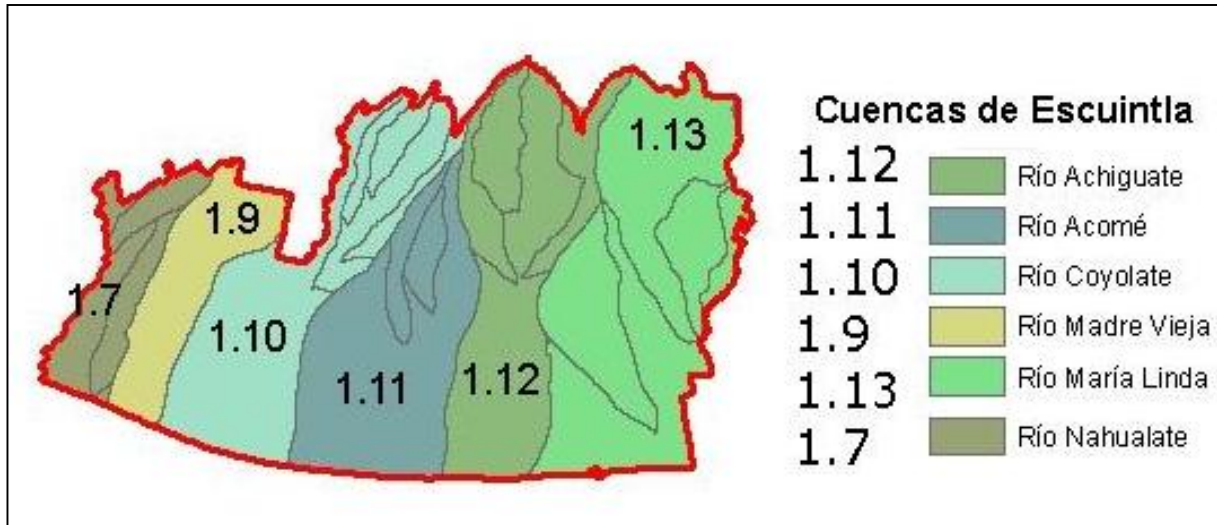
Cuadro 15. Porcentaje de pendiente del departamento de Escuintla

Pendiente	Descripción	Área (Km <sup>2</sup> )	%
< 4%	Plano	367,100	81.45
4- 8 %	Suavemente Inclinado	23,134	5.13
8 – 16 %	Moderadamente Inclinado	20,994	4.66
16 – 32 %	Inclinado	26,352	5.85
>32 %	Fuertemente Inclinado	13,132	2.91
<b>Total</b>		<b>450,712</b>	<b>100</b>

Fuente: (MAGA, 2005)

### g Cuencas hidrográficas

El escurrimiento superficial del departamento de Escuintla se distribuye en 6 cuencas hidrográficas siendo la más extensa la cuenca del río María Linda con 1259 Km<sup>2</sup> y la cuenca más pequeña la que comprende el río Nahualate con 313 Km<sup>2</sup>. (MAGA, 2005)



Fuente: (MAGA, 2005)

Figura 33. Cuencas del departamento de Escuintla

El cuadro 16 muestra el área que ocupa cada cuenca hidrográfica dentro del departamento de Escuintla:

Cuadro 16. Área que ocupa cada cuenca dentro del departamento de Escuintla

Código	Cuenca	Área( Km <sup>2</sup> )	%
1.13	Río María Linda	1,259	28.00
1.12	Río Achiguate	890	19.78
1.10	Río Coyolate	857	19.05
1.9	Río Acomé	805	17.91
1.8	Río Madre Vieja	373	08.29
1.7	Río Nahualate	313	06.97
<b>Total</b>		<b>4,497</b>	<b>100.00</b>

Fuente: (MAGA, 2005)

## C Características socioeconómicas

### a Población

Según el Instituto Nacional de Estadística, el departamento de Escuintla cuenta con una población de 716,204 habitantes para el año 2012 donde se cuenta con 360,013 hombres y 356,191 mujeres.



Fuente: (INE, 2014)

Figura 34. Cantidad de hombres y mujeres registrados por el INE en el año 2012.

Respecto a la cantidad de habitantes por género, el INE<sup>9</sup> tiene estimado para el año 2014 una población de 746,309 habitantes de los cuales el municipio de Escuintla cuenta con la mayor cantidad de habitantes siendo estos 158,456 y el municipio con menor cantidad de habitantes corresponde a Iztapa con una población de 11,872 habitantes, las demás cantidades de habitantes por municipio se observan en el cuadro 17.

<sup>9</sup>INE: Instituto Nacional de Estadística

Cuadro 17. Estimación de la población distribuida por municipio dentro del departamento de Escuintla

<b>Municipio</b>	<b>Habitantes</b>	<b>%</b>
Escuintla	158,456	21.23
Santa Lucía Cotzumalguapa	137,175	18.38
La Democracia	26,662	3.57
Siquinalá	24,567	3.29
Masagua	47,123	6.31
Tiquisate	59,577	7.98
La Gomera	62,241	8.34
Guanagazapa	18,182	2.44
Puerto San José	53,463	7.16
Puerto Iztapa	11,872	1.59
Palín	65,517	8.78
San Vicente Pacaya	17,795	2.38
Nueva Concepción	63,679	8.53

Fuente: (INE, 2014)

## **b Escolaridad**

Según la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida del año 2011 (ENCOVI), el departamento de Escuintla cuenta con un índice de escolaridad (IE) de 0.72 lo cual sitúa al departamento en cuarto lugar a nivel nacional.

El índice de escolaridad demuestra el nivel educativo de la población y entre más cercano al 1 este IE determina *“la adquisición de competencias básicas generando oportunidades para obtener mejores ingresos, reducir los niveles de pobreza y elevar el grado de desarrollo”* (INE, 2011)

El cuadro 18 Muestra los Índices de Escolaridad de la República de Guatemala donde se observa al departamento de Escuintla en la cuarta posición debajo de los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez, y El Progreso.

Cuadro 18. Índice de escolaridad a nivel nacional

Posición	Departamentos	IE
1	Guatemala	0.82
2	Sacatepéquez	0.76
3	El Progreso	0.74
<b>4</b>	<b>Escuintla</b>	<b>0.72</b>
5	Santa Rosa	0.71
6	Chimaltenango	0.7
7	Quetzaltenango	0.7
8	Retalhuleu	0.69
9	Jutiapa	0.69
10	Izabal	0.68
11	Zacapa	0.68
12	Total República	0.68
13	San Marcos	0.66
14	Peten	0.66
15	Suchitepéquez	0.65
16	Jalapa	0.65
17	Baja Verapaz	0.63
18	Chiquimula	0.63
19	Sololá	0.61
20	Totonicapán	0.61
21	Huehuetenango	0.57
22	Alta Verapaz	0.56
23	Quiche	0.53

Fuente: (INE, 2011)

### **c Población económicamente activa**

La ENCOVI del año 2011 obtiene el dato de habitantes con una edad mayor a 15 años los cuales se encuentran en edad de trabajar siendo esta cantidad de habitantes de 9, 015,715 para todo el país.

Los más de 9 millones de habitantes que trabajan o se encuentran buscando trabajo se les denomina población económicamente activa donde el departamento de Escuintla se ubica en la posición décima tercera a nivel nacional con un porcentaje del 59.4%.

Cuadro 19. Población económicamente activa a nivel nacional

Posición	Departamentos	PEA (%)
1	Totonicapán	73
2	Sacatepéquez	70.1
3	Huehuetenango	69.5
4	Guatemala	67.4
5	Chimaltenango	67.4
6	Quetzaltenango	66
7	Quiche	64.8
8	Peten	63.6
9	Total República	63.3
10	Sololá	62.4
11	Baja Verapaz	61
12	El Progreso	60.9
<b>13</b>	<b>Escuintla</b>	<b>59.4</b>
14	Alta Verapaz	58.9
15	Suchitepéquez	58.6
16	Izabal	58.4
17	Santa Rosa	57.1
18	San Marcos	56.5
19	Jutiapa	56.4
20	Chiquimula	56.2
21	Jalapa	56.2
22	Retalhuleu	56.1
23	Zacapa	52.7

Fuente: (INE, 2011)

#### d Pobreza

Para medir la pobreza la ENCOVI se estableció fijar como pobreza extrema a un gasto anual por persona menor o igual a Q. 4,380.00 y como pobreza general a un gasto anual por persona menor o igual a Q.9,030.93.

A los habitantes que superan la pobreza general se les denomina como no pobreza.

El cuadro 20 muestra al departamento de Escuintla en la segunda posición a nivel nacional con la menor proporción de pobreza del 39.64%, después del departamento de Guatemala.

Cuadro 20. Posición de la pobreza del departamento de Escuintla a nivel nacional

Posición	Departamento	Pobreza Extrema	Pobreza No Extrema	Pobreza Total	No Pobreza
1	Guatemala	0.69	17.95	18.64	81.36
2	<b>Escuintla</b>	<b>2.28</b>	<b>37.37</b>	<b>39.64</b>	<b>60.36</b>
3	El Progreso	4.07	36.98	41.05	58.95

Fuente: (INE, 2011)

## D Características culturales

### a Etnicidad de la población de Escuintla

El departamento presenta en su población un 92.8 % de etnia no indígena, donde los municipios de Escuintla y Santa Lucía Cotzumalguapa acogen la mayor cantidad de esta etnia, el restante 7.2% corresponde a la etnia indígena. (INE, 2013)

### b Origen del nombre del departamento

Escuintla fue habitada por los pipiles que provenían de altiplano mexicano y que en su lengua se referían al departamento como cerro de perros, debido a la abundancia de tepezcuintle (*agouti paca*) de la familia rodentia. (Gabriel Alvarado, 2008)

En el año de 1836 por decreto se da el nombre de Escuintla a la cabecera municipal y en el año 1887 por acuerdo gubernativo se da a Escuintla el título de ciudad. (Gabriel Alvarado, 2008)

### c Religión

Aunque no existe oficialmente un censo poblacional sobre afiliación religiosa, actualmente en Guatemala se estima que el 87.6% es cristiana dividiéndose en católica con un 56.9% y en evangélica con un 30.7% de la población estimada para el año 2011. (Holland, 2011)

## **2.3 Hipótesis**

En el territorio que corresponde al departamento de Escuintla no existen factores físicos y/o químicos del suelo que limiten la producción agrícola.

## **2.4 Objetivos**

### **2.4.1 General**

Identificar y localizar los principales factores que limitan la sostenibilidad del suelo con fines de producción agrícola en el departamento de Escuintla.

### **2.4.2 Específicos**

- Colectar y organizar la información contenida en análisis físicos y químicos de suelos que contribuyen a establecer el comportamiento de las limitantes de los suelos del departamento de Escuintla.
- Analizar y evaluar los principales factores físicos y/o químicos que limitan la sostenibilidad del suelo para desarrollar actividades productivas agrícolas.
- Generar información sobre la percepción de los profesionales de las ciencias agronómicas sobre las limitantes de los suelos del departamento de Escuintla.



## **2.5 Metodología**

Para realizar la presente investigación, se siguió la metodología que a continuación se describe:

### **2.5.1 Identificación de las fuentes de información**

Se visitó a los profesionales de suelos para tener referencia de las instituciones que por experiencia ellos, ubican como entidades generadoras, almacenadoras o distribuidoras de análisis físicos y químicos de suelos.

Luego se realizó un listado de las instituciones públicas y privadas que se dedican dentro de sus actividades al análisis del suelo.

Con el listado de las instituciones públicas y privadas se procedió a realizar llamadas telefónicas y enviar correos electrónicos para logra una entrevista con los directivos.

### **2.5.2 Ubicación de los documentos con análisis de suelos**

Se concertaron visitas a las instituciones para ser atendidos por los encargados de las divisiones agrícolas de cada institución se procedió a ubicar las diferentes fuentes de información siendo estas:

Libros, mapas, resultados de laboratorio, memorias técnicas, tesis de grado, estudios regionales, libros electrónicos, consultorías, tesis de universidades, estudios de la ENCA, trabajos de estudiantes, entre otros tipos de documentos.

### **2.5.3 Colecta de datos de los registros consultados**

Habiendo ubicado y seleccionado los archivos que contienen la información de suelos se procedió a capturar los datos registrados con la ayuda de un libro electrónico las siguientes variables:

- Potencial de hidrógeno (pH)
- Capacidad de Intercambio Catiónico
- Calcio
- Magnesio
- Potasio
- Sodio
- Materia Orgánica

#### **2.5.4 Encuesta a técnicos de campo**

A partir de un cuestionario de 19 preguntas se procedió a preguntar vía correo electrónico a los técnicos de campo del área de Escuintla sobre su opinión acerca del estado del suelo según lo observado por ellos en campo, con la finalidad de poder tener una referencia del comportamiento de los suelos agrícolas que estos técnicos tienen a su administración.

El cuestionario empleado en la encuesta puede observarse en el apartado de Anexos como “Cuestionario utilizado en la encuesta electrónica”.

#### **2.5.5 Análisis descriptivo del cuestionario**

Terminada la encuesta se procedió a realizar el análisis descriptivo del cuestionario utilizando gráficas y cuadros para confrontarlo con la información obtenida en los análisis de laboratorio de suelo.

#### **2.5.6 Análisis descriptivo de los datos de factores físicos y químicos colectados**

Después se obtuvieron los datos colectados y fueron tabulados se procedió a realizar un análisis estadístico descriptivo de las variables colectadas para explicar el comportamiento de cada variable mediante gráficas y cuadros, así como el uso de mapas de puntos de cada variable para identificar los mínimos, normales y máximos valores observados.

También se realizaron pruebas de normalidad para cada variable a fin de identificar el comportamiento de la variable en la superficie del departamento de Escuintla.

### **2.5.7 Interpolación lineal de las variables estudiadas**

Luego de observar que las 7 variables no presentaban una normalidad en la dispersión de los datos, se procedió a realizar una transformación de los datos de cada variable utilizando la transformación Box-Cox logrando la normalización de estas variables para luego realizar una interpolación lineal.

En este caso al no contar con ninguna de las 7 variables con datos iguales a cero se utilizó la fórmula siguiente para transformar los datos:

$$W = (y^{\lambda-1})/\lambda \quad \text{si } \lambda \neq 0$$

Donde:

W= dato transformado

Y = dato observado

$\Lambda$  = Valor de lambda

La normalización de cada variable permitió realizar una interpolación lineal mediante el método simple predictivo de Kriging utilizando el programa de Sistema de Información Geográfica ArcGIS en su versión 10. Los mapas generados se trabajaron y publicaron a una escala de 1:700,000 en formato de papel tamaño carta.

## 2.6 Resultados y discusión

### 2.6.1 Instituciones visitadas para coleccionar datos sobre análisis físico y químico de los suelos de Escuintla

Las instituciones públicas y privadas visitadas a lo largo de la presente investigación se describen en el cuadro 21, en dicho cuadro se observa la negativa al acceso a los registros sobre los análisis de laboratorio de suelos por parte de los ingenios productores de azúcar.

No se logró contar con la información generada por el laboratorio de suelos de ANACAFE debido al proceso de certificación por el cual está pasando la institución en el año 2014, aunque las publicaciones realizadas con contenido de suelos si fue posible consultar.

Cuadro 21. Listado de instituciones visitadas en las cuales se obtuvo información sobre análisis físico y químico de suelo

<b>Departamento de Escuintla</b>			
<b>No.</b>	<b>Institución</b>	<b>Tipo de Información</b>	<b>Acceso de la información al público</b>
1	CENGICAÑA	Resultados de análisis físicos y químicos de suelos, estudio semidetallado de suelos de la zona cañera, mapas, revistas, memorias técnicas	si
2	MUNICIPALIDADES	Estudios departamentales e informes de consultoría	si
3	INGENIOS AZUCAREROS	Análisis de muestras de suelo, documentos técnicos, tesis, investigaciones.	no
4	CEDIA-FAUSAC	Tesis, documentos de investigación, informes generales de servicios	si
5	UNIVERSIDADES	Tesis, Investigaciones institucionales, informes	si
6	LABORATORIO DE SUELOS FAUSAC	Resultados de análisis de suelo sin geo-posición	si
7	ANACAFE	Estudio de suelos de la agroindustria cafetalera	no

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

## 2.6.2 Potencial de hidrógeno (pH)

### A Ubicación espacial de los registros del potencial de hidrógeno

Se logró coleccionar un total de 578 datos sobre el Potencial de hidrógeno de suelo de Escuintla obtenido de tesis, documentos, mapas, análisis de laboratorio de suelos, memorias técnicas y otros.

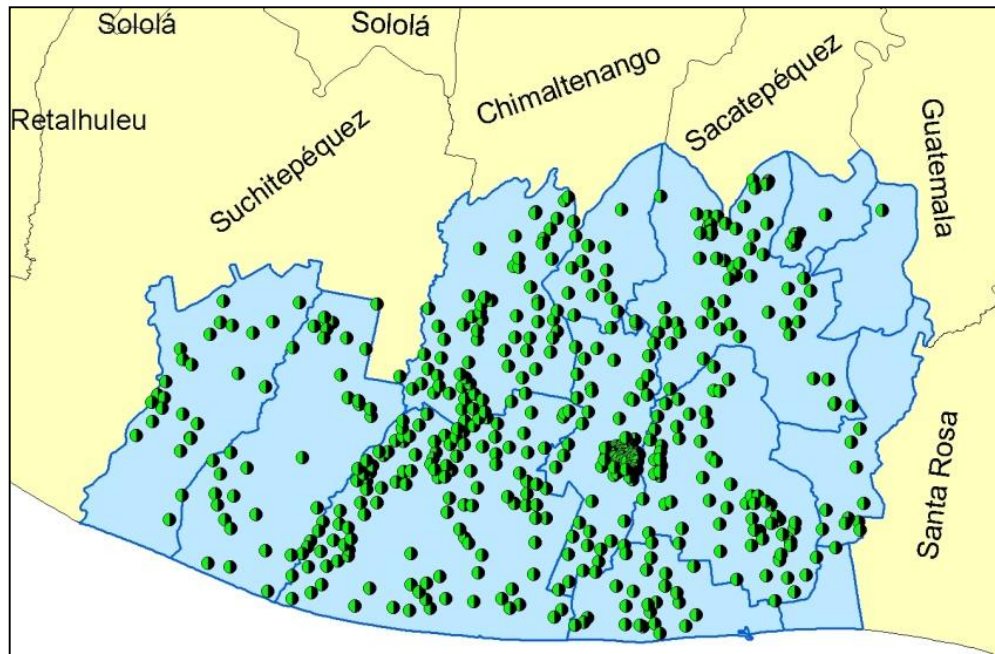


Figura 35. Ubicación espacial de los datos de potencial de hidrógeno coleccionados

La figura 35 muestra la dispersión de los datos obtenidos en los municipios del departamento de Escuintla, puede observarse que los municipios de San Vicente Pacaya y la parte norte de Guanagazapa presentan la menor cantidad de datos coleccionados.

### B Descripción estadística de la variable potencial de hidrógeno

De los 578 registros obtenidos se observó el menor valor de Potencial de hidrógeno con 4.53, el valor más alto observado fue de 9.95, generando esto un rango o amplitud de 5.42.

El 25% de los datos obtenidos se encuentra debajo de 6.03, el 50% de los datos están debajo de 6.7 y el 75% de la información está a partir de Potencial de hidrógeno 7.1.

Para el conjunto de datos analizados se observó un coeficiente de variación del 11% en todo el departamento, el cuadro 22 muestra el resumen de la información descrita.

Cuadro 22. Resultado del análisis exploratorio de la variable potencial de hidrógeno

<b>Estadística</b>	<b>Potencial de hidrógeno H<sub>2</sub>O</b>
No. de observaciones	578
Mínimo	4.53
Máximo	9.95
Amplitud	5.42
1° Cuartil	6.02
Mediana	6.60
3° Cuartil	7.00
Media	6.61
Varianza (n-1)	0.55
Desviación típica (n-1)	0.74
Coeficiente de variación	0.11

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Cuadro 23. Frecuencias y porcentajes del potencial de hidrógeno en Escuintla

<b>Límite inferior [</b>	<b>Límite superior [</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia relativa</b>
<b>4</b>	<b>5</b>	3	0.01
<b>5</b>	<b>6</b>	101	0.17
<b>6</b>	<b>7</b>	306	0.53
<b>7</b>	<b>8</b>	133	0.23
<b>8</b>	<b>9</b>	34	0.06
<b>9</b>	<b>10</b>	1	0.00

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

El cuadro 23 muestra que el 0.01% de los datos presenta una acidez extrema a muy fuerte y El 17% de los datos muestra una acidez entre moderada y fuerte, luego el 53% de los datos de Potencial de hidrógeno presentan una acidez de débil a neutra todo lo anterior según el diagrama de Emil Truog.

Un 23% de la información reveló que Escuintla posee un Potencial de hidrógeno alcalino muy débil, el 0.06% de los datos presentaron una alcalinidad débil a fuerte y un solo dato muestra que se posee una alcalinidad muy fuerte siendo este un dato extremo.

La figura 36 muestra el histograma obtenido a partir de los 578 datos de Potencial de hidrógeno en el cual se observa que el más de la mitad de los datos está entre un valor de Potencial de hidrógeno de 6 y 7.

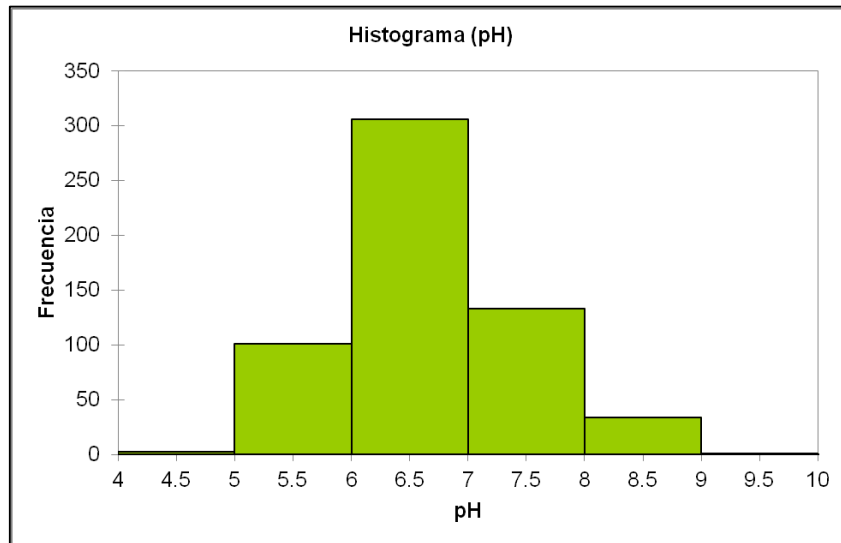


Figura 36. Histograma de la variable potencial de hidrógeno

**C Normalidad de los datos observados del potencial de hidrógeno**

Se encontró que la variable Potencial de hidrógeno no muestra un patrón normal en su conjunto de datos, por lo tanto esta se ve influenciada por otro tipo de modelo al no tener un comportamiento aleatorio en la distribución de los datos obtenidos.

Cuadro 24. Prueba de normalidad de los datos de la variable potencial de hidrógeno

Prueba de Shapiro-Wilk (Potencial de hidrógeno con agua):	
W	0.986
p-valor	< 0.0001
alfa	0.05
Interpretación de la prueba:	
H0: La muestra sigue una ley Normal.	
Ha: La muestra no sigue una ley Normal.	

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0.05$ , se debe rechazar la hipótesis nula  $H_0$ , y aceptar la hipótesis alternativa  $H_a$ .

#### **D Información de la consulta a expertos sobre el potencial de hidrógeno**

Los técnicos de campo los cuales contestaron el cuestionario indicaron que observan en sus diferentes estaciones de trabajo un 50% de problemas de acidez en el suelo en un grado moderado y el otro 50% de los entrevistados indican que observan una leve acidez. Esta pregunta corresponde al número 13 del cuestionario y se puede observar el resultado en la figura 37.

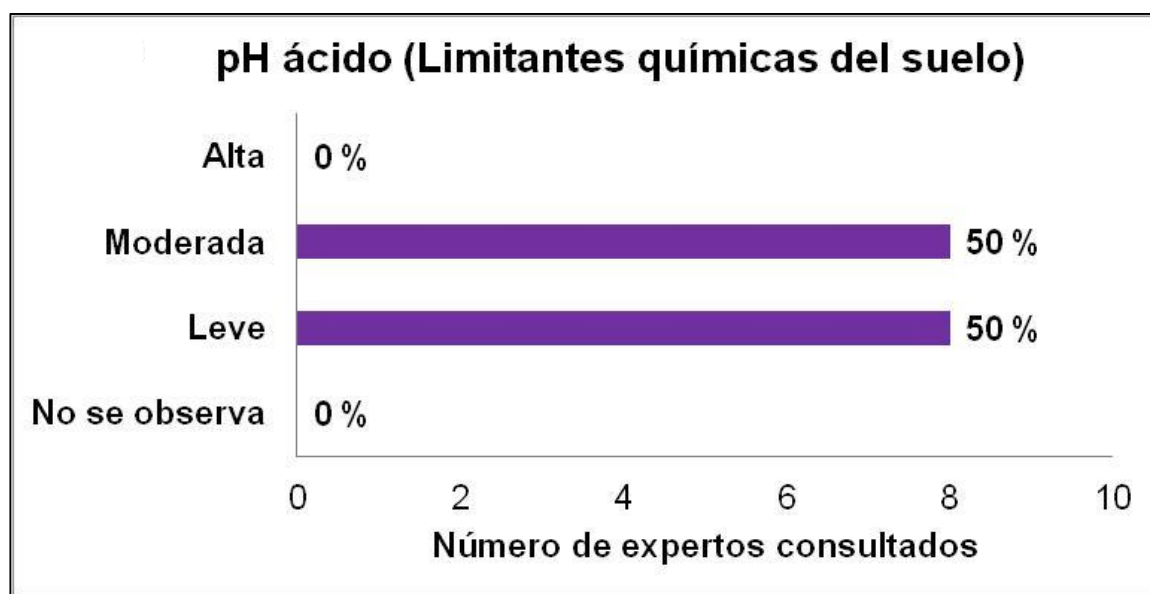


Figura 37. Resultado de la encuesta sobre la variable potencial de hidrógeno a expertos que laboran en campo

La información generada a partir de los 578 registros del Potencial de hidrógeno sobre el departamento de Escuintla muestra que dentro del departamento se encuentra suelos con problemas de basicidad, siendo estos ubicados principalmente en la zona sur del país dentro del litoral pacífico.



Los problemas de acidez del suelo se observan principalmente desde el inicio del norte del departamento hasta llegar a la parte media de este donde se da el cambio en la parte sur a un Potencial de hidrógeno básico.

Las categorías de acidez y basicidad del suelo puede observarse en el cuadro 7 y figura 23, según Emil Trough.

### **E Acidez extrema a moderada**

Según el análisis realizado se encontró que de los 578 registros el 18% de estos corresponden a 104 datos lo cuales presentan Potencial de hidrógeno denominado extremadamente ácido hasta moderadamente ácido donde el Potencial de hidrógeno con valor más bajo se registró en el municipio de Guanagazapa con un valor de 4.53.

Los municipios que presentan Potencial de hidrógeno ácidos en su región norte son Tiquisate, Nueva Concepción, Santa lucia Cotzumalguapa, Siquinalá, La Gomera, Escuintla, la Democracia y Masagua.

En la región Central del departamento se observa a los municipios de Escuintla, La Democracia, Masagua y Guanagazapa con problemas de acidez.

Según el diagrama de Emil Trough los principales problemas que presentan estos suelos en relación a su Potencial de hidrógeno son la inmovilización del Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Calcio y Magnesio.

Estos suelos presentan toxicidad de Aluminio para las plantas al presentar Potencial de hidrógeno menor a 5.5 esto debido a las altas concentraciones de este elemento en el suelo.

En el caso de Hierro y Manganeso estos se vuelve tóxicos al presentar grandes cantidades de concentración debido a un Potencial de hidrógeno menor o igual 4.5 esto por la acidez extrema. Aunado a un Potencial de hidrógeno ácido extremo está la casi inactivación de las bacterias descomponedoras de nitrógeno y Materia Orgánica en el suelo.

Otro criterio importante encontrado fue la relación que se pudo observar en cuanto al Potencial de hidrógeno ácido y con la zona de vida Bosque muy húmedo Subtropical cálido (bmh-S(c)) y la pendiente en la zona norte del departamento, donde se ven pendientes desde 32% hasta 4%, los datos de Potencial de hidrógeno ácidos, están dentro de esta zona de vida donde destaca la gran cantidad de precipitación reportada para esta zona siendo en promedio anual según De la Cruz S., (1982) de 3,284 mm de precipitación pluvial, la figura 38 muestra la dispersión de los datos con los Potencial de hidrógeno ácidos dentro del departamento de Escuintla.

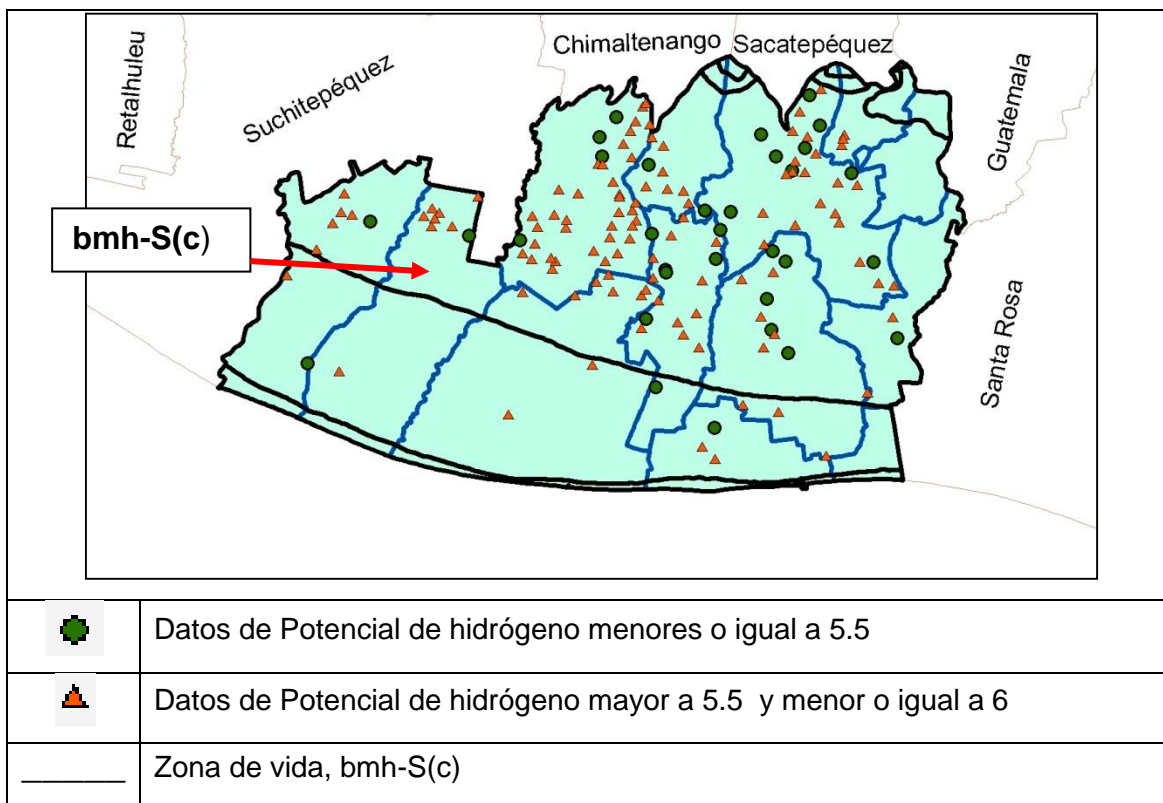


Figura 38. Dispersión de los datos de potencial de hidrógeno categorizados como ácidos extremos hacia ácidos moderados.

## F Acidez muy débil a neutra

Este tipo de acidez en el suelo representa al 53% de los registros colectados siendo esto 306 datos de Potencial de hidrógeno donde se logra observar la dispersión uniforme por todo el departamento lo cual explica el por qué este departamento ha sido utilizado en cerca del 80% de su superficie para la actividad agrícola.

Uno de los inconvenientes que puedan presentar estos valores de suelo es que al estar por debajo de 6.5 el Potencial de hidrógeno, estos suelos presentan problemas por la toxicidad causada por el hierro en las plantas.

Las plantas presentan un buen desarrollo en suelos con Potencial de hidrógeno de 6.5 a 7.5.

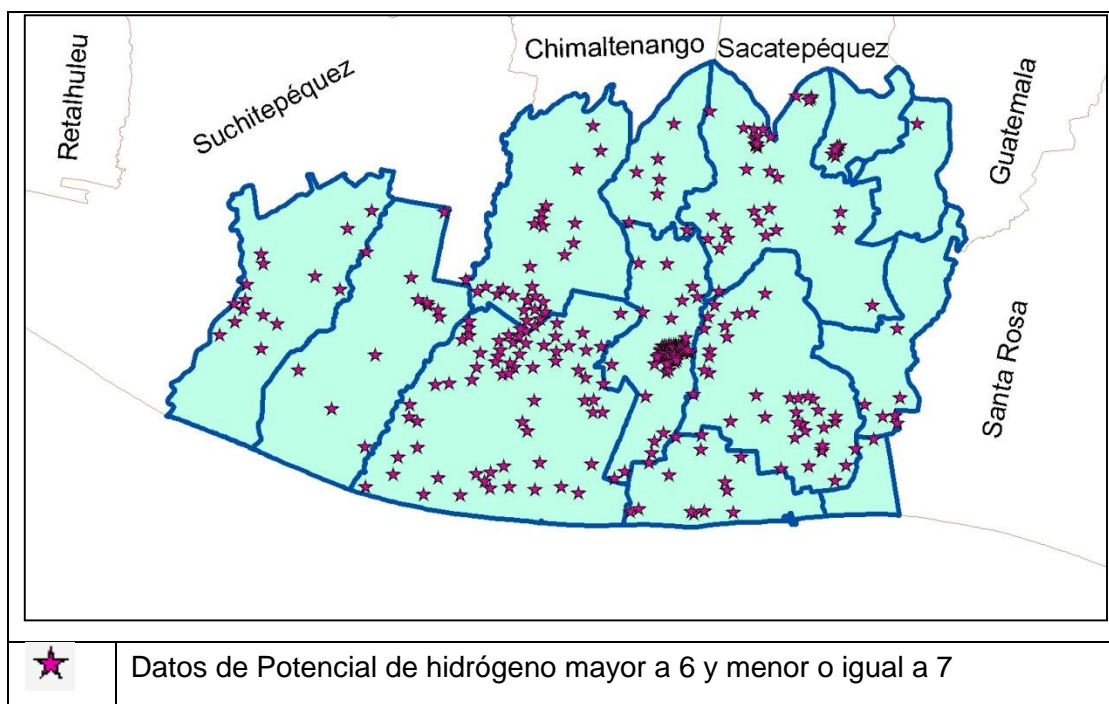


Figura 39. Dispersión de los datos de potencial de hidrógeno categorizados como ácidos débiles hacia neutros.

## G Alcalinidad muy débil a fuerte

En esta ocasión se observaron 133 datos de Potencial de hidrógeno entre 7 y 8, lo cual lo califica según Emil Troug como alcalinidad muy débil donde lo elementos menores

empiezan a causar problemas por reducir la solubilidad de la mayoría de los elementos menores necesario para el correcto desarrollo de las plantas.

En este rango de Potencial de hidrógeno 7 a 8 las raíces de las plantas presentan problemas en la succión de agua debido a que el sodio aumenta su concentración en el suelo.

Los municipios que presentan estas cantidades de Potencial de hidrógeno son Tiquisate, Nueva Concepción, La Gomera, Puerto de San José, Puerto de Iztapa, La Democracia y Masagua.

## **H Alcalinidad fuerte a muy fuerte**

En el rango de Potencial de hidrógeno de 8 a 10, se suele tener una correlación de altos niveles de calcio en el suelo además del aumento de sodio intercambiable, esto provoca que la productividad se vea afectada directamente ya que suelos básicos provocan que las plantas no alcance su crecimiento potencial, llegando hasta causar la muerte dependiendo de las concentraciones de calcio y sodio presentes en el suelo. En estos rangos de Potencial de hidrógeno, el nitrógeno y fósforo suelen ser insolubles.

Los municipios que presentan suelos fuertemente alcalinos en el departamento de Escuintla son, Nueva Concepción, La Gomera, La Democracia, Masagua y el Puerto de San José representados por el 6% del conjunto de datos.

Se observó que la mayoría de datos con Potencial de hidrógeno alcalinos obtenidos, se encuentran en el sur del departamento donde coinciden con la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical cálido bh-S (c) donde las precipitaciones pluviales promedio, están en 1,600 mm y las temperaturas máximas alcanzan los 27°C pero la pendiente plana menor a 4% hacen que estas precipitaciones queden estancadas por no encontrar un desnivel para el correr del agua dando lugar a inundaciones, lo que dificulta el lavado de los suelos.

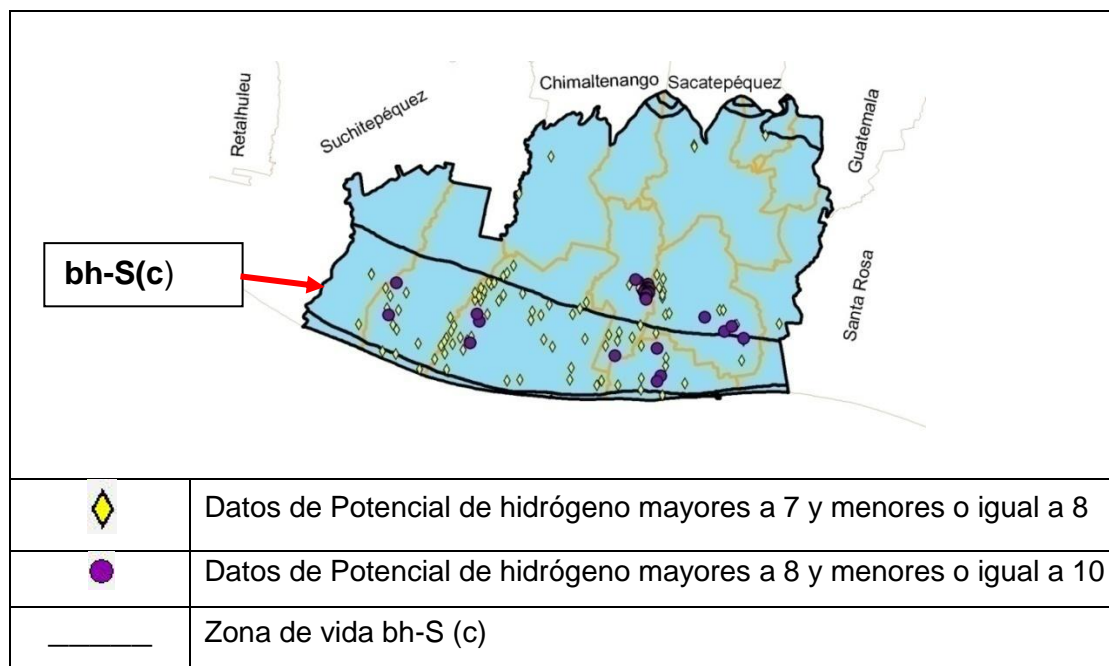


Figura 40. Dispersión de los datos de potencial de hidrógeno categorizados como básicos débiles hacia básicos fuertes.

En cuanto a los resultados del cuestionario presentado a los técnicos de campo se observa que coinciden en que el problema de Potencial de hidrógeno ácido, se observa como leve en un 50% comparando esto con el 53% observado en los datos colectados que sitúan al Potencial de hidrógeno como acidez muy débil a neutra y el otro 50% de los entrevistados mencionan que han sido capaces de observar un deterioro en el Potencial de hidrógeno como para categorizarlo como una acidez moderada.

## I Análisis geostatístico de la acidez del suelo

Mediante este análisis de interpolación se encontró que en el departamento de Escuintla existe Potencial de hidrógeno que van desde Potencial de hidrógeno 5.0 hasta Potencial de hidrógeno 8.0. Siendo el Potencial de hidrógeno que predominan en la extensión territorial aquellos que oscilan de 6.0 Potencial de hidrógeno hasta 6.5 Potencial de hidrógeno.

La acidez de Escuintla se estima que está presente en un 51.74 % del territorio departamental ocupando 2,330.34 km<sup>2</sup> donde el municipio de Guanagazapa en su zona sur presenta un área de 4.87 km<sup>2</sup> con serios problemas de acidez al poseer Potencial de hidrógeno que van desde 5.0 a 5.5 al catalogarse según Emil Trough como una acidez fuerte a moderada.

En contraparte la alcalinidad ubicada en el departamento se cataloga como “muy débil” al estar en un Potencial de hidrógeno 7.5 a 8.0 representado en un 1.34% del territorio equivalente a 60.5 km<sup>2</sup>. Los municipios donde se detectó alcalinidad fueron Nueva Concepción, La Gomera, La Democracia y una pequeña área de Masagua.

Los suelos con acidez neutral se ubicaron en los municipios de Tiquisate, Nueva Concepción, La Gomera, Puerto de San José, La Democracia y Masagua principalmente en las zonas del sur del departamento de Escuintla. También existe un área con acidez neutral en los suelos del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa en su zona norte. Esta acidez neutra corresponde a 649.61 km<sup>2</sup> del departamento representando al 14.42% de su extensión territorial.

Para un correcto desarrollo de las plantas estas prefieren y/o toleran Potencial de hidrógeno que van desde 6.0 hasta 7.5 por lo cual se observó que Escuintla posee una superficie terrestre de 3,460.48 km<sup>2</sup> la cual no presenta limitantes en cuanto al Potencial de hidrógeno para la producción agrícola del departamento. La figura 41 muestra como está distribuido el Potencial de hidrógeno dentro del departamento de Escuintla.

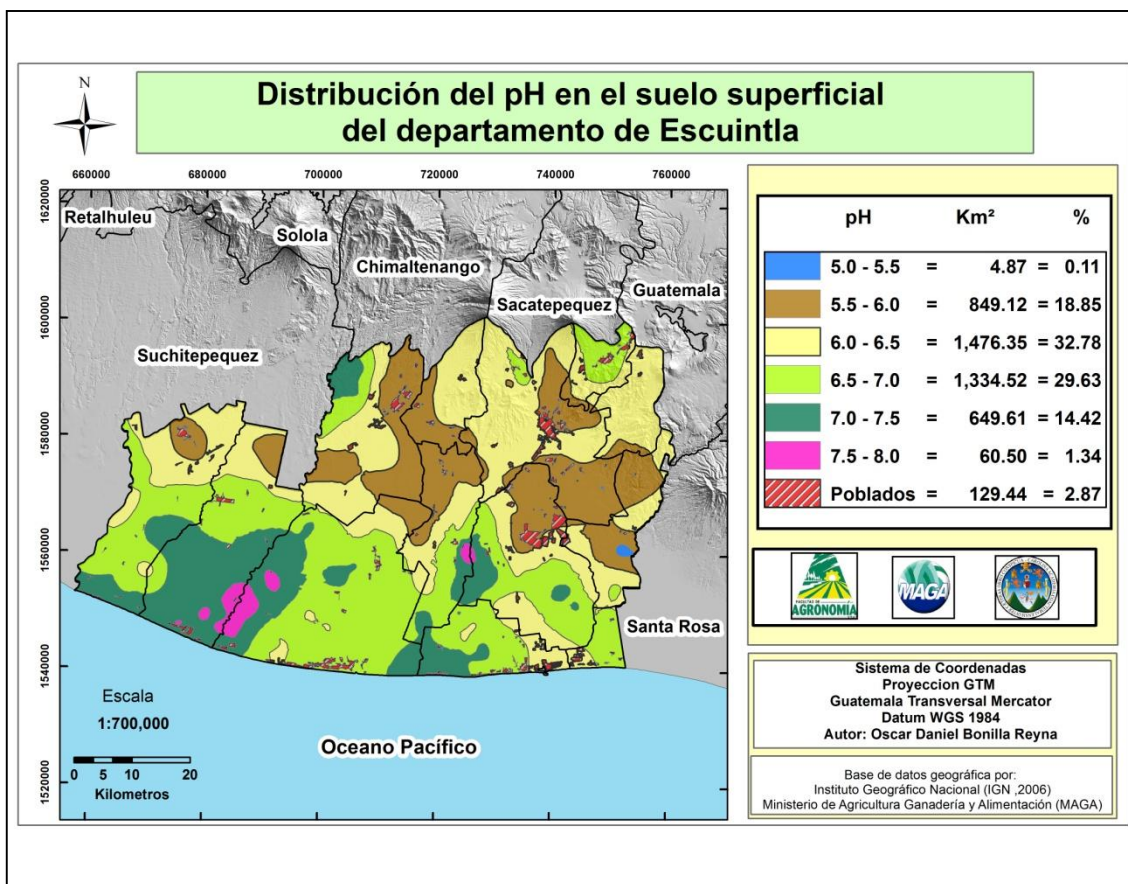


Figura 41. Distribución de la acidez en el suelo del departamento de Escuintla

### 2.6.3 Materia orgánica (M.O.)

#### A Ubicación espacial de los registros de materia orgánica

De materia orgánica se obtuvo 504 observaciones el valor más bajo de materia orgánica corresponde a 0.41% y el valor más alto es 26.8%, se observó un rango de 26.39%.

El 25% de los datos de Materia Orgánica se encuentran a partir de 2.38% hacia el dato menor obtenido en el estudio. El 50% de la información se ubica a partir de 3.72% y el 75% de los datos observados están ubicados en el dato 5.66% hacia el valor más bajo de materia orgánica. El coeficiente de variación de los datos es del 69%.

El cuadro 25 contiene el resumen del análisis exploratorio realizado a la variable materia orgánica del departamento de Escuintla.

Cuadro 25. Resultado del análisis exploratorio de la variable materia orgánica

Estadística	% Materia Orgánica
No. de observaciones	504
Mínimo	0.41
Máximo	26.80
Amplitud	26.39
1° Cuartil	2.38
Mediana	3.72
3° Cuartil	5.66
Media	4.52
Varianza (n-1)	9.88
Desviación típica (n-1)	3.14
Coeficiente de variación	0.69

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

La figura 42 muestra la dispersión de los datos analizados en el estudio de la variable materia orgánica.

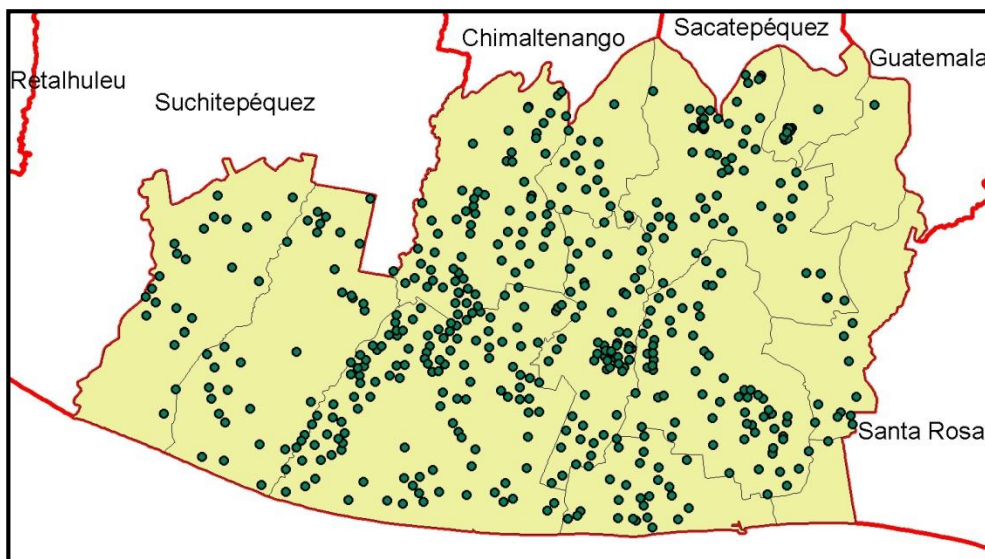


Figura 42. Dispersión de los datos de materia orgánica

El cuadro 26 evidencia que el 15% de los datos obtenidos en el departamento de Escuintla poseen suelos con bajo contenido de materia orgánica, un 40% de los datos de materia orgánica presentan suelos con ligeramente bajo contenido, el 24% de los datos colectados corresponde a suelos con un contenido medio de materia orgánica y un 21% de los datos



presentan suelos con alto contenido de materia orgánica. Como un criterio adicional se indicó que la materia orgánica menor o igual al 1% dentro del conjunto de datos corresponden a 18 datos representando al 2% de la información analizada.

Cuadro 26. Frecuencias y porcentajes de materia orgánica en Escuintla

Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia	Frecuencia relativa
<b>0</b>	<b>1</b>	11	0.02
<b>1</b>	<b>2</b>	64	0.13
<b>2</b>	<b>4</b>	202	0.40
<b>4</b>	<b>6</b>	120	0.24
<b>6</b>	<b>27</b>	107	0.21

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

La figura 43 muestra el histograma obtenido a partir del conjunto de datos colectados, como se mencionó en el cuadro 26 se puede observar que la mayor cantidad de datos corresponden a la materia orgánica comprendida entre 2 y 4 por ciento la cual es categorizada por el Laboratorio de Suelo y Agua de la FAUSAC como ligeramente bajo porcentaje de Materia Orgánica en el suelo, también se observa el único dato arriba de 20% de Materia Orgánica, el cual es considerado como datos atípico del departamento siendo este dato 28 % de Materia Orgánica

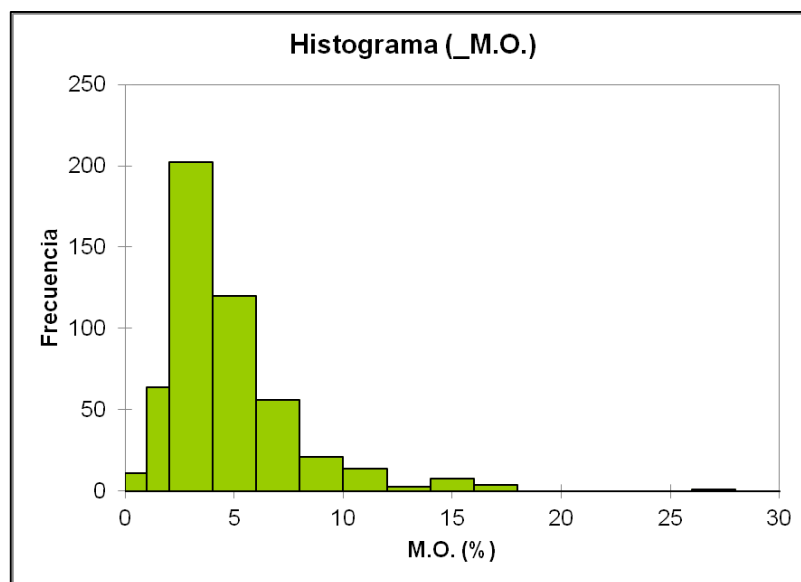


Figura 43. Histograma de la variable materia orgánica

## **B Normalidad de los datos observados de materia orgánica**

Se halló que la variable Materia Orgánica no muestra un patrón normal en su conjunto de datos por lo tanto esta se ve influenciada por otro tipo de modelo al no tener un comportamiento aleatorio en la distribución de los datos obtenidos esto se puede observar en el cuadro 27 al aplicarle la prueba de Shapiro-Wilk.

Cuadro 27. Prueba de normalidad de los datos de materia orgánica

<b>Prueba de Shapiro-Wilk (% Materia Orgánica):</b>	
W	0.815
p-valor	< 0.0001
alfa	0.05
Interpretación de la prueba:	
H0: La muestra sigue una ley Normal.	
Ha: La muestra no sigue una ley Normal.	

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0.05$ , se debe rechazar la hipótesis nula  $H_0$ , y aceptar la hipótesis alternativa  $H_a$ .

## **C Información de la consulta a expertos sobre la materia orgánica**

Esta variable corresponde a la pregunta número 15 del cuestionario, en ella detalla que el 63% de los entrevistados consideran que el problema de materia orgánica en el departamento es que esta en una cantidad leve, el 31% considera que el problema es moderado y un 6% indica que el suelo es rico en Materia Orgánica al estar está en una cantidad alta.

Según el resultado del cuestionario brindado a los técnicos de campo, estos coinciden con lo observado en los mapas anteriormente discutidos donde se logró identificar cómo los contenidos bajos de materia orgánica se encuentran dispersos en el departamento de Escuintla en un 55% correspondiendo a 277 datos. El resultado de la encuesta indica que el 63% de los técnicos observar una limitada cantidad de materia orgánica en los suelos donde desempeñan sus actividades laborales.

Con respecto al contenido medio de Materia Orgánica los técnicos indicaron que en un 31% ellos determinan como moderada la cantidad de Materia Orgánica en los campos, comparando este resultado con lo analizado por el autor no están lejos de la realidad al encontrar que el 24% de los datos analizados muestran que Escuintla cuenta con un nivel medio de materia orgánica en los campos cultivados.

Por último la cantidad de materia orgánica en el suelo denominada alta en la encuesta mostró que el 6% de los técnicos entrevistados consideran que el contenido de Materia Orgánica es alto y los resultados de los datos analizados muestran que este contenido alto cuenta con un 21% de los datos correspondiendo esto a 107 datos.

La figura 44 muestra la gráfica de barra con los porcentajes obtenidos según el nivel categórico que los entrevistados observan en campo de materia orgánica.

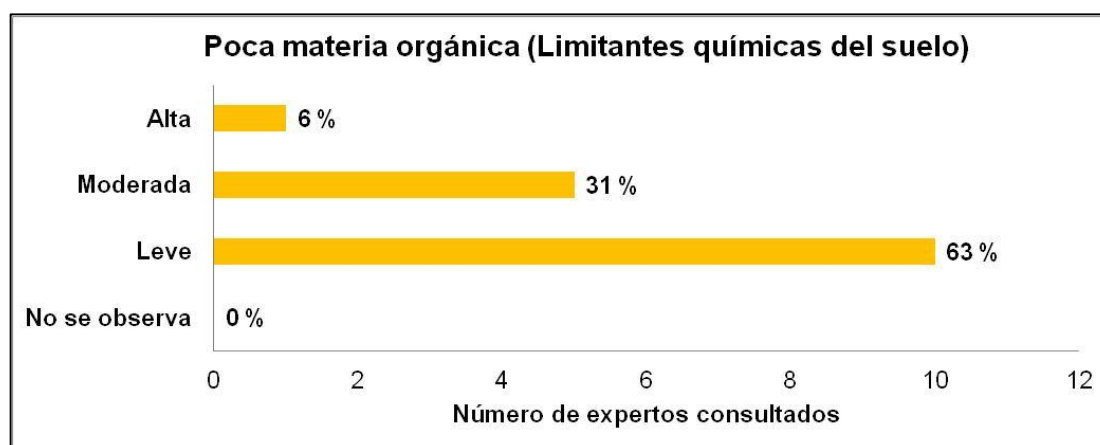


Figura 44. Materia orgánica en el suelo según entrevista a profesionales agrícolas en Escuintla

#### **D Materia orgánica categorizada como baja a ligeramente baja**

Según los resultados de materia orgánica en el suelo del departamento de Escuintla demuestran que existen suelos muy pobres y pobres de materia orgánica, principalmente en la zona central y sur del departamento.

Para demostrar los valores más críticos de Materia Orgánica en el departamento se ubicó a los municipios de Nueva concepción, la Gomera, La Democracia, Puerto de San José y

Masagua como los más bajos en % de materia orgánica, lo cual se puede constatar en la figura 45 con los 11 datos menores o iguales a 1 correspondiendo esto al 2% del total de los datos estudiados.

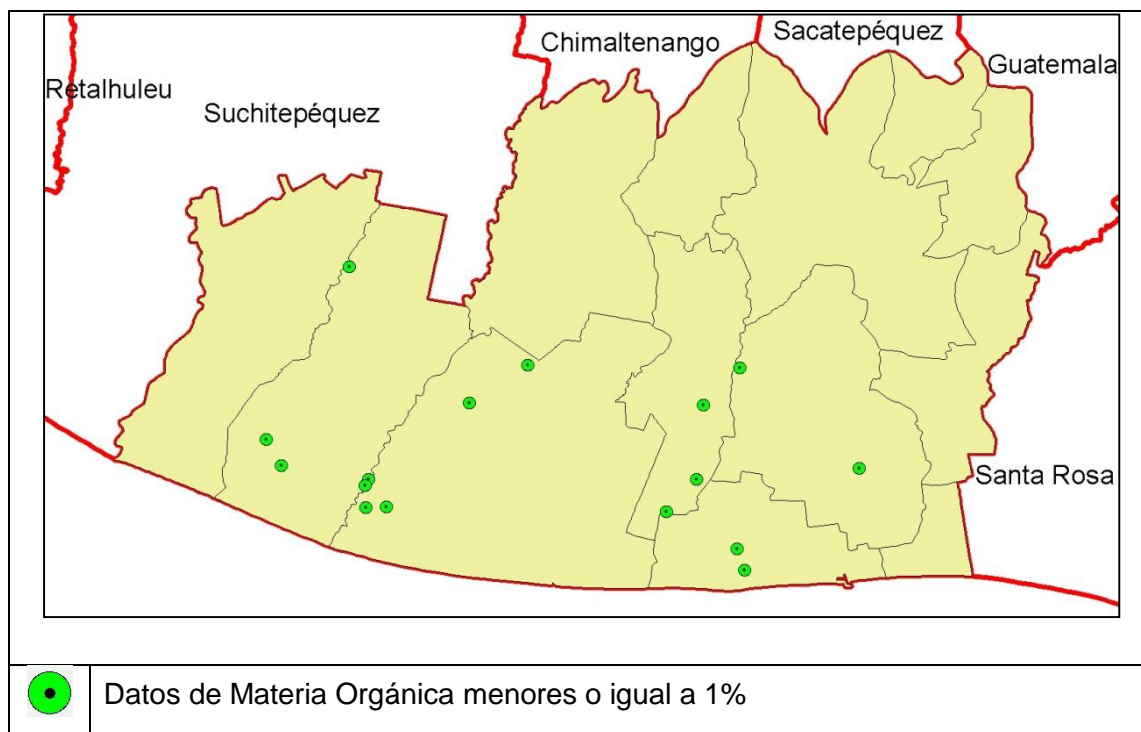


Figura 45. Dispersión de los datos de materia orgánica menores o iguales a 1%

En la figura 45 se puede apreciar que los municipios más afectados con la limitante de materia orgánica en la parte centro-sur de Escuintla son: La Gomera, Puerto de San José, Masagua, Nueva Concepción y La Democracia.

El 15% de los datos muestran que Escuintla posee suelos con Materia Orgánica baja y un 40% de los datos esta categorizado como materia orgánica ligeramente baja al estar esto con porcentajes igual o por debajo de 4%, se puede observar en la figura 46 la dispersión de ambas categorías descritas.

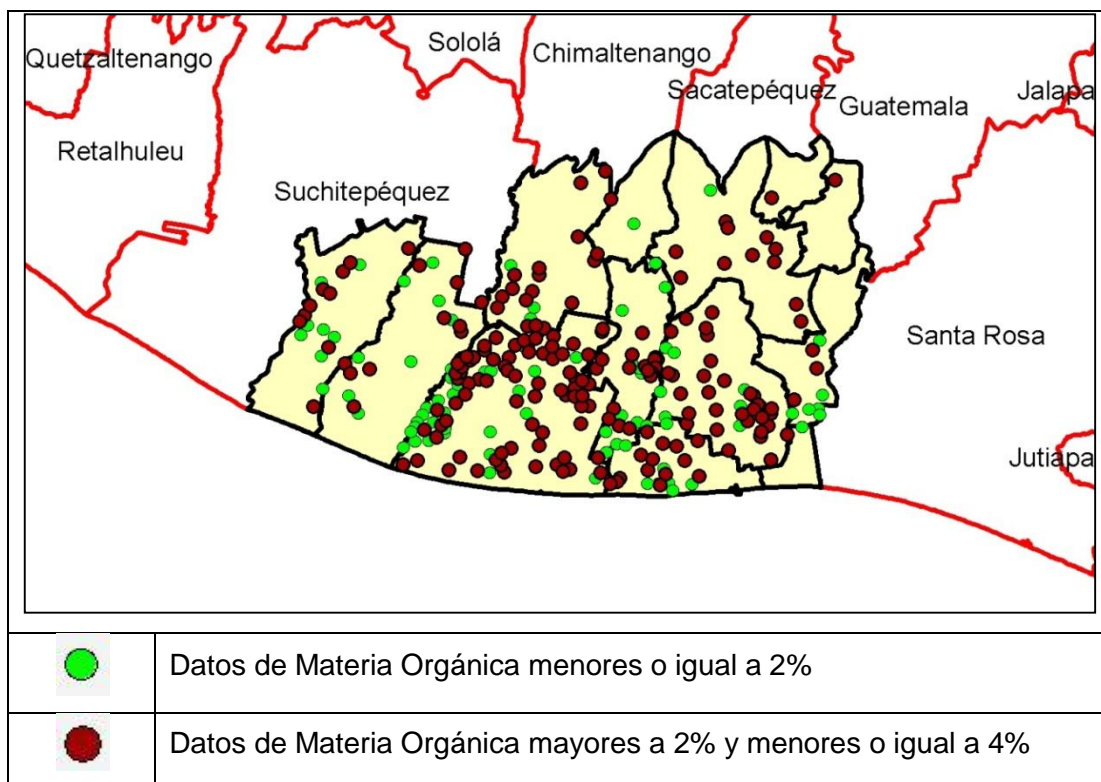


Figura 46. Dispersión de los datos de materia orgánica categorizados como bajo y ligeramente bajo contenido de materia orgánica

El contenido más bajo de Materia Orgánica se localizó en el municipio de Masagua.

### **E Materia orgánica categorizada como contenido medio en los suelos**

Un suelo con un contenido de materia orgánica de 4% a 6% es categorizado como medio y en el caso de los datos analizados se obtuvo que el 24% de estos, son suelos con un contenido medio de materia orgánica, donde se aprecia en la figura 47 que los municipios afectados principalmente en la parte central-norte del departamento, son: La Gomera, Santa Lucía Cotzumalguapa, La Democracia, Escuintla y Masagua.

También se logra observar que en la parte sur del departamento se ubican los municipios del Puerto de San José y Nueva concepción con presencia de suelos con un contenido entre 4% y 6% de Materia Orgánica.

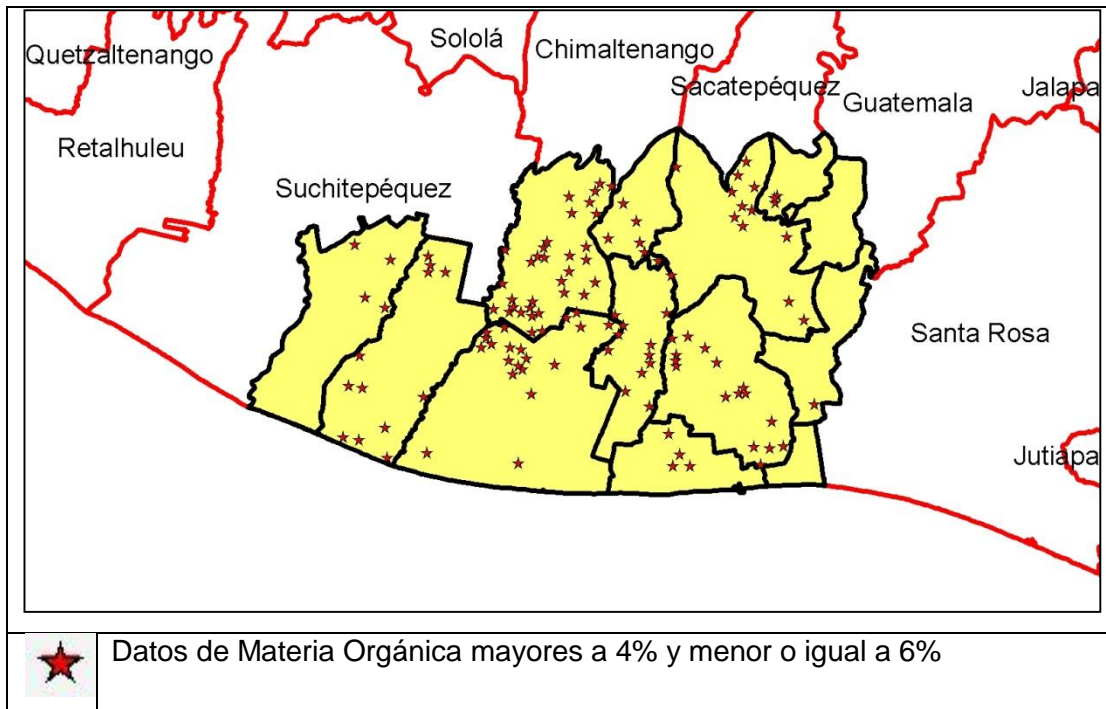


Figura 47. Dispersión de los datos de materia orgánica categorizados como nivel medio contenido en el suelo de Escuintla.

#### **F Materia orgánica categorizada como alto contenido en el suelo**

Los datos analizados muestran que el contenido de Materia Orgánica en los suelos de Escuintla se encuentra ubicado en la zona norte del departamento específicamente en los municipios de Santa Lucía Cotzumalguapa, La Democracia, Siquinalá, Escuintla y Palín.

El único dato extremo arriba del 20%, se ubicó en el municipio de Escuintla con un 26.8, en la parte norte del mismo. Esta categoría está representada por el 21% de los datos encontrados dentro del departamento.

La figura 48 muestra la distribución de los datos obtenidos con la categoría alto contenido de materia orgánica donde resalta los tres puntos con un color celeste con el contenido de M.O mayor al 20% descrito en el párrafo anterior.

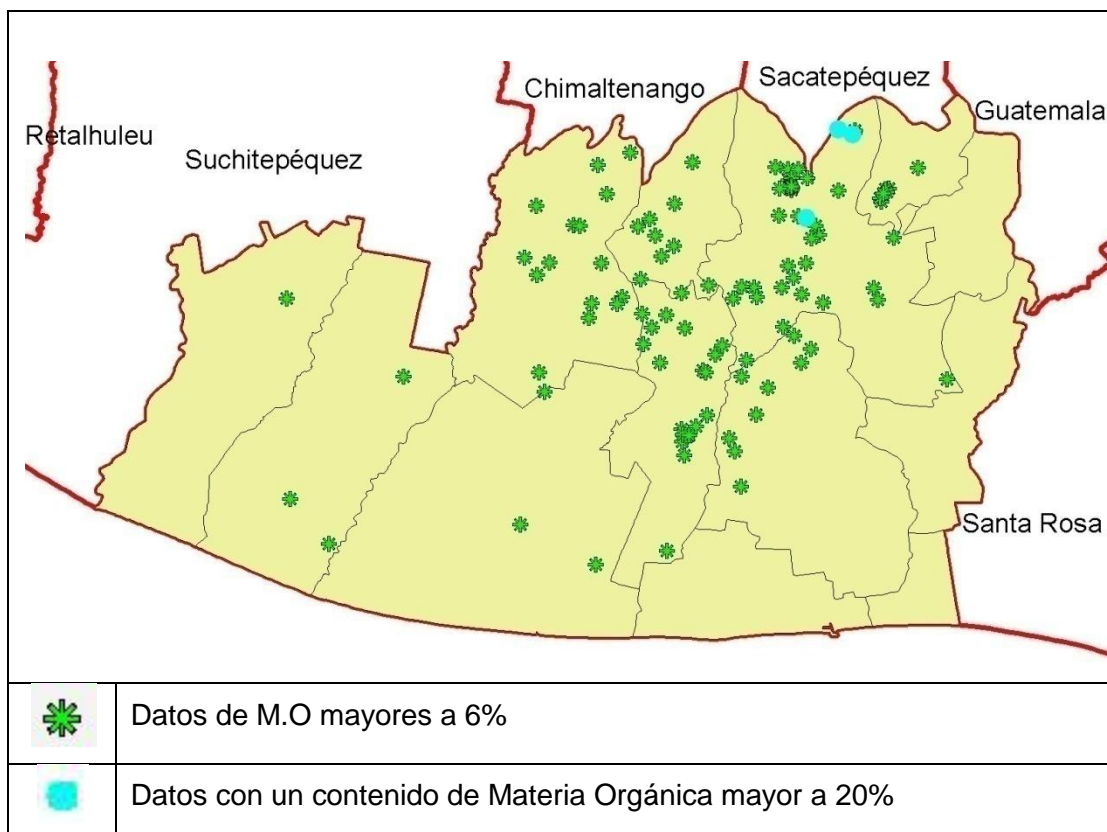


Figura 48. Dispersión de los datos de materia orgánica categorizados como alto en el suelo

### G Análisis geostatístico de la materia orgánica del suelo

La interpolación lineal para esta variable dio como resultado la ubicación de % de Materia Orgánica que van desde valores cercanos a 0% (0.41% Materia Orgánica) hasta valores de 20% de Materia Orgánica

Al presentar valores que van desde el 0 % hasta 2% de materia Orgánica, el departamento de Escuintla cuenta con 0.35% cobertura terrestre equivalente a 15.65 km<sup>2</sup> del territorio departamental presentando problemas de bajo contenido de Materia Orgánica ubicándose esta área en el municipio de Tiquisate específicamente en la parte sur.

El 54.26% de Escuintla posee Materia Orgánica con intervalos que van de más de 2% hasta 4% de materia orgánica equivalente a 2,443.90 km<sup>2</sup> de su superficie terrestre, aunque (Fassbender & Bornemisza, 1987) mencionan que estos rangos son un contenido bajo de Materia Orgánica en los suelos, luego de consultar a los expertos edafólogos de la FAUSAC ellos indican que ese contenido en Escuintla no se puede considerar bajo por las

características climáticas y edafológicas del departamento, por lo cual se concluye que es un contenido categorizado como “medio”, siendo esto motivo para considerar que estas superficies deberán de tenerse en consideración para no degradarlas.

La presencia de este contenido “medio” se ubica casi en la totalidad de los municipios de Tiquisate, Nueva Concepción, La Gomera, Puerto de San José, Puerto de Iztapa, y en la zona sur de los municipios de La Democracia, Masagua y Guanagazapa.

Aplicando las recomendaciones de los edafólogos de la FAUSAC en cuanto a los rangos de Materia Orgánica se observa que existe un contenido alto de Materia Orgánica en Escuintla que va desde 4% hasta alcanzar contenidos de 20% de Materia Orgánica, estos se ubican en los municipios de Santa Lucía Cotzumalguapa, Siquinalá, Escuintla, Palín y San Vicente. En la parte central hacia la parte norte de los municipios de La Democracia, Masagua y Guanagazapa cuentan con altos contenidos de Materia Orgánica. La figura 49 muestra el comportamiento de estos contenidos de Materia Orgánica en el departamento de Escuintla.

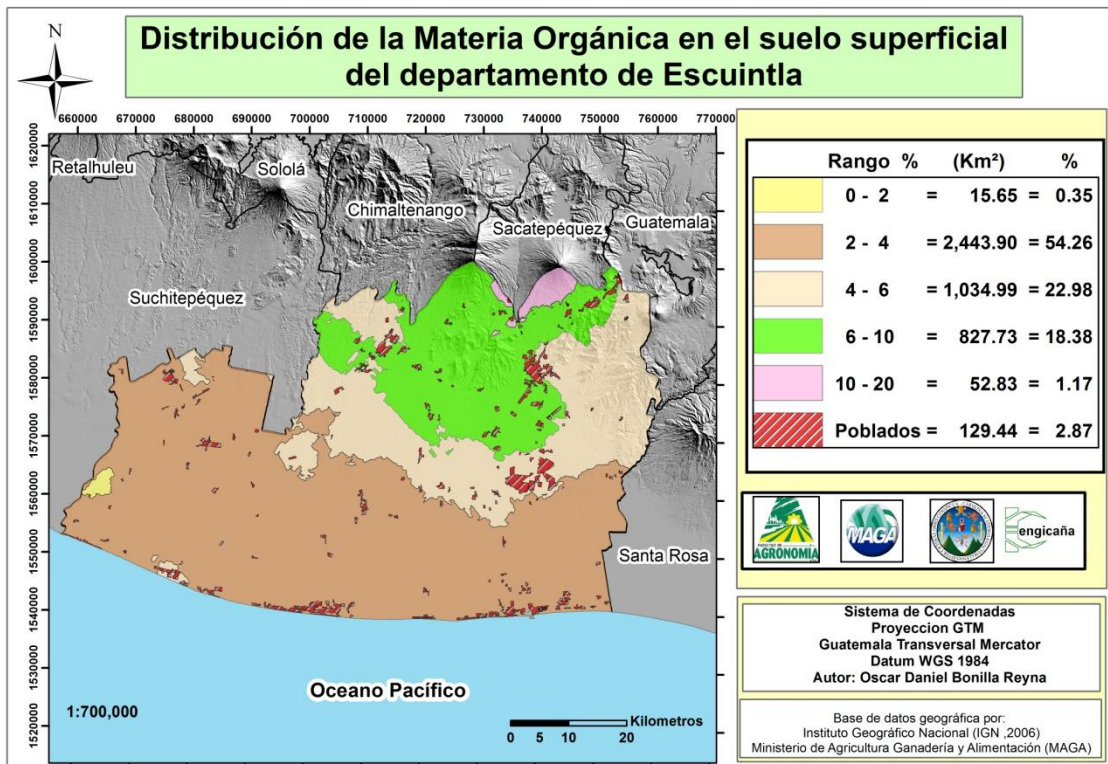


Figura 49. Distribución de la materia orgánica en el suelo del departamento de Escuintla



## 2.6.4 Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)

### A Distribución espacial de registros obtenidos con datos de capacidad de intercambio catiónico

Se consiguió obtener un total de 164 datos de la variable Capacidad de Intercambio Catiónico en el departamento de Escuintla.

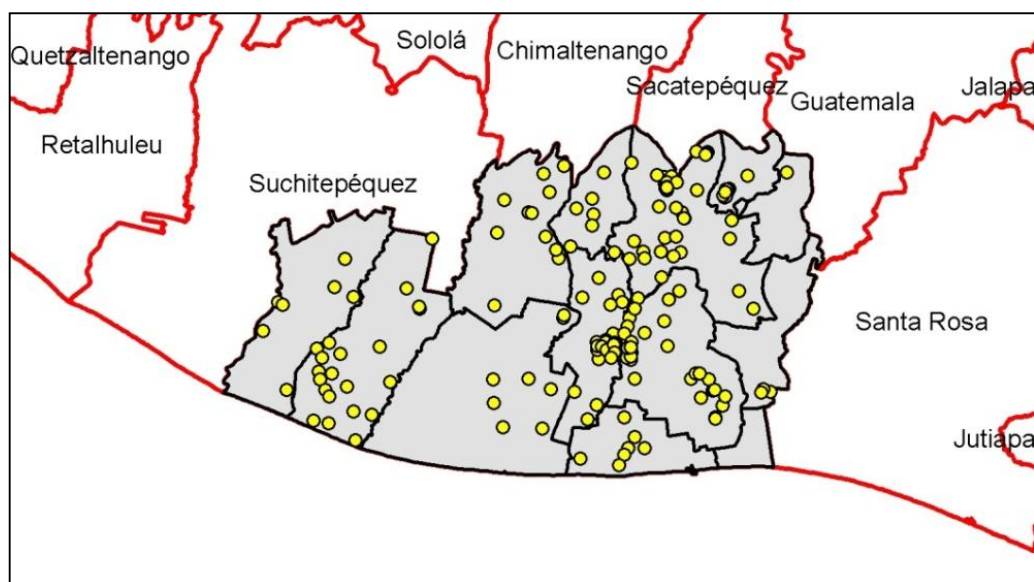


Figura 50. Distribución espacial de los datos de capacidad de intercambio catiónico

La figura 50 muestra cómo se distribuyeron los datos dentro del departamento, cabe mencionar que en la mayoría de los documentos consultados de la variable Capacidad de Intercambio Catiónico fue la que menos fue posible encontrar y por consiguiente coleccionar.

### B Análisis estadístico de la variable capacidad de intercambio catiónico

Del conjunto de datos estudiados se encontró con un dato mínimo de Capacidad de Intercambio Catiónico de 4.74  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . suelo y un dato máximo de 72.35  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . suelo generando esto un rango o amplitud de 67.61  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . suelo.

En relación al conjunto de datos se encontró que el 25% de estos están a partir de 16.67  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo, hacia el dato menor, el 50% de los datos están a partir de 23.95

Cmol+/Kg. de suelo, el 75% de la información se ubica a partir del dato 32.62 Cmol+/Kg. de suelo.

El conjunto de datos muestra un variabilidad del 53%, todo lo indicado anteriormente se resume en el cuadro 28.

Cuadro 28. Resultado del análisis exploratorio de la variable capacidad de intercambio catiónico

<b>Estadística</b>	<b>Capacidad de Intercambio Catiónico</b>
No. de observaciones	164
Mínimo	4.74
Máximo	72.35
Amplitud	67.61
1° Cuartil	16.67
Mediana	23.95
3° Cuartil	32.62
Media	25.80
Varianza (n-1)	187.98
Desviación típica (n-1)	13.71
Coefficiente de variación	0.53

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Continuado con el análisis de la información se encontró que el 12% de los datos cuenta con serios problemas de Capacidad de Intercambio Catiónico en el suelo ya que se encuentran en un rango de 0 a 10 Cmol+/Kg. de suelo, catalogado como muy baja Capacidad de Intercambio Catiónico.

En un rango de 10 a 15 Cmol+/Kg. de suelo, se ubicó al 9% de los datos de Capacidad de Intercambio Catiónico con una categoría de baja Capacidad de Intercambio Catiónico.

La Capacidad de Intercambio Catiónico con categoría ligeramente baja obtenida corresponde al rango de 15 a 20 Cmol+/Kg. de suelo, con el 13% de los datos estudiados.

Y por último con una Capacidad de Intercambio Catiónico catalogada como Buena se encuentra aquellos valores mayores a 20 Cmol+/Kg. de suelo, con un 65% de los datos siendo esto un total de 107 datos, todo lo anterior descrito se resume en el cuadro 29.

Cuadro 29. Categoría, frecuencias y porcentajes de la variable capacidad de intercambio catiónico

<b>Categoría</b>	<b>Límite inferior [</b>	<b>Límite superior [</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia relativa</b>
Muy Baja	0	10	20	0.12
Baja	10	15	15	0.09
Ligeramente baja	15	20	22	0.13
Buena	20	73	107	0.65

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Con la ayuda del histograma contenido en la figura 51 se visualizó el comportamiento de la Capacidad de Intercambio Catiónico con respecto a la frecuencia de los datos colectados donde sobresale que la mayor cantidad de datos se encuentra en el rango de 20 a 30 Cmol+/Kg. de suelo, correspondientes a 55 datos.

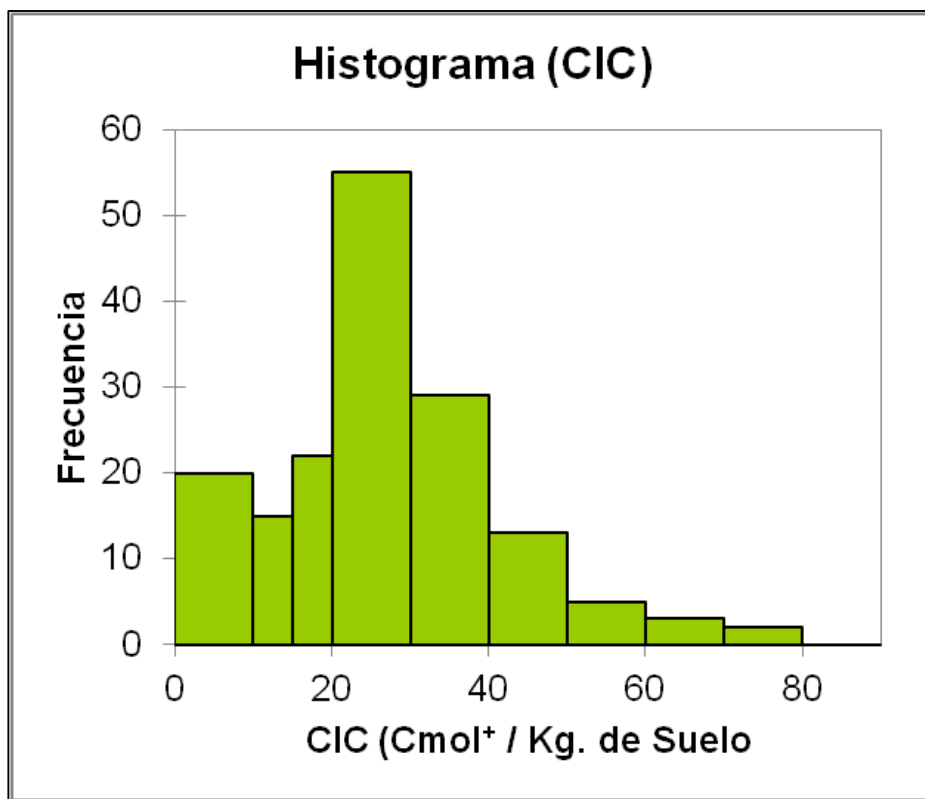


Figura 51. Histograma de la variable capacidad de intercambio catiónico

### C Normalidad de los datos observados de capacidad de intercambio catiónico (CIC)

El cuadro 30 muestra que al aplicar la prueba de Shapiro-Wilk a los datos de la variable Capacidad de Intercambio Catiónico esta no presenta una distribución normal ya que el p-valor es menor que el valor alfa por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H0).

Cuadro 30. Prueba de normalidad a la variable capacidad de intercambio catiónico

<b>Prueba de Shapiro-Wilk (CIC):</b>	
W	0.942
p-valor	< 0.0001
alfa	0.05
Interpretación de la prueba:	
H0: La muestra sigue una ley Normal.	
Ha: La muestra no sigue una ley Normal.	

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Con los 164 datos utilizados de Capacidad de Intercambio Catiónico se encontró que el departamento de Escuintla cuenta con 4 categorías de Capacidad de Intercambio Catiónico de las cuales el 12 % de los datos se cataloga como “muy baja”, el 9% baja, otro 13% se cataloga como “ligeramente baja” y el 67% de los datos estudiados muestra al departamento de Escuintla con una Capacidad de Intercambio Catiónico alta.

El dato más bajo de Capacidad de Intercambio Catiónico corresponde a 4.74 Cmol+/Kg. de suelo, ubicado en el municipio de La Nueva Concepción, y el dato más alto se ubica en el municipio de Palín con un valor de 72.35 Cmol+/Kg. de suelo.

#### **D Capacidad de intercambio catiónico con una categoría muy baja**

Se encontró que un 12% de la información analizada de los suelos de Escuintla presenta una capacidad de Intercambio catiónico baja al estar por debajo de los 10 Cmol+/Kg. de suelo.

Según la figura 52 se observó que para el caso de Escuintla con la información analizada no revela un patrón en el comportamiento dentro de los municipios, con esto se describe que los municipios que presentan problemas con la Capacidad de Intercambio Catiónico son: Tiquisate, Nueva Concepción, Santa Lucía Cotzumalguapa, Siquinalá, Escuintla, Palín, La Democracia, Masagua, Puerto San José y la Gomera.

El valor más bajo se localizó en la parte sur del municipio de Nueva Concepción con un valor de 4.74 Cmol+/Kg. de suelo.

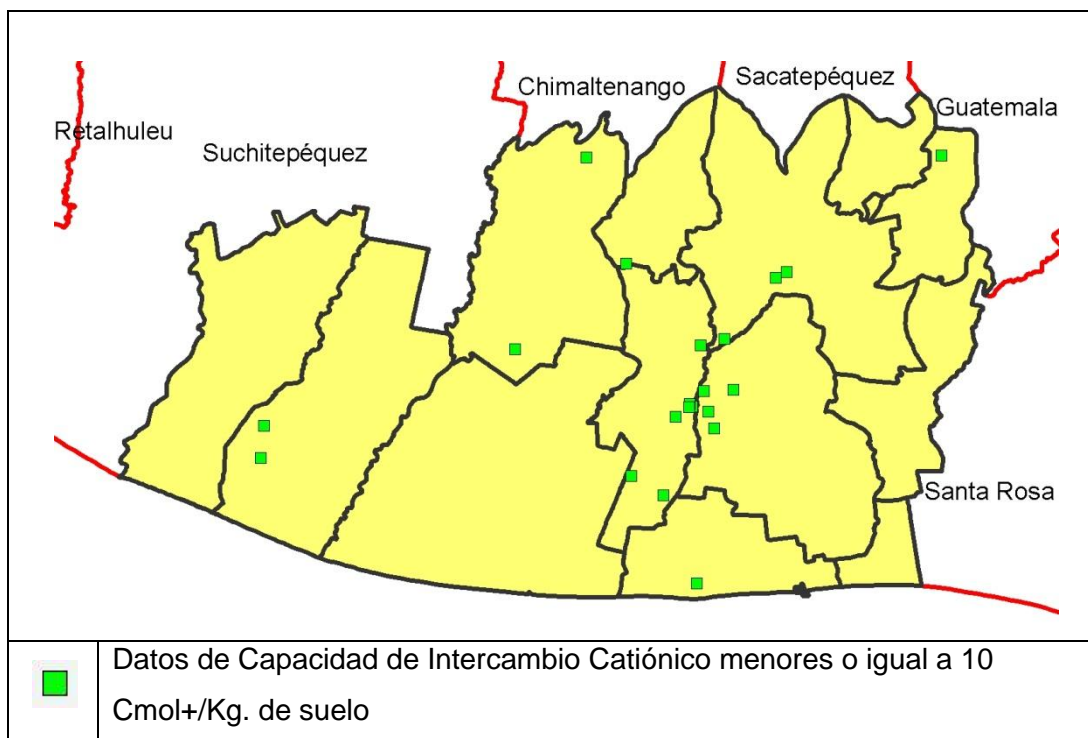


Figura 52. Dispersión de los datos de capacidad de intercambio catiónico categorizados como muy bajo

### **E Capacidad de intercambio catiónico con un categoría baja**

Para este conjunto de datos se halló que el 9% de la información capturada corresponde a valores de Capacidad de Intercambio Catiónico mayores a 10 Cmol+/Kg. de suelo, y menores o igual a 15 Cmol+/Kg. de suelo, lo que hace que estos sigan siendo desfavorables para una adecuada actividad agrícola al poseer una baja cantidad de bases cambiables.

Los municipios que presentaron Capacidad de Intercambio Catiónico entre de los 10 Cmol+/Kg. de suelo, y 15 Cmol+/Kg. de suelo, son: Tiquisate, Nueva Concepción, La Democracia, Masagua, Puerto de San José y Escuintla.

En la figura 53 se observó cómo los datos entre 10 y 15 Cmol+/Kg. de suelo, están dispersos principalmente en la parte central hacia el sur del departamento, comparándolo con la figura 52 se observa el mismo patrón de dispersión con una Capacidad de Intercambio Catiónico muy baja.

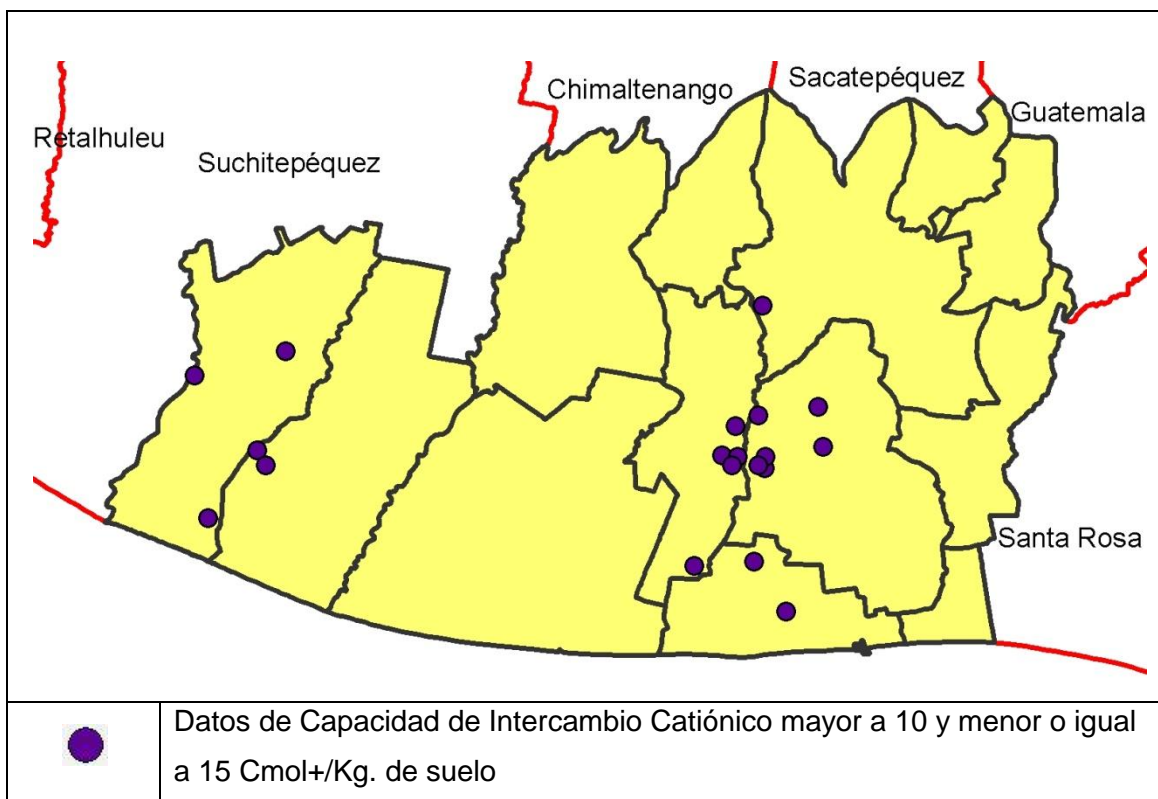


Figura 53. Dispersión de los datos de capacidad de intercambio catiónico categorizados como bajos

#### **F Capacidad de intercambio catiónico con una categoría ligeramente baja**

En este rango se encuentran los datos de Capacidad de Intercambio Catiónico denominados como "ligeramente baja" al estar en un rango de 15 a 20 Cmol+/Kg. de suelo, esto corresponde al 13% de la información colectada siendo esto 22 datos de los 164 registros colectados para esta variable.

Se observó que sigue el patrón de la Capacidad de Intercambio Catiónico con categoría muy mala y mala por lo cual los municipios de Masagua, La Democracia, Nueva Concepción y Tiquisate son los que presentan una Capacidad de Intercambio Catiónico ligeramente bajo generando con esto áreas con problemas de fertilidad para las actividades agrícolas junto con las anteriores categorías de Capacidad de Intercambio Catiónico descritas.

En la figura 54 se aprecia la distribución de los datos analizados en la superficie del departamento de Escuintla, se aprecia cómo estos municipios son los que presentan limitantes de Capacidad de intercambio catiónico.

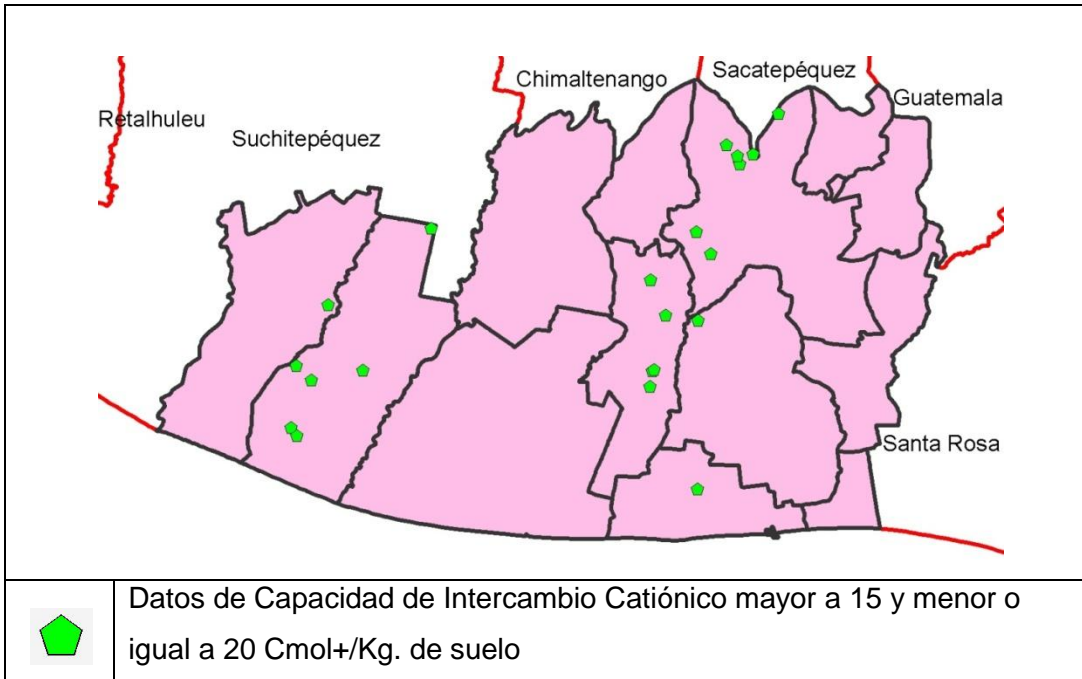


Figura 54. Dispersión de los datos de capacidad de intercambio catiónico categorizados como ligeramente bajo

### **G Capacidad de intercambio catiónico con una categoría buena**

Para esta categoría se estableció que aquellos datos que estuvieran arriba de una Capacidad de Intercambio Catiónico de 20 Cmol+/Kg. de suelo, son los valores más favorables para un desarrollo de las actividades agrícolas del departamento.

Para esta categoría se encontró que el 65% de los datos analizados está sobre el valor anterior indicado por lo que se dice que el departamento de Escuintla tiene en su mayor parte de extensión territorial una buena Capacidad de intercambio catiónico dentro de suelo.



Para ver la dispersión de los datos categorizados como “buena Capacidad de Intercambio Catiónico” se puede consultar la figura 55 en la cual se muestra como están dispersos los datos mayores a 20 Cmol+/Kg. de suelo, dentro del departamento de Escuintla.

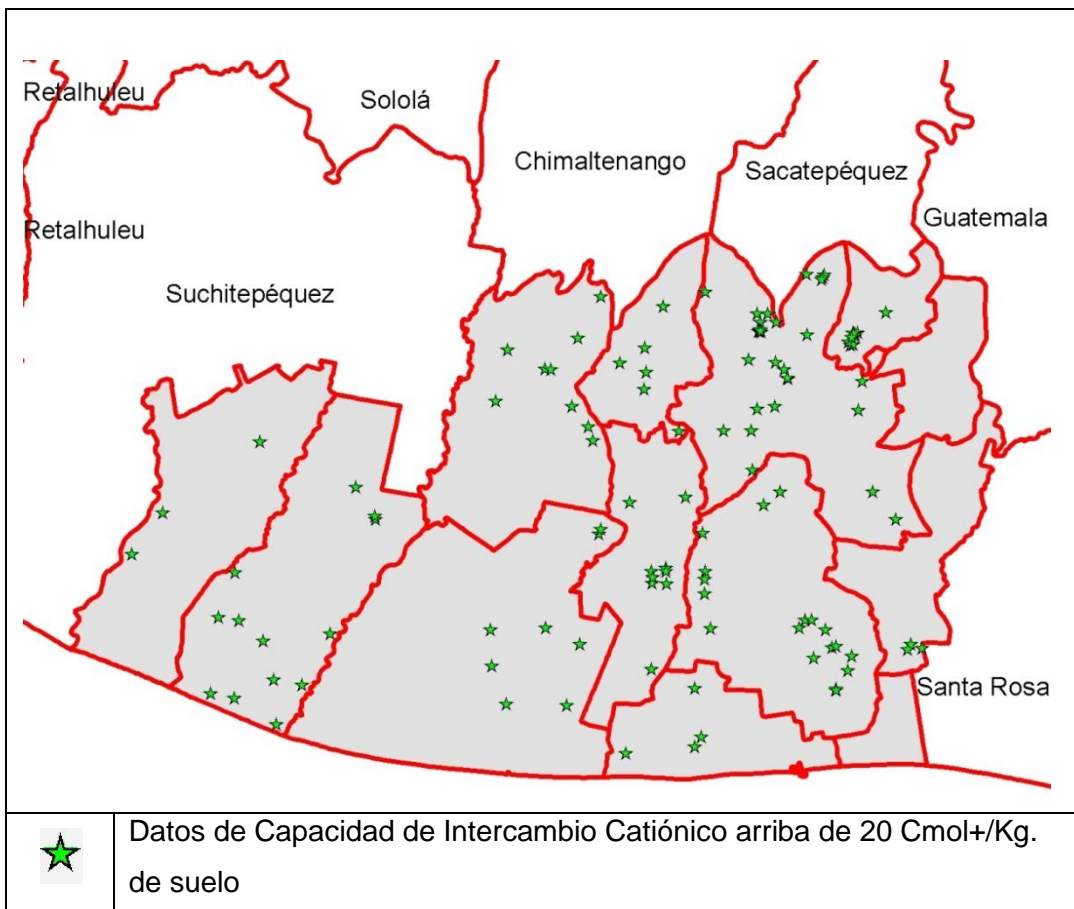


Figura 55. Dispersión de los datos de capacidad de intercambio catiónico categorizados como buena

## H Análisis geostatístico de la capacidad de intercambio catiónico del suelo

La interpolación realizada a este conjunto de datos dio como resultado la identificación de una superficie igual a 331.18 km<sup>2</sup> equivalente al 7.35% de la superficie terrestre de Escuintla categorizado como bajo contenido de Capacidad de Intercambio Catiónico al estar por debajo de 15 Cmol+/Kg de suelo. Es curioso observar como esta Capacidad de Intercambio Catiónico baja se encuentra dentro de contenidos de Capacidad de Intercambio Catiónico considerados como “ligeramente baja” lo que lleva a suponer que

estos bajos contenidos de Capacidad de Intercambio Catiónico podrían deberse a la degradación que el suelo presentan ya sea por acción del viento o de las precipitaciones de la zona entre otras

Estos bajos contenidos de Capacidad de Intercambio Catiónico se localizan en los municipios de Tiquisate, Santa Lucia Cotzumalguapa, La Gomera, La Democracia, Masagua, Puerto de San José y San Vicente Pacaya.

Los contenidos de Capacidad de Intercambio Catiónico con valores de 15 a 20  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$  de suelo, categorizados como “ligeramente bajo” se observan en un 19.20% de la superficie del departamento equivalente a 864.73  $\text{km}^2$  afectando los mismos municipios con de Capacidad de Intercambio Catiónico categorizada como baja.

La Capacidad de Intercambio Catiónico con categoría de “buena” está presente en el departamento en un 70.58% con un intervalo de 20 a 73  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$  de suelo, equivalente a 3,179.07  $\text{km}^2$  lo que refleja el por qué Escuintla en un departamento destinado para la producción agrícola.

Los municipios de Tiquisate y Puerto de San José son los que poseen poca superficie con Capacidad de Intercambio Catiónico considerada como buena para el aprovechamiento agrícola.

La figura 56 muestra la distribución espacial de estas categorías de Capacidad de Intercambio Catiónico presentes en Escuintla.

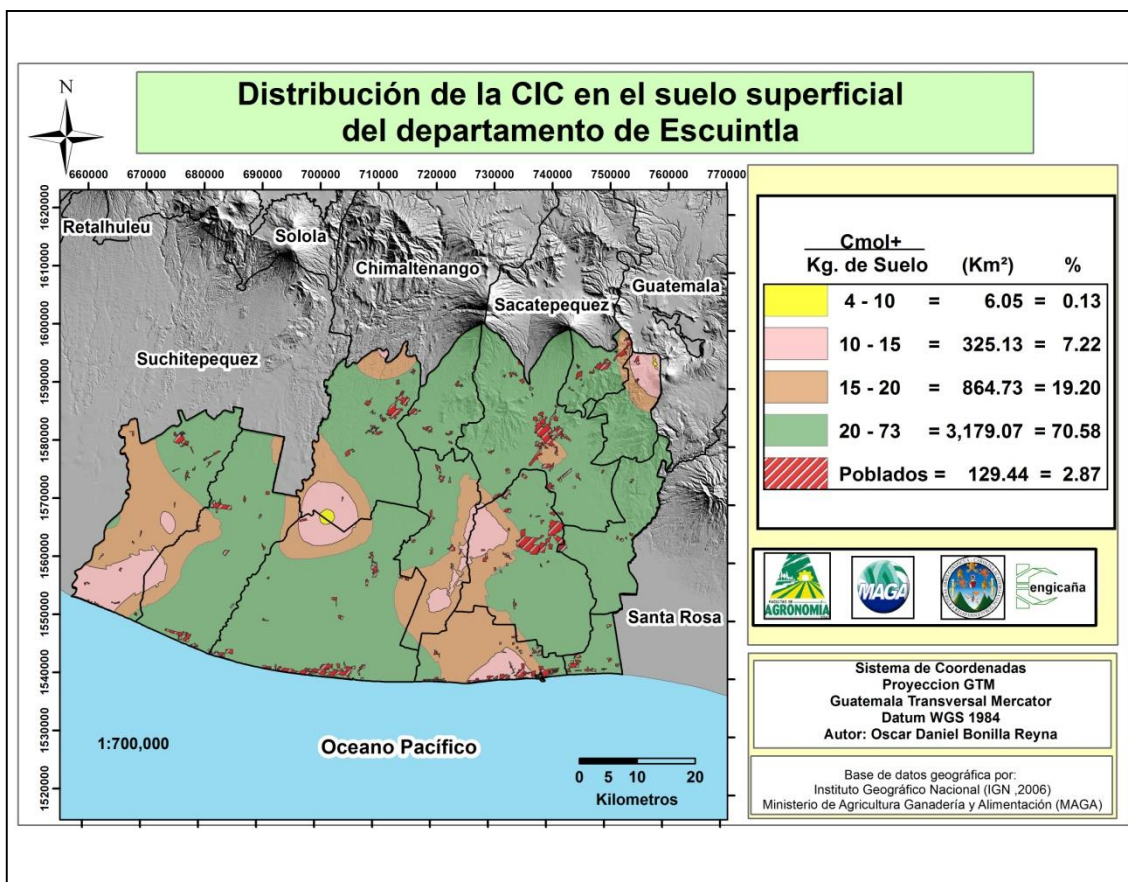


Figura 56. Distribución de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo del departamento de Escuintla

## 2.6.5 Calcio

### A Distribución espacial de registros obtenidos con datos de calcio

En la figura 57 se muestra la dispersión de las 578 observaciones obtenidas en las visitas a las diferentes instituciones donde se capturaron los datos correspondientes a la variable calcio.

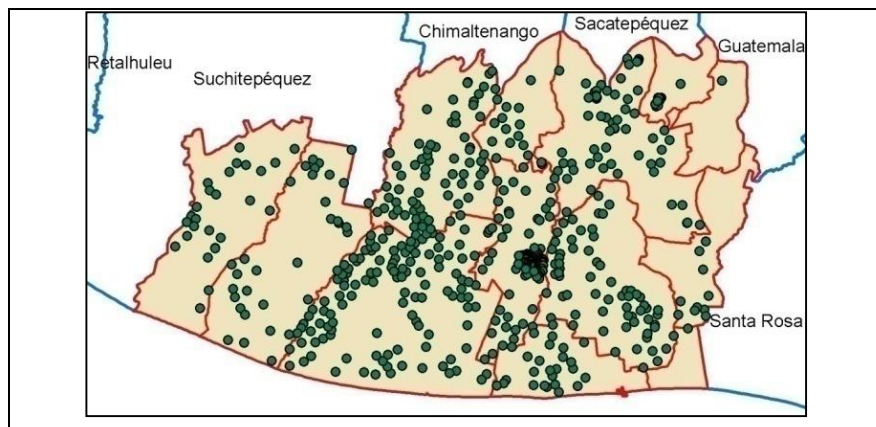


Figura 57. Dispersión de los datos obtenidos de calcio

### B Análisis estadístico de la variable calcio

De los datos en estudio se encontró que la variable calcio presenta un dato mínimo de 1.23 Cmol<sup>+</sup>/Kg. suelo y un dato máximo de 38.39 Cmol<sup>+</sup>/Kg. suelo en el departamento lo que genera un rango de 37.16 Cmol<sup>+</sup>/Kg. suelo dentro del conjunto de datos.

El 25% de la información colectada se ubica a partir de 7.53 Cmol<sup>+</sup>/Kg. suelo hacia el dato mínimo, el 50% de la información se ubica del dato 10.95 Cmol<sup>+</sup>/Kg. suelo y el 75% de la información está a partir del dato 15.30 Cmol<sup>+</sup>/Kg. suelo todos hacia el dato mínimo reportado, esto se visualiza de manera resumida en el cuadro 31, este también muestra que la variación del conjunto de datos es del 45%.

Cuadro 31. Resultados del análisis exploratorio de la variable calcio

Estadística	Calcio
No. de observaciones	578
Mínimo	1.23
Máximo	38.39
Amplitud	37.16
1° Cuartil	7.53
Mediana	10.95
3° Cuartil	15.30
Media	11.59
Varianza (n-1)	27.53
Desviación típica (n-1)	5.25
Coficiente de variación	0.45

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Para categorizar al calcio se estableció rangos para interpretar al conjunto de datos los cuales se aprecian en el cuadro 32:

Cuadro 32. Categoría de los rangos del calcio en el suelo

<b>Categoría</b>	<b>Calcio</b>
Bajo	$\leq 4$
Ligeramente bajo	4-8
Medio	8-12
Alto	$> 12$

Fuente: Laboratorio de suelos FAUSAC

Mediante frecuencias del conjunto de datos se logró establecer los porcentajes a los cuales corresponden las categorías de calcio dentro del departamento, quedando de la siguiente manera:

Los datos iguales o menores a 4 Cmol+/Kg. de suelo, son 34 representando esto al 0.06% del conjunto de datos categorizados como “bajo” en contenido de calcio.

Los datos mayores a 4 Cmol+/Kg. de suelo, y menores o igual a 8 Cmol+/Kg. de suelo, corresponde a 123 datos representando al 21 % de los datos colectados, categorizados como “ligeramente bajo” contenido de calcio en el suelo.

Categorizados como un contenido “medio” de calcio en el suelo, se ubicó al 29% de la información representado por 169 datos.

Como un contenido “alto” de calcio se encontró al 44% de los datos colectados siendo esto 252 datos, lo anterior expuesto se resume en el cuadro 33.

Cuadro 33. Rangos de calcio y sus frecuencias en el departamento de Escuintla

<b>Límite inferior [</b>	<b>Límite superior [</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia relativa</b>
<b>0</b>	<b>4</b>	34	0.06
<b>4</b>	<b>8</b>	123	0.21
<b>8</b>	<b>12</b>	169	0.29
<b>12</b>	<b>39</b>	252	0.44

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Con el apoyo del histograma de la variable calcio, se logró observar que la mayor frecuencia se ubica en el rango de 8 a 12 Cmol<sup>+</sup>/Kg. de suelo.

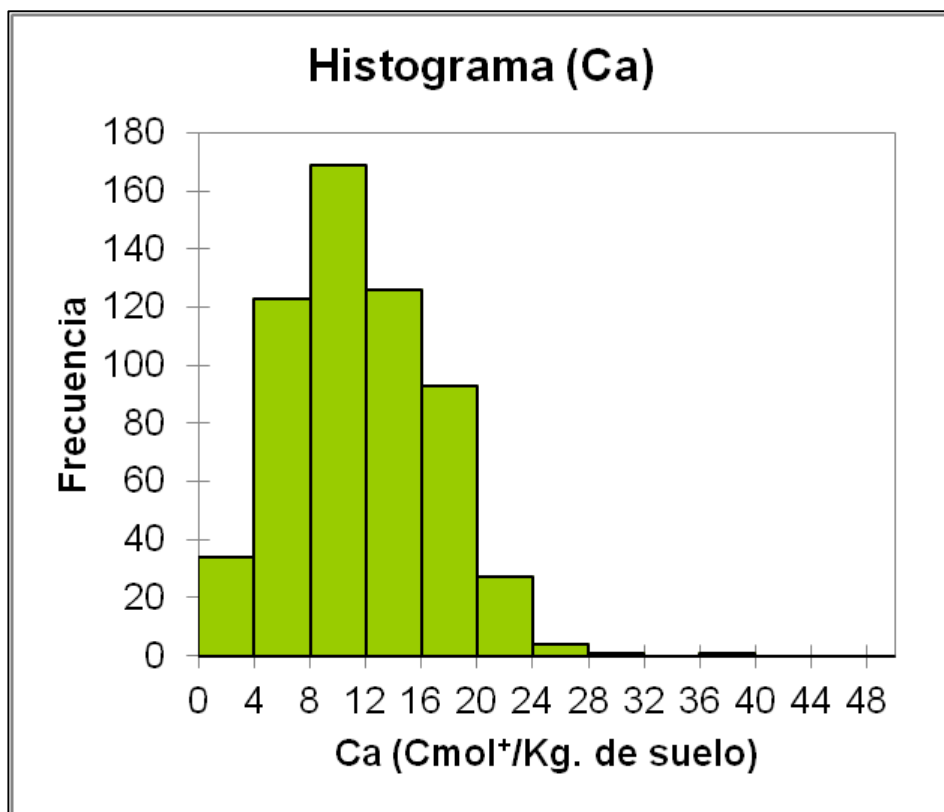


Figura 58. Histograma de la variable calcio

### C Normalidad de la variable calcio observada

Se encontró que los datos de calcio colectados no presentan una distribución normal esto al aplicarle la prueba de Shapiro-Wilk. La normalidad se rechaza debido a que el valor p-valor es menor al valor alfa de 0.05 por lo tanto se acepta la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>).

Cuadro 34. Prueba de normalidad a la variable calcio

<b>Prueba de Shapiro-Wilk (Calcio):</b>	
W	0.978
p-valor	< 0.0001
alfa	0.05
Interpretación de la prueba:	
H <sub>0</sub> : La muestra sigue una ley Normal.	
H <sub>a</sub> : La muestra no sigue una ley Normal.	

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

## D Bajo contenido de calcio

Para la variable calcio se observó que los datos categorizados como contenido “bajo” de calcio por ser menor o igual a 4 Cmol+/Kg. de suelo, se encuentran dispersos por todo el departamento sin mostrar un patrón de comportamiento y encontrándose solamente 34 datos. Los datos más bajos al estar por debajo de 2 Cmol+/Kg. de suelo, se ubicaron en la parte norte del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, La Gomera y en la parte sur de Tiquisate, Puerto de San José y Masagua.

La figura 59 muestra la distribución espacial de estos rangos dentro del departamento.

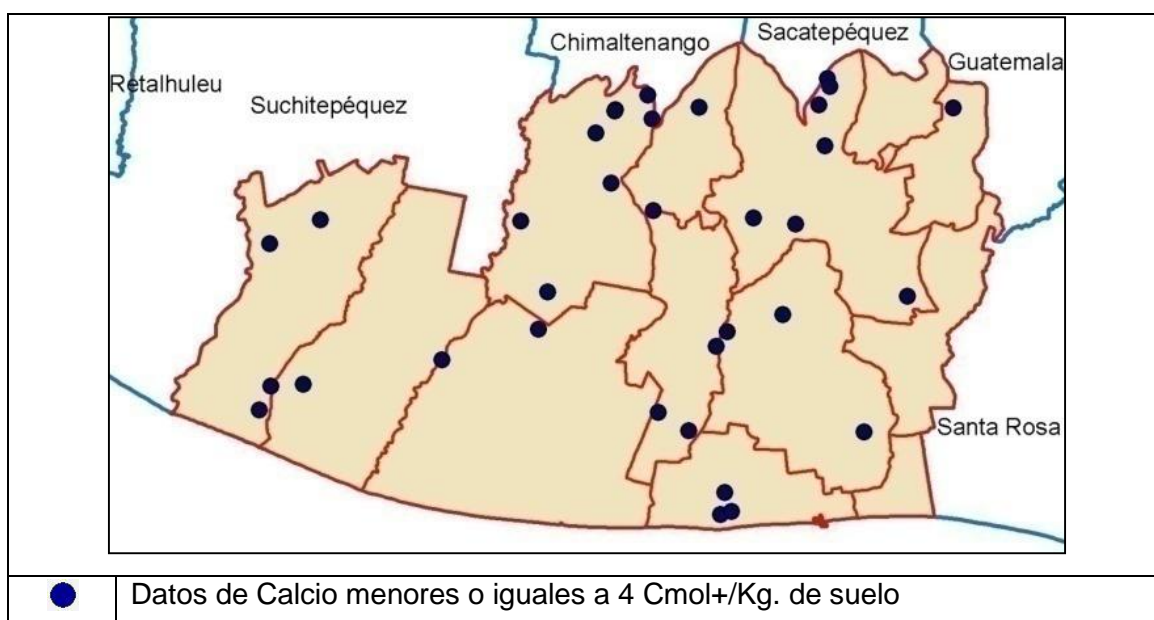


Figura 59. Dispersión de los datos de calcio categorizados como bajo

## E Ligeramente bajo contenido de calcio

El caso de los datos categorizados como ligeramente bajo contenido de calcio al estar en un rango mayor a 4 y menor o igual a 8 Cmol+/Kg. de suelo, se encontró que estos datos se concentran en la parte norte y central del departamento y a medida que van acercándose a la parte sur del departamento decrece su presencia.

La figura 60 muestra cómo se dispersan los datos dentro del departamento.

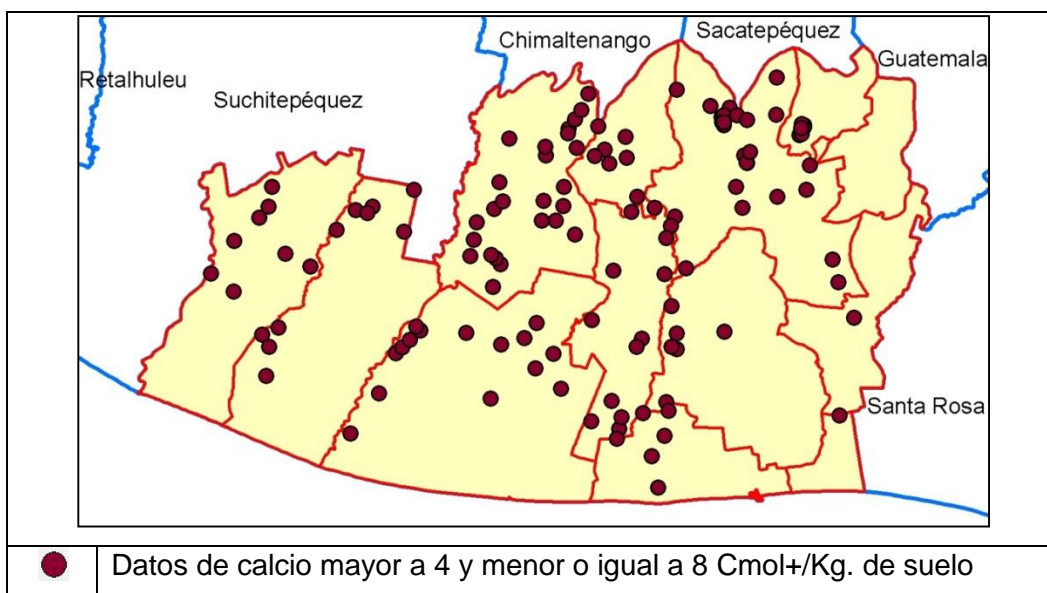


Figura 60. Dispersión de los datos de calcio categorizados como ligeramente bajo

Los municipios donde no se presentan datos “ligeramente bajo” de calcio en la parte sur de este son: Tiquisate, Nueva Concepción, La Gomera y puerto de Iztapa. A excepción del municipio Puerto de San José que en este si se detectaron datos con valores ligeramente bajo de calcio.

## F Contenido medio de calcio

El calcio categorizado como contenido “medio” por estar en un rango mayor a 8 y menor o igual a 12 Cmol+/Kg. de suelo, no mostró un patrón de comportamiento y por el contrario se observa que estos valores de calcio se encuentran dispersos en toda la superficie del departamento, a excepción del municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa donde se observó que la parte norte solamente se logró identificar un único valor medio de calcio de 8.96 Cmol+/Kg. de suelo.



La figura 61 muestra la dispersión de los datos dentro del departamento.

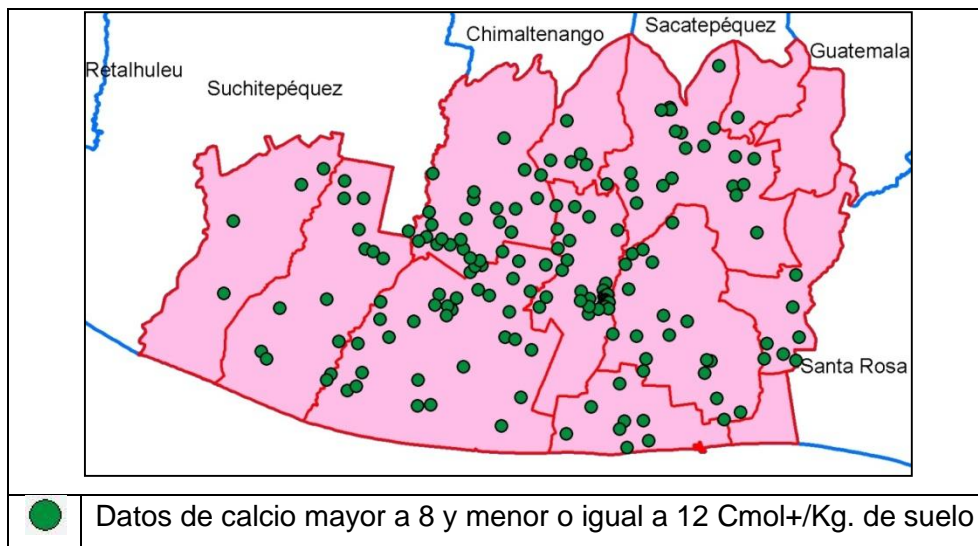


Figura 61. Dispersión de los datos de calcio categorizados como contenido medio

### G Contenido alto de calcio

Los datos categorizados como alto contenido de calcio al estar arriba de 12 Cmol+/Kg. de suelo, mostraron que se ubican principalmente desde la parte central hacia la parte sur del departamento de Escuintla, dejando la parte norte del municipio de Tiquisate, Nueva Concepción, Santa Lucía Cotzumalguapa, Siquinalá, La Democracia, Escuintla, Palín y San Vicente Pacaya con poca presencia de datos altos de calcio. La dispersión de los datos altos de calcio se aprecia en la figura 62.

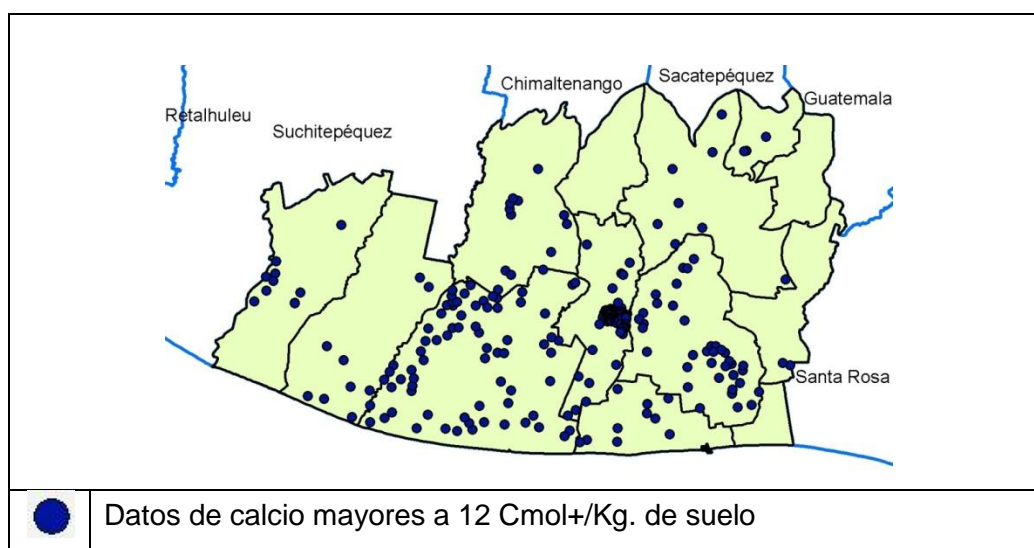


Figura 62. Dispersión de los datos de calcio categorizados como alto contenido de calcio

## H Análisis geoestadístico del calcio en el suelo

El resultado del análisis de interpolación a los datos de calcio mostró como este se encuentra en la categoría de “Ligeramente bajo” a “bajo” contenido de calcio al estar en un intervalo de 1 a 8 Cmol+/Kg. de suelo, presente en 21.05% del territorio equivalente a 948.20 km<sup>2</sup>. Los municipios afectados con esta deficiencia de calcio son abarcando casi todo el municipio San Vicente Pacaya y Siquinalá, en la parte norte de Escuintla, Santa Lucia Cotzumalguapa y afectando el área norte y sur de Tiquisate.

El calcio denominado como contenido “medio” de calcio al estar en un intervalo de 8 a 12 Cmol+/Kg. de suelo, está presente en el departamento con 2,171.32 km<sup>2</sup> equivalente al 48.20% de la superficie terrestre. Este calcio se encuentra posicionado principalmente en la zona central del departamento, los municipios con mayor presencia de esta categoría son Guanagazapa, Palín, la zona central-sur de Escuintla, La Democracia, el área sur de Santa Lucia Cotzumalguapa y la parte central-norte de Nueva Concepción.

El calcio con contenido “alto” al estar en un intervalo de 12 a 38 Cmol+/Kg. de suelo, se encuentra en un 27.87% de la superficie terrestre, equivalente a 1,255.46 km<sup>2</sup>, los municipios que presentan esta característica son La Gomera, el Puerto de Iztapa, el Puerto de San José, el área sur de Nueva Concepción y Masagua, así como la parte central de La Democracia.

La figura 63 muestra como quedaron distribuidas estas categorías de Calcio dentro de la superficie del departamento de Escuintla.

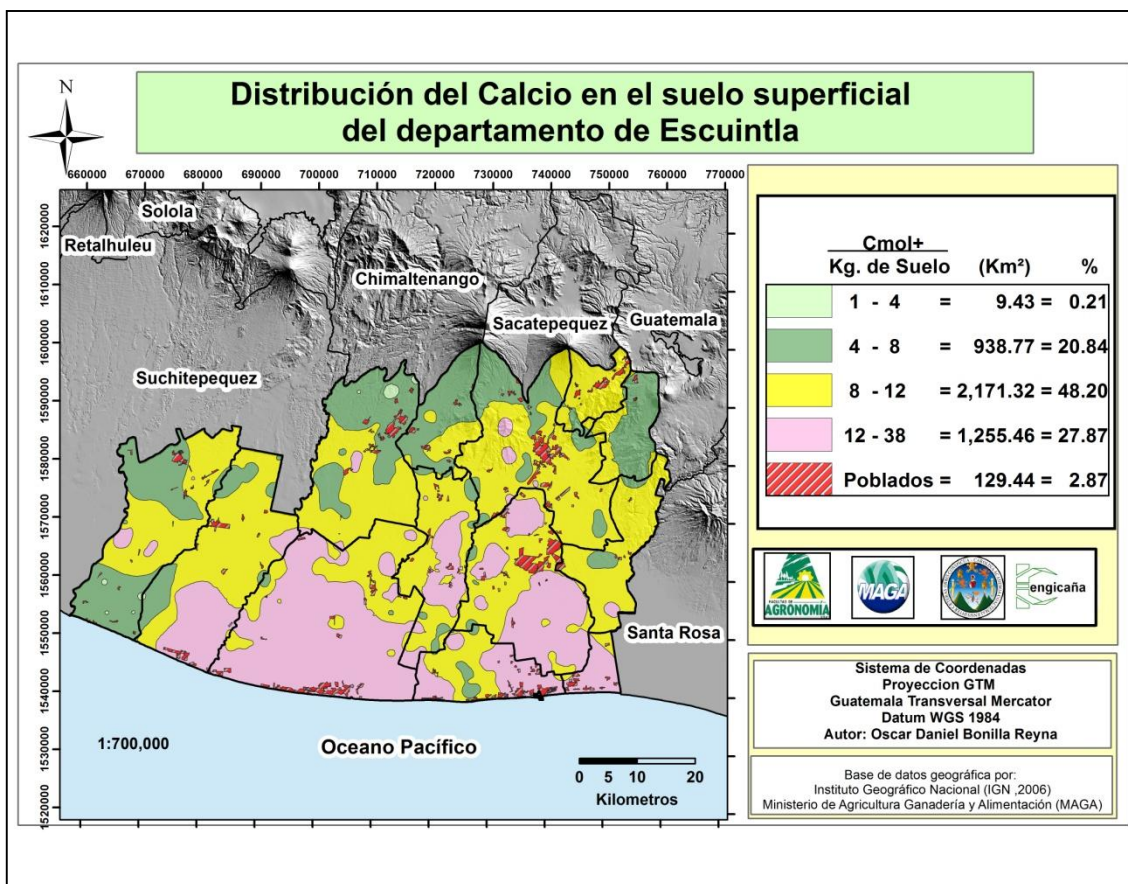


Figura 63. Distribución del calcio en el suelo del departamento de Escuintla

## 2.6.6 Magnesio

### A Distribución espacial de los registros capturados de la variable magnesio en el suelo

Para esta variable fue posible obtener 578 registros en la figura 64 se muestra como están distribuidos los diferentes puntos de georeferencia los cuales equivalen a un dato de magnesio por cada punto obtenido.

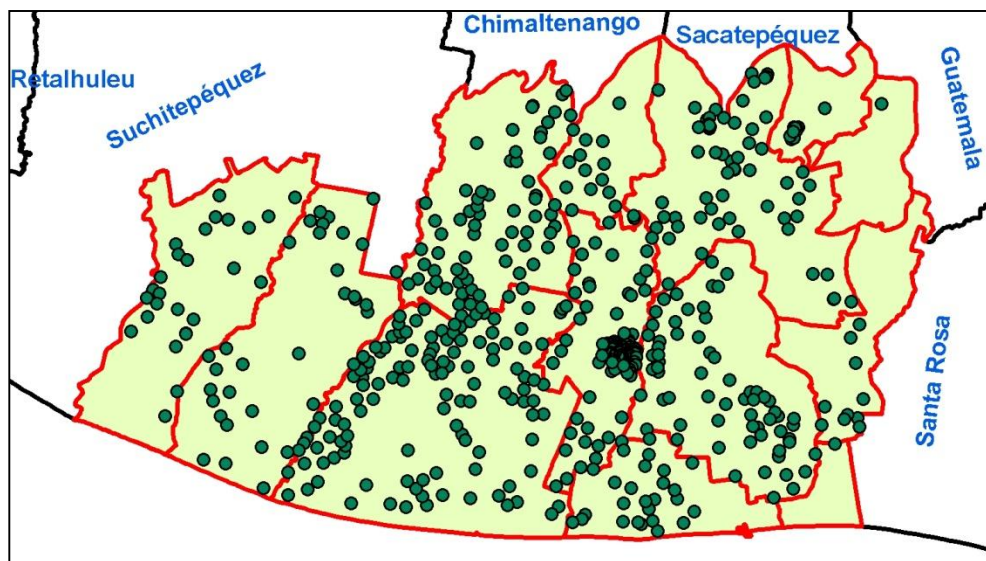


Figura 64. Dispersión de los datos obtenidos de magnesio en Escuintla

## B Análisis estadístico de la variable magnesio

En esta variable analizada de Calcio se encontró que el dato mínimo reportado es de 0.13  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . suelo y el dato máximo encontrado fue de 25.36  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . suelo, generando un rango o amplitud de 25.23  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . suelo.

En relación a la posición de los datos según su valor se halló que a partir del dato 2.2  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . suelo, hacia el dato mínimo se ubica al 25% de los datos, el 50% de los datos se ubican a partir del dato 3.69  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . suelo, denominado también como la mediana del conjunto de datos, y a partir del dato 6.14  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . suelo, hacia el dato mínimo se encuentra representados el 75% de los datos analizados. En este conjunto de datos se observó una gran variación al ubicar al coeficiente de variación en 78%.

El cuadro 35 resume la información descrita anteriormente sobre la variable magnesio:

Cuadro 35. Resultados del análisis exploratorio de la variable magnesio

Estadística	Magnesio
No. de observaciones	578
Mínimo	0.13
Máximo	25.36
Amplitud	25.23
1° Cuartil	2.20
Mediana	3.69
3° Cuartil	6.14
Media	4.65
Varianza (n-1)	13.08
Desviación típica (n-1)	3.62
Coefficiente de variación	0.78

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Para esta variable se utilizó el siguiente criterio para categorizar al Magnesio el cual se muestra en el cuadro 36.

Cuadro 36. Categorías de los rangos de magnesio en el suelo

Categoría	Magnesio
Bajo	$\leq 0.5$
Ligeramente bajo	0.5-1
Medio	1-2
Alto	$>2$

Fuente: Laboratorio de Suelos FAUSAC

Ya establecidos las categorías para determinar al Magnesio en el suelo usando frecuencias se determinó que:

Los datos iguales o menores a 0.5 Cmol+/Kg. de suelo, categorizados como bajos corresponden a 9 datos siendo esto el 0.02% de los 578 datos colectados.

Para datos mayores a 0.5 Cmol+/Kg. de suelo, y menores o iguales a 1 Cmol+/Kg. de suelo, de Magnesio se categorizaron como ligeramente bajo representados por el 0.06% del conjunto de datos siendo esto 37 datos.

Se categorizó al Magnesio como un contenido medio aquellos valores que se encuentran mayor a 1 Cmol+/Kg. de suelo, y menor o igual a 2 Cmol+/Kg. de suelo, correspondiendo esto al 14% de los datos representados por 82 datos de Magnesio.

A partir de datos mayores a 2 Cmol+/Kg. de suelo, de Magnesio se categorizó como un contenido "alto" al magnesio siendo esto al 78% del total de los datos representados por 450 datos.

El cuadro 37 muestra los rangos y las frecuencias encontradas en el análisis de los 578 datos de Magnesio colectados y estudiados:

Cuadro 37. Rangos y frecuencias de magnesio encontrados en el departamento de Escuintla

Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia	Frecuencia relativa
<b>0</b>	<b>0.5</b>	9	0.02
<b>0.5</b>	<b>1</b>	37	0.06
<b>1</b>	<b>2</b>	82	0.14
<b>2</b>	<b>26</b>	450	0.78

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Para tener otra forma de observar los datos se generó el histograma de la variable Magnesio presentado en la figura 65 en este se observó que la mayor cantidad de datos se encuentra en el rango de datos entre 2 a 5 Cmol+/Kg. de suelo, conteniendo 256 datos, seguido del rango de 5 a 10 Cmol+/Kg. de suelo, con un total de 146 datos.

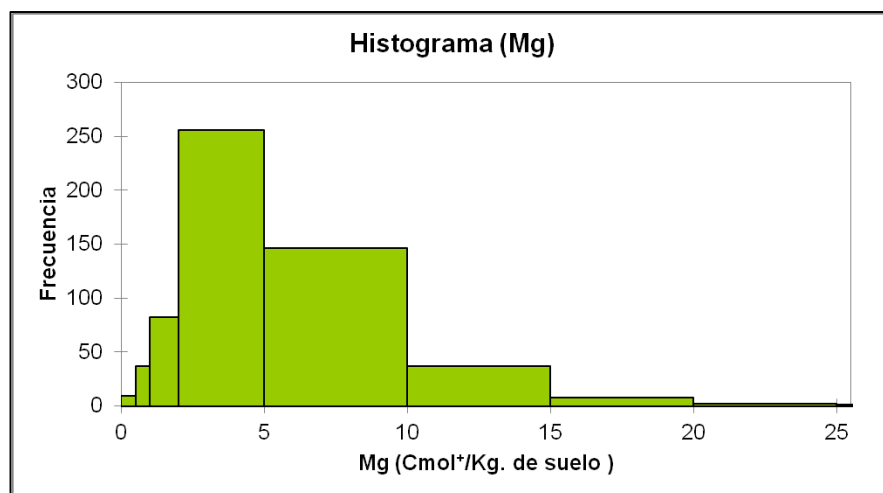


Figura 65. Histograma de la variable magnesio

### C Normalidad de los datos de la variable magnesio

Una vez visto el histograma y el cuadro de frecuencias se procedió a realizar una prueba de normalidad del conjunto de datos en el cual se encontró que la variable Magnesio no presenta una normalidad en sus datos.

La prueba realizada fue la de Shapiro-Wilk donde el p-valor esta debajo de 0.05 que es valor alfa por lo tanto se rechaza la hipótesis nulo la cual indica que los valores siguen un distribución normal, esta prueba se resume en el cuadro 38.

Cuadro 38. Prueba de normalidad de los valores de magnesio

<b>Prueba de Shapiro-Wilk (Magnesio):</b>	
<b>W</b>	0.852
<b>p-valor</b>	< 0.0001
<b>alfa</b>	0.05
Interpretación de la prueba:	
H0: La muestra sigue una ley Normal.	
Ha: La muestra no sigue una ley Normal.	

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

### D Bajo contenido de magnesio

Para esta categoría de Magnesio la cual está representada por aquellos valores iguales o menores a 0.5 Cmol+/Kg. de suelo, se encontró que el departamento cuenta con únicamente 9 datos por lo que no es significativo su presencia y principalmente están ubicados en la parte norte del departamento.

La figura 66 muestra cómo están dispersos estos datos dentro del departamento.

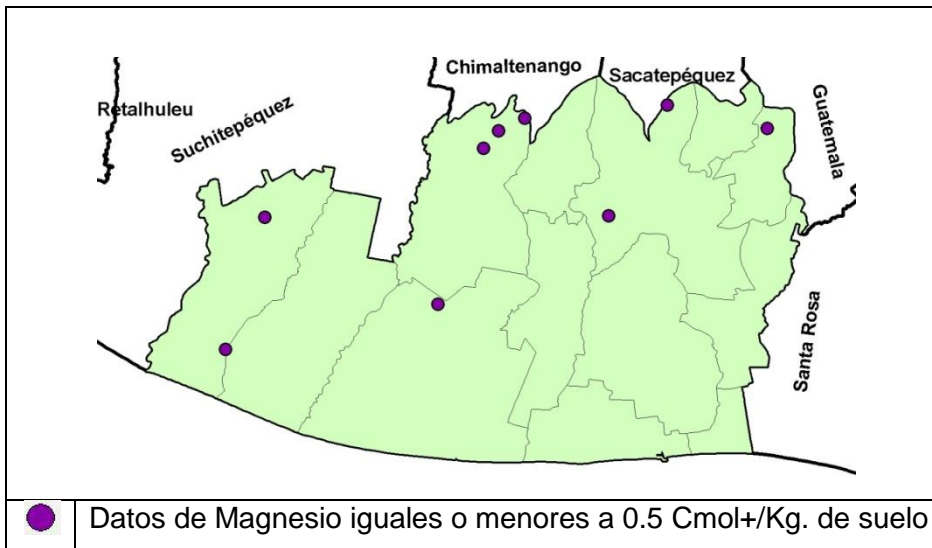


Figura 66. Dispersión de los datos de magnesio categorizados como bajo

### E Ligeramente bajo contenido de magnesio

Esta Categoría se encuentra ubicada en la parte norte del departamento principalmente en los municipios de Santa Lucía Cotzumalguapa, Siquinalá y Escuintla, también se observó que el municipio de la Democracia presenta a lo largo de su territorio valores con esta categoría la cual se encuentra en el rango de 0.5 a 1 Cmol+/Kg. de suelo. La figura 67 muestra lo descrito en el párrafo anterior.

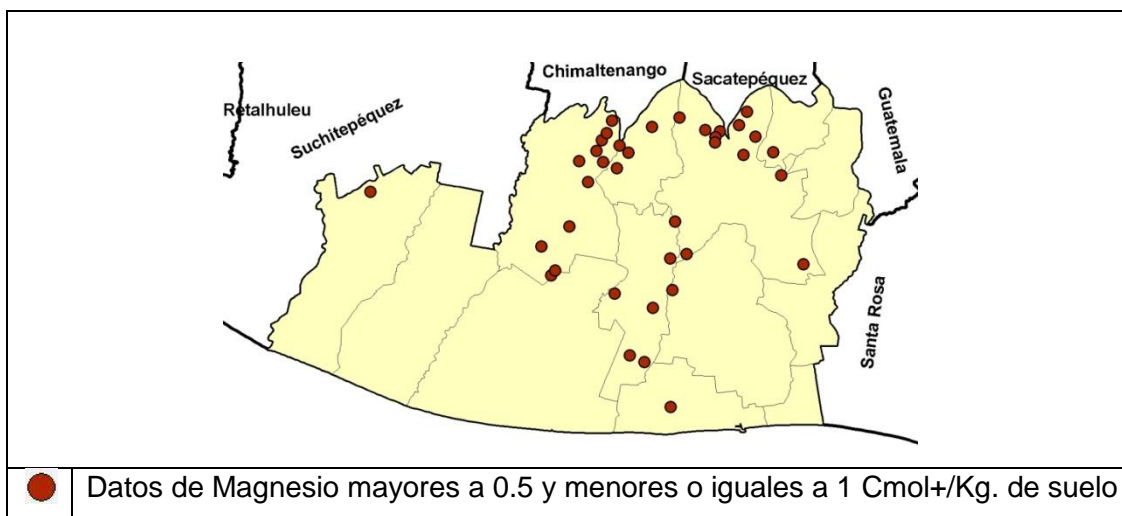


Figura 67. Dispersión de los datos de magnesio categorizados como ligeramente bajo



## F Contenido de magnesio categorizado como medio

Para esta categoría ubicada mediante el rango de valores de Magnesio mayores a 1 y menores o iguales a 2  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo, se encontró que estos se encuentran ubicados en la parte central del departamento, donde los municipios con mayor presencia de puntos en su región sur son Santa Lucía Cotzumalguapa, Siquinalá y Escuintla, La Gomera, La Democracia y por último en la parte sur del departamento ubicados en el municipio del Puerto San José.

Estos puntos y su dispersión descritos en el párrafo anterior se pueden observar en la figura 68.

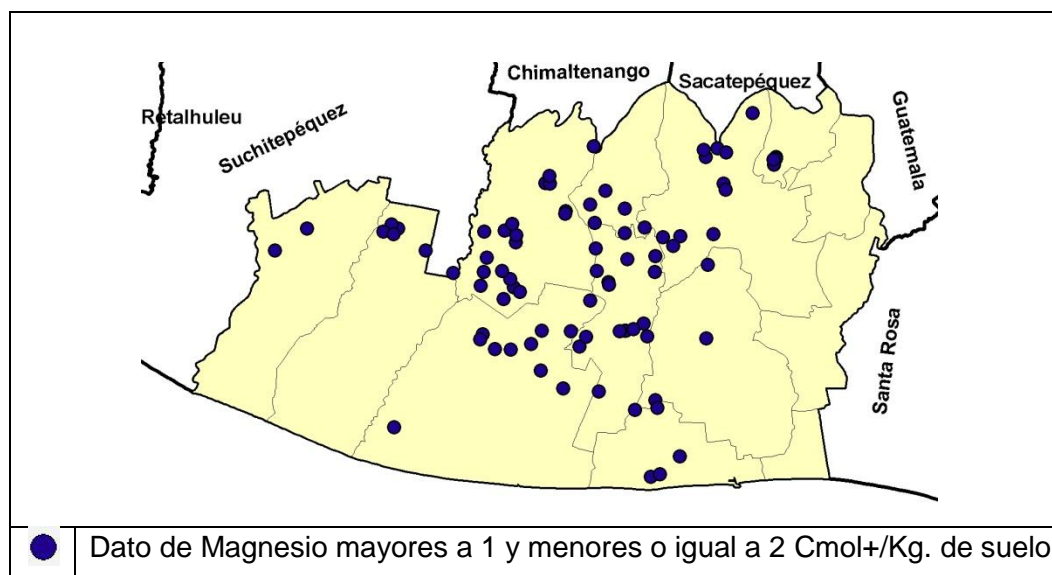


Figura 68. Dispersión de los datos de magnesio categorizados como contenido "medio".

## G Magnesio categorizado como alto

Se tomaron aquellos datos con valores arriba de 2  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo, de Magnesio con el resultado de ser estos valores los que están en mayor cantidad al ser el 78% del conjunto de datos estudiados, también se observó cómo estos valores están dispersos por

todo el departamento de Escuintla donde no se pudo establecer un patrón de comportamiento de los datos.

En la figura 69 se aprecia cómo están dispersos los datos mayores a 2 Cmol+/Kg. de suelo, por todo el departamento de Escuintla.

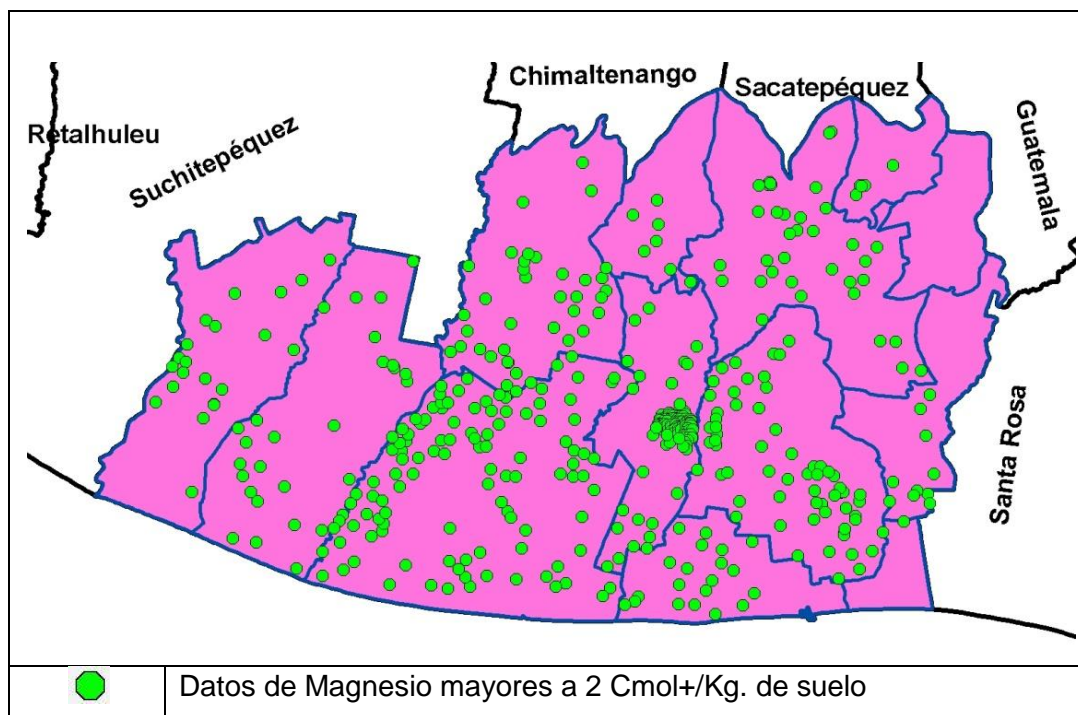


Figura 69. Dispersión de datos de magnesio categorizados como altos

## H Análisis geoestadístico del magnesio en el suelo

La interpolación de los datos no muestra superficie del departamento de Escuintla con bajo contenido de Magnesio al no ubicar áreas por debajo de 1 Cmol+/Kg. de suelo. Se encontró que existe un contenido categorizado como “medio” al estar en un intervalo de 1 a 2 Cmol+/Kg. de suelo, esté presente en 2.77% de la superficie terrestre equivalente a 124.94 km<sup>2</sup> siendo los municipios de Escuintla, Siquinalá y Santa Lucía Cotzumalguapa en sus áreas del norte donde se ubicó este Magnesio.

En el departamento de Escuintla predomina el Magnesio categorizado como alto al estar presente en un intervalo de 2 a 4 Cmol+/Kg. de suelo, correspondiendo al 37.29 % de la superficie del territorio siendo esto 1,679.76 km<sup>2</sup>, presente en los municipios de Santa

Lucia Cotzumalguapa, Siquinalá, Escuintla, Palín, San Vicente Pacaya, y en las zonas nortes de los municipios de Tiquisate, Nueva Concepción, La Gomera, La Democracia y Guanagazapa.

Se encontró que existe una superficie de 2,570.29 km<sup>2</sup> de Magnesio considerado como muy alto creando esto problemas de desbalances de este elemento. La figura 70 muestra la distribución espacial de lo descrito sobre el Magnesio presente en Escuintla.

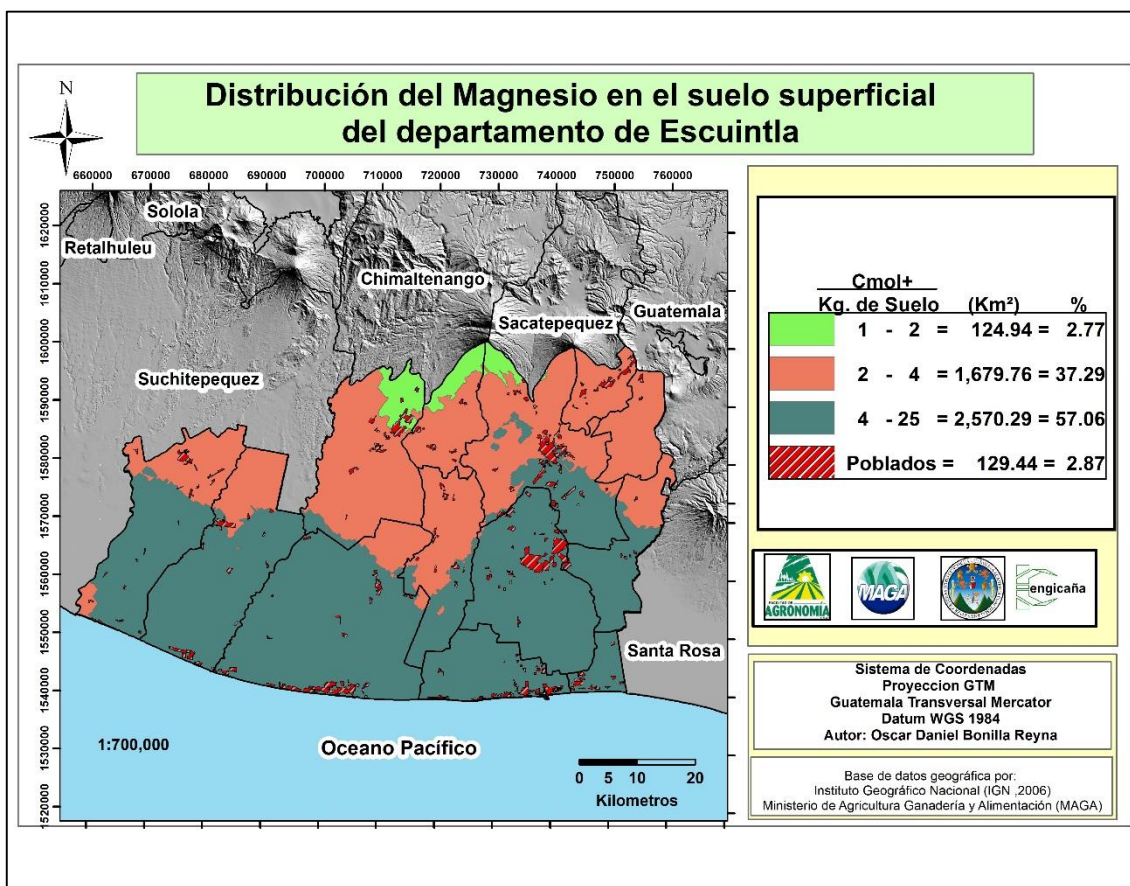


Figura 70. Distribución del magnesio en el suelo del departamento de Escuintla

## 2.6.7 Potasio

### A Distribución espacial de los registros capturados de la variable potasio

Luego de la captura de esta variable se obtuvo un total de 578 registros de los cuales se observó cómo están distribuidos por toda la superficie del departamento de Escuintla, en la figura 71 se puede apreciar dicha distribución.

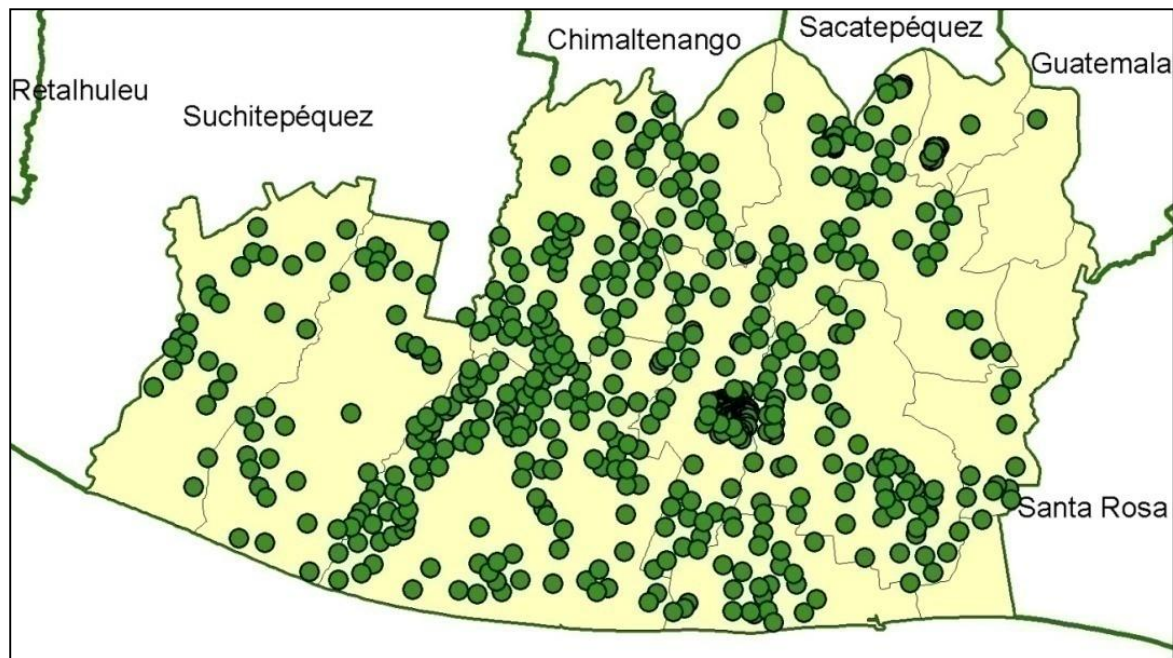


Figura 71. Dispersión de los datos obtenidos de potasio en Escuintla

### B Análisis Estadístico de la variable potasio

Para esta variable luego de realizar el análisis estadístico exploratorio se obtuvo que esta presenta un dato mínimo de 0.04 Cmol<sup>+</sup>/Kg. suelo y un dato máximo de 14.38 Cmol<sup>+</sup>/Kg. de suelo, lo cual genera un rango o amplitud de 14.34 Cmol<sup>+</sup>/Kg. de suelo.

Con respecto a la posición de los datos según el valor que presentan se encontró que el 25% de los datos están contenidos a partir de 0.38 Cmol<sup>+</sup>/Kg. suelo hacia el dato mínimo,

el 50% de los datos esta ubicados a partir de 0.84 Cmol<sup>+</sup>/Kg. suelo y el 75% de los datos están a partir del valor 1.36 Cmol<sup>+</sup>/Kg. suelo todos los anteriores hacia el dato mínimo.

El conjunto de datos presentan un coeficiente de variación de 1.24 %, el resumen del análisis estadístico se muestra en el cuadro 39.

Cuadro 39. Resumen estadístico exploratorio de la variable potasio

Estadística	Potasio
No. de observaciones	578
Mínimo	0.040
Máximo	14.380
Amplitud	14.340
1° Cuartil	0.380
Mediana	0.840
3° Cuartil	1.358
Media	1.171
Varianza (n-1)	2.120
Desviación típica (n-1)	1.456
Coeficiente de variación	1.242

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Mediante consulta al encargado del Laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana” se estableció las categorías bajo, ligeramente bajo, medio y alto con lo siguiente rangos de potasio en Cmol<sup>+</sup>/Kg. suelo.

Cuadro 40. Categorías de los rangos de potasio en el suelo

Categoría	Potasio
Bajo	<= 0.4
Ligeramente bajo	0.4-0.8
Medio	0.8-1.2
Alto	>1.2

Fuente: Laboratorio de Suelos FAUSAC

Se encontró que los datos categorizados como bajos corresponden aquellos que están iguales o por debajo de 0.4 Cmol<sup>+</sup>/Kg. suelo, correspondiendo esto al 27% del conjunto de datos representados por 155 datos.

Cuando los datos fueron mayores a 4  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . suelo y menores o iguales a 0.8  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . suelo estos correspondieron al 21% de la información representados por 124 datos categorizados como “Ligeramente bajo” contenidos en el suelo.

Aquellos datos en un rango mayor de 0.8  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo, y menor o igual a 1.2  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . suelo se categorizaron como un contenido “Medio” de Potasio en el suelo, siendo estos valores otro 21% del conjunto de datos representados por 119 datos.

Con valores de datos de potasio mayores a 1.2  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo, fueron categorizados como “altos”, estos corresponden al 31% representados por 180 datos.

El cuadro 41 muestra los rangos de potasio encontrados dentro del departamento con sus respectivas frecuencias:

Cuadro 41. Rangos y frecuencias de potasio

<b>Límite inferior [</b>	<b>Límite superior [</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia relativa</b>
<b>0</b>	<b>0.4</b>	155	0.27
<b>0.4</b>	<b>0.8</b>	124	0.21
<b>0.8</b>	<b>1.2</b>	119	0.21
<b>1.2</b>	<b>14.5</b>	180	0.31

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

El siguiente histograma muestra como la mayor cantidad de datos se encuentran en el rango de 0 a 0.4  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo.

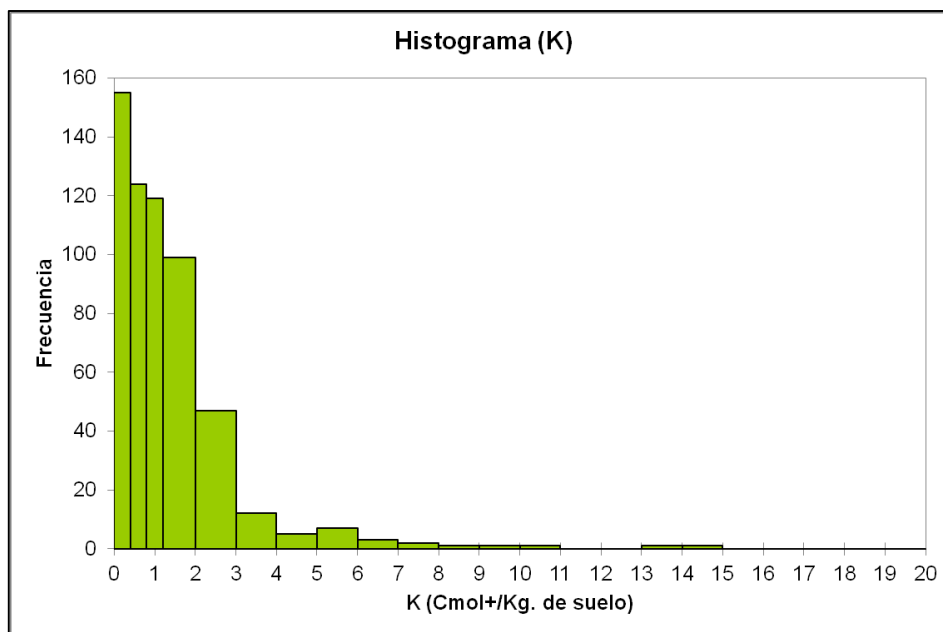


Figura 72. Histograma de la variable potasio

### C Normalidad de los datos de la variable potasio

Se realizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk al conjunto de datos de la variable potasio donde el p-valor fue menor a 0.01 siendo este menor al valor alfa de 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula la cual indica que los datos presentan una distribución normal.

Se acepta la hipótesis alterna la cual indica que el conjunto de datos de la variable potasio sigue una distribución anormal. Esta prueba se resume en el cuadro 42.

Cuadro 42. Prueba de normalidad para la variable potasio

<b>Prueba de Shapiro-Wilk (Potasio):</b>	
<b>W</b>	0.604
<b>p-valor</b>	< 0.0001
<b>alfa</b>	0.05
Interpretación de la prueba:	
H0: La muestra sigue una ley Normal.	
Ha: La muestra no sigue una ley Normal.	

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

#### D Bajo contenido de potasio

Esta categoría se le dio aquellos valores que están iguales o debajo de 0.4  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo, estos valores bajos se ubicaron verticalmente a lo ancho del departamento atravesando los municipios de Santa Lucía Cotzumalguapa, Siquinalá, Escuintla, La Democracia, Masagua y Puerto de San José.

Afectando la parte norte de los municipios se encontró valores bajos de Potasio en Tiquisate, Nueva Concepción y Palín.

En la figura 73 se aprecia los valores bajos de Potasio dentro del departamento de Escuintla.

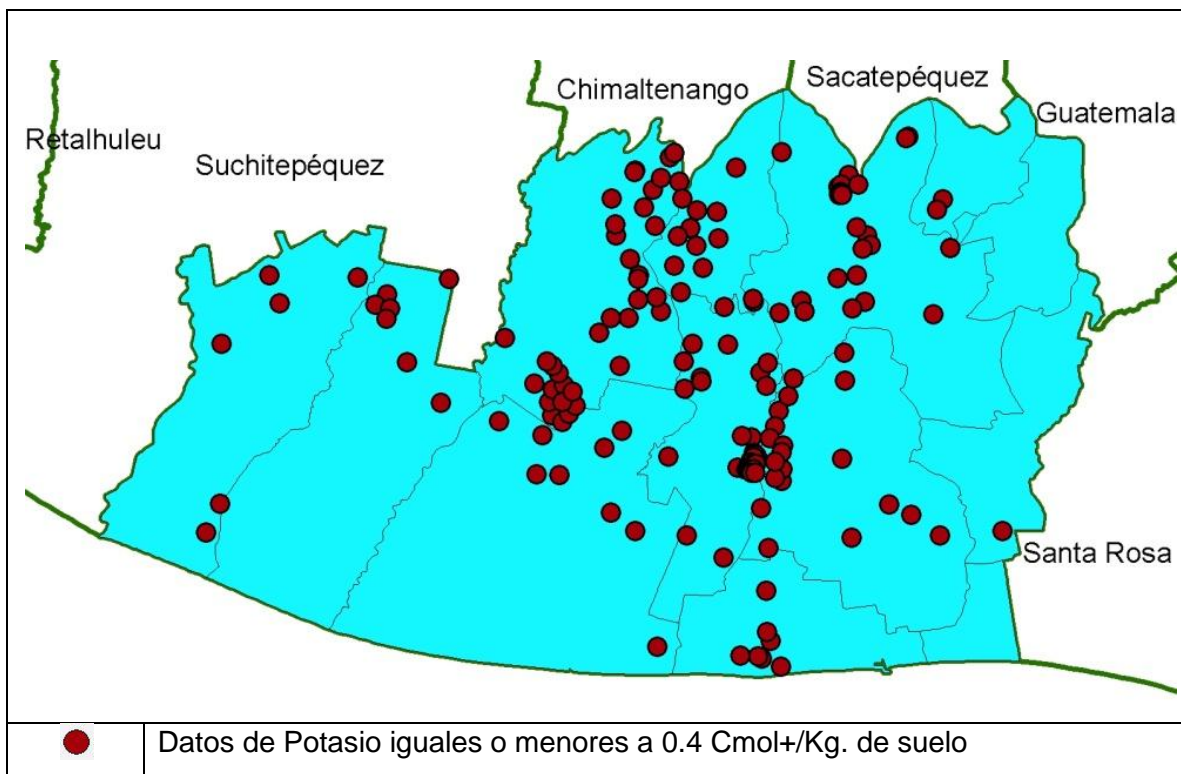


Figura 73. Dispersión de los datos de potasio categorizados como bajos

#### E Contenido de potasio categorizado como “ligeramente bajo”

Estos valores Ligeramente bajo de Potasio se ubicaron en un rango contenido arriba de 0.4 a 0.8  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo, donde se aprecia que estos datos se ubican principalmente



en la zona central hacia la zona sur del departamento presentes en los municipios de Cotzumalguapa, La Democracia, La Gomera, Masagua, Puerto de San José y Escuintla.

Comparando el mapa de valores bajos contra el mapa de valores ligeramente bajos de Potasio se observa un desplazamiento de norte a sur a medida que aumenta el contenido de potasio dentro del departamento.

La figura 74 muestra la dispersión de los puntos con contenido ligeramente bajo de potasio en el departamento.

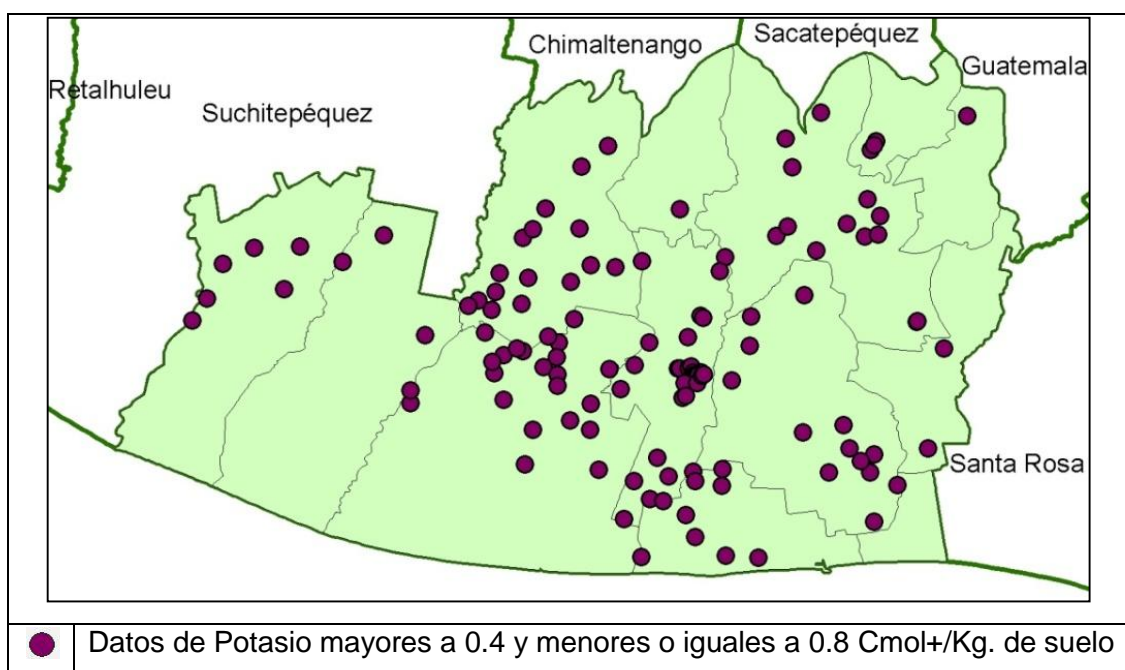


Figura 74. Dispersión de datos de potasio categorizados como ligeramente bajo

## F Potasio categorizado como contenido “medio”

Estos datos corresponden aquellos valores mayores de 0.8 y menores o iguales a 1.2 Cmol+/Kg. de suelo, de Potasio, en esta ocasión no se observó un patrón de comportamiento en la dispersión de estos valores, resalta que en los municipio de Siquinalá y San Vicente Pacaya no se registraron datos de este rango de valores.

La figura 75 muestra cómo están dispersos los puntos categorizados como contenido “medio” dentro del departamento.

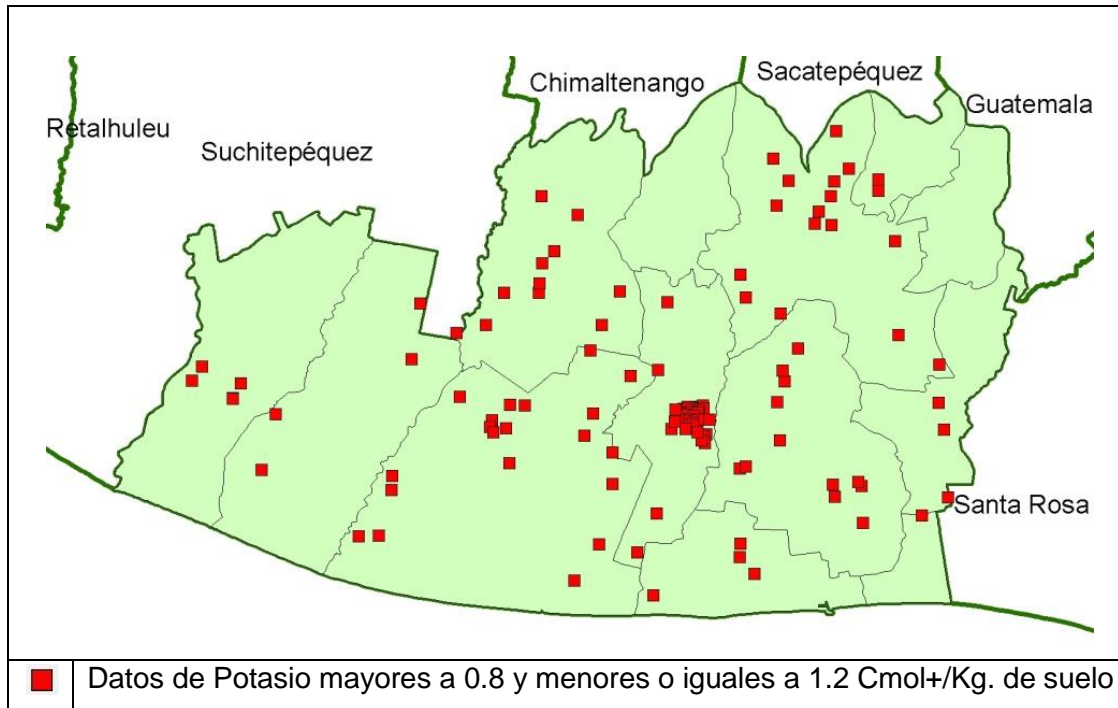


Figura 75. Dispersión de datos de potasio categorizados como “medio”

### **G Contenido de potasio categorizado como alto**

Para esta categoría se utilizó todos aquellos valores de Potasio que se encontraron arriba de 1.2 Cmol+/Kg. de suelo, logrando observar que estos datos se encuentran principalmente ubicados en la parte sur del departamento aunque existe presencia en la parte norte del mismo pero se puede corroborar como existe un tendencia de los puntos a ubicarse en la parte sur al compararlo con las categorías de bajo y ligeramente bajo contenido de Potasio.

Se observaron datos extremos arriba de 10 Cmol+/Kg. de suelo, la zona norte del municipio de Escuintla y en la zona central y sur del municipio de La Gomera.

La figura 76 muestra cómo están distribuidos estos datos dentro del departamento.

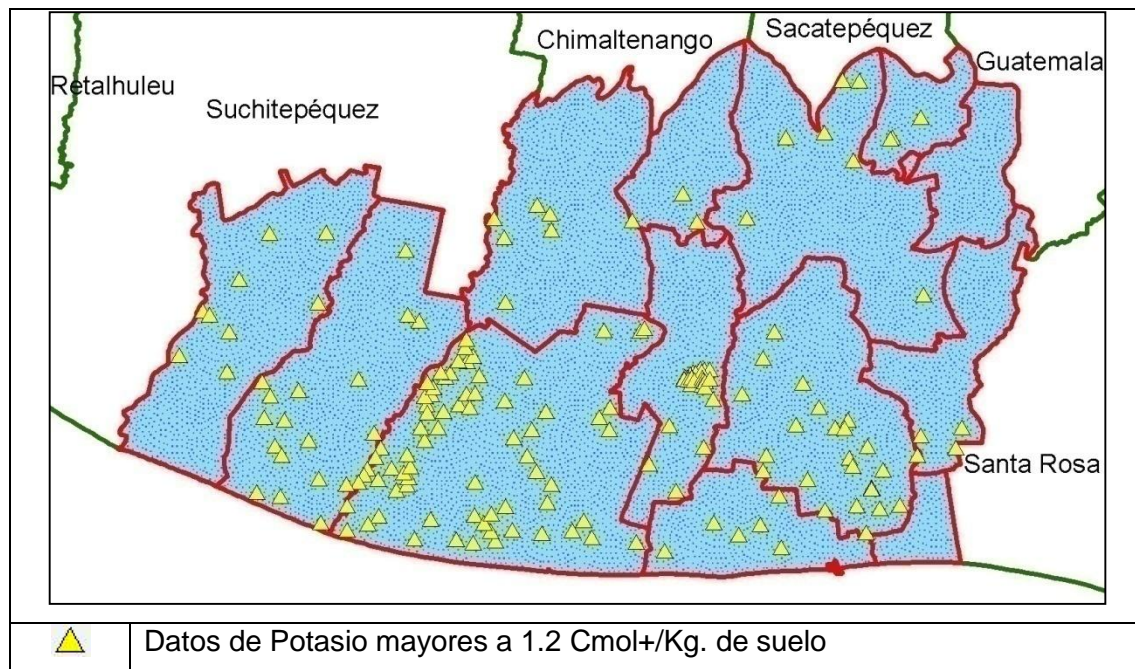


Figura 76. Dispersión de datos de potasio categorizados como altos

## H Análisis geoestadístico del potasio en el suelo

El resultado de esta interpolación lineal fue el identificar una superficie de categorizada de “ligeramente bajo” a “bajo” contenido de Potasio al estar en un intervalo de 0 a 8 Cmol+/Kg. de suelo, representados por el 21.52% de la superficie terrestre del departamento equivalente a 969.32 km<sup>2</sup>. Los municipios con esta pobre contenido de Potasio son Santa Lucia Cotzumalguapa en la mayoría de su territorio, la parte norte de los municipios de Siquinalá, Tiquisate, La Democracia, Masagua y la parte sur del municipio de Escuintla.

La presencia de un contenido medio de Potasio, al estar en un intervalo de 0.8 a 1.2 Cmol+/Kg. de suelo, fue del 40.24% equivalente a 1,812.65 km<sup>2</sup> de la superficie del departamento, los municipios que presentan esta categoría son Guanagazapa, San Vicente Pacaya, Palín, Escuintla, Masagua, en la parte sur del municipio de La

Democracia, el área oeste de Santa Lucia Cotzumalguapa, el Puerto de San José y el área norte y sur del municipio de Tiquisate.

Escuintla presenta contenidos altos de Potasio con valores de 1.2 hasta 14.4 Cmol+/Kg. de suelo, en un 35.37% del territorio equivalente a 1,593 km<sup>2</sup> siendo los municipios de La Gomera, Nueva Concepción y el Puerto de Iztaapa los que en su mayoría contienen esta categoría de Potasio, así también se observó alto contenido en la zona sur de Masagua, en la zona Este del Puerto de San José, en la zona sur de Escuintla y San Vicente Pacaya y por último en la zona central del municipio de Tiquisate, esto se puede corroborar mediante la figura 77 la cual muestra la distribución del potasio en el departamento.

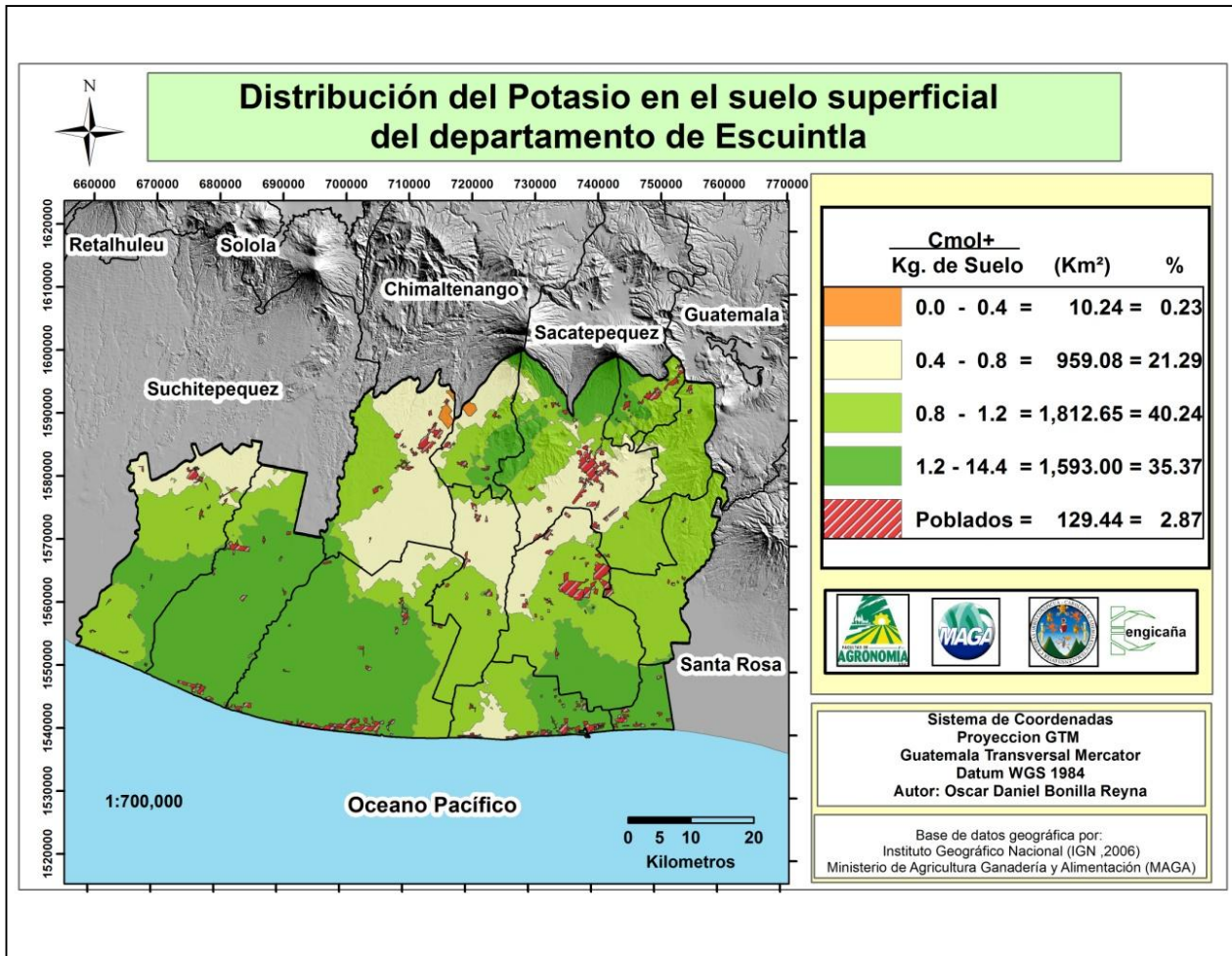


Figura 77. Distribución del potasio en el suelo del departamento de Escuintla

## 2.6.8 Sodio

### A Distribución espacial de los registros colectados de la variable sodio

Se obtuvieron 496 registros de la variable sodio los cuales se observaron cómo estuvieron distribuidos en la superficie del departamento, la figura 78 muestra donde se ubican estos puntos dentro del departamento.

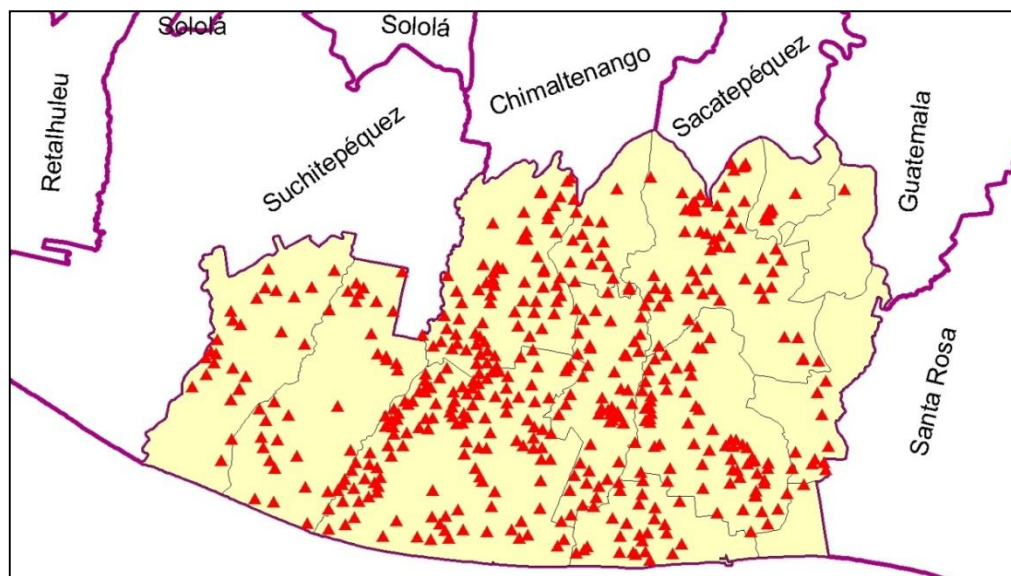


Figura 78. Dispersión de los datos obtenidos de sodio en Escuintla

### B Análisis estadístico de la variable sodio

La variable de sodio mostro en su análisis exploratorio que cuenta con un dato mínimo de 0.01 Cmol+/Kg. de suelo, el dato máximo colectado corresponde a 26.24 Cmol+/Kg. de suelo, esto genero una amplitud de 26.23 Cmol+/Kg. de suelo.

Para ver la dispersión de datos dentro del conjunto se observó que el 25% de los datos se encuentre del valor 0.28 Cmol+/Kg. de suelo, hacia el dato mínimo, el 50% está ubicado a partir del valor 0.43 Cmol+/Kg. de suelo, hacia el dato mínimo y el 75% de estos valores se encuentran a partir de 0.72 Cmol+/Kg. de suelo, hacia el dato mínimo, con un coeficiente de variación del 2.04%. Lo anterior descrito se resume en el cuadro 43.

Cuadro 43. Resumen estadístico exploratorio de la variable sodio

Estadística	Sodio
No. de observaciones	496
Mínimo	0.01
Máximo	26.24
Amplitud	26.23
1° Cuartil	0.28
Mediana	0.43
3° Cuartil	0.72
Media	0.74
Varianza (n-1)	2.28
Desviación típica (n-1)	1.51
Coefficiente de variación	2.04

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Para determinar categorías de los rangos de sodio se estableció las categorías bajo, ligeramente bajo, medio y alto mediante la consulta al encargado del Laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana”. El cuadro 44 muestra las categorías y su respectivo rango de sodio  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo.

Cuadro 44. Categorías de los rangos de sodio en el suelo

Categoría	Sodio
Bajo	$\leq 2$
Ligeramente bajo	2-4
Medio	4-6
Alto	$>6$

Fuente: Laboratorio de suelos FAUSAC

Se categorizó como contenido “bajo” de sodio al 94% de los valores de datos capturados al estar igual o menor a 2  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo, representados por 467 datos.

El rango mayor a 2  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo, y menor o igual a 4  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo, representan al 0.04% del todo el conjunto de datos con 22 datos categorizados como “Ligeramente bajo” contenido de sodio.

Como un contenido “medio” de sodio se categorizó aquellos valores contenidos en el rango mayor a 4 Cmol+/Kg. de suelo, y menor o igual a 6 Cmol+/Kg. de suelo, con una frecuencia de 3 datos correspondiendo al 0.01 % del conjunto de datos.

Para los valores mayores a 6 Cmol+/Kg. de suelo, se encontró que son 4 datos correspondiente al 0.01 % del conjunto de datos categorizados como “altos”.

Los rangos descritos anteriormente se aprecian en el cuadro 45 donde se indican sus frecuencias y los porcentajes que corresponde a cada categoría de sodio.

Cuadro 45. Rangos y frecuencias de sodio registrados en Escuintla

Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia	Frecuencia relativa
<b>0</b>	<b>2</b>	467	0.94
<b>2</b>	<b>4</b>	22	0.04
<b>4</b>	<b>6</b>	3	0.01
<b>6</b>	<b>26.5</b>	4	0.01

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

En la figura 79 se observó que el histograma de frecuencias de sodio muestra que la mayor cantidad de datos esta contenidos en el rango de 0 a 2 Cmol+/Kg. de suelo, con 467 datos.

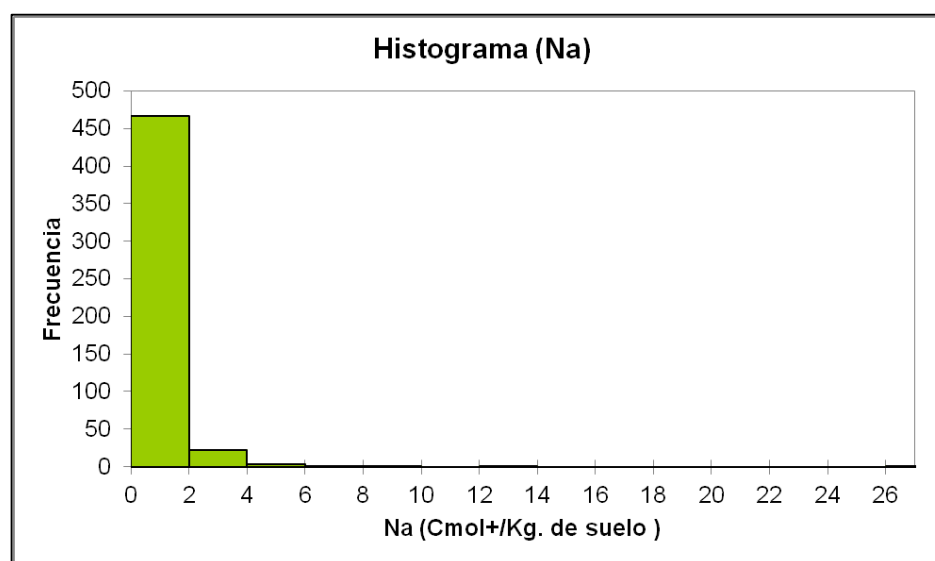


Figura 79. Histograma de la variable sodio

### C Normalidad de los datos de la variable sodio

Mediante una prueba de Shapiro-Wilki se demostró que el conjunto de datos de la variable sodio no presentan una distribución normal al obtener un p-valor menor a 0.05 por lo cual se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) que indica que el conjunto de datos presenta una distribución anormal.

El cuadro 46 muestra el resumen de la prueba realizada al conjunto de datos de sodio.

Cuadro 46. Prueba de normalidad a los valores de la variable sodio

<b>Prueba de Shapiro-Wilk (Sodio):</b>	
<b>W</b>	0.293
<b>p-valor</b>	< 0.0001
<b>alfa</b>	0.05
Interpretación de la prueba:	
H0: La muestra sigue una ley Normal.	
Ha: La muestra no sigue una ley Normal.	

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

### D Información de la consulta a expertos sobre el sodio

Los resultados de la encuesta realizada a los profesionales agrícolas relacionados a la presencia de salinidad y/o sodicidad se muestran en la figura 80.



Figura 80. Resultado de la encuesta sobre la variable sodio



Según la percepción de los profesionales agrícolas en el departamento existe un 6% de los entrevistados que no observan problema alguno con la sodicidad en el suelo, un 63% indican que existe una sodicidad leve en los suelos de Escuintla y un 31% si considera que existe problemas de sodicidad en las áreas donde han laborado. Confrontando lo indicado por los expertos contra lo observado con los datos colectados se ve una discrepancia en cuanto a problemas que en realidad no existen, la discrepancia podría deberse a que la medición de la sodicidad del suelo necesita equipo especializado para su medición.

### E Contenido de sodio categorizado como “bajo”

Para estos datos ubicados en un rango de 0 a 2 Cmol+/Kg. de suelo, se observó que la mayoría de los valores se encuentra representados en esta categoría, con un 94% del conjunto de datos siendo repartidos por toda la superficie del departamento de Escuintla sin presentar algún tipo de patrón en su distribución espacial ya que hay una gran cantidad de datos tanto el norte, centro y sur del departamento.

La figura 81 muestra cómo se distribuyeron los puntos por toda la superficie del departamento de Escuintla.

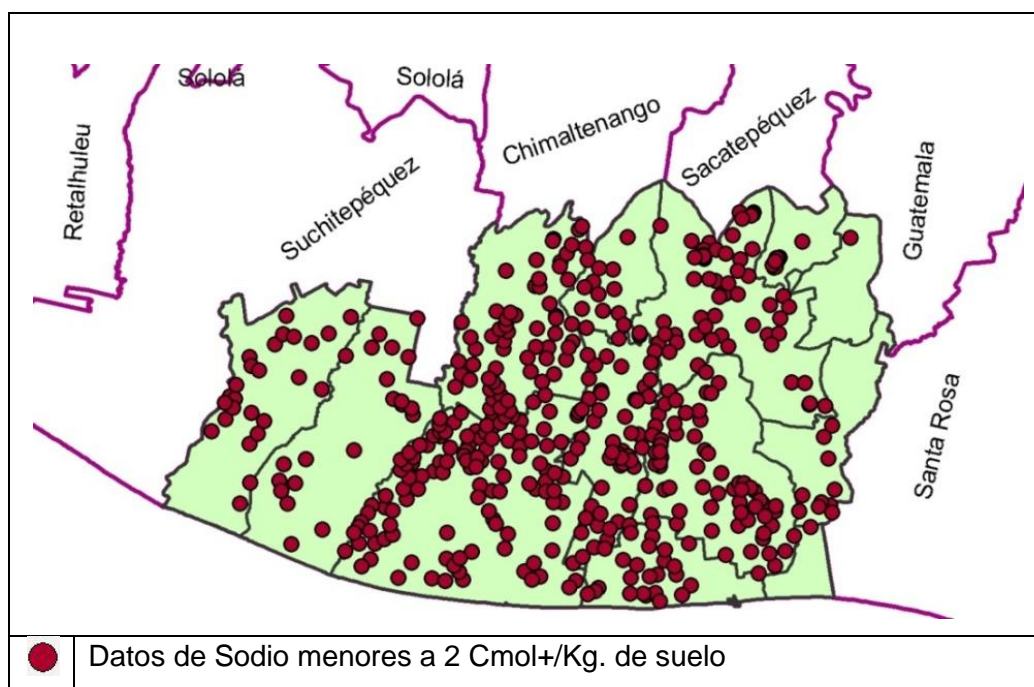


Figura 81. Dispersión de datos de sodio categorizados como bajo

### F Sodio categorizado como ligeramente bajo

Para esta categoría de sodio se encontró que solamente el 0.04% de los datos siendo estos 22 presentan un sodio entre 2 y 4  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo, siendo los municipios de Nueva Concepción, Santa Lucía Cotzumalguapa y la Gomera los que presentaron la mayor cantidad de datos.

En la figura 82 se aprecia la distribución de estos puntos así como la poca cantidad que representa a esta categoría de sodio.

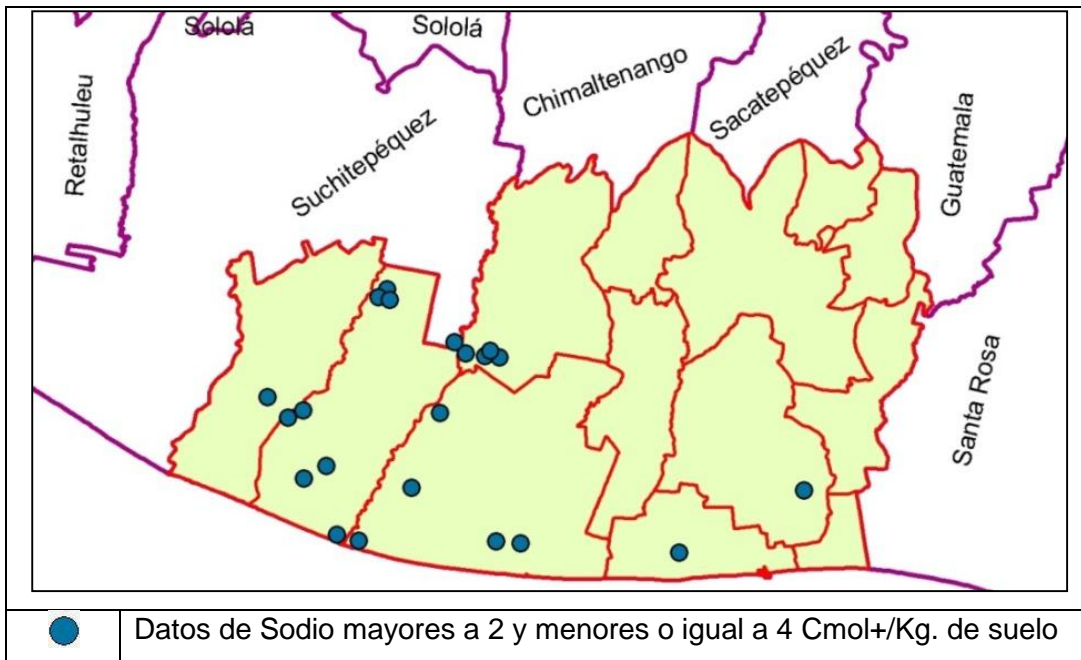


Figura 82. Dispersión de datos de sodio categorizados como ligeramente bajo

### G Sodio categorizado como contenido medio

En esta categoría de sodio se encontró que es insignificante la cantidad de datos que presentan valores mayores a 4 y menores o igual a 8  $\text{Cmol}^+/\text{Kg}$ . de suelo, ya que solamente el 0.01% corresponde al conjunto de datos estudiados sobre la variable.

La figura 83 muestra dicha cantidad de puntos dentro del departamento de Escuintla y como estos están presentes en la parte sur de los municipios de La Gomera y Nueva Concepción.

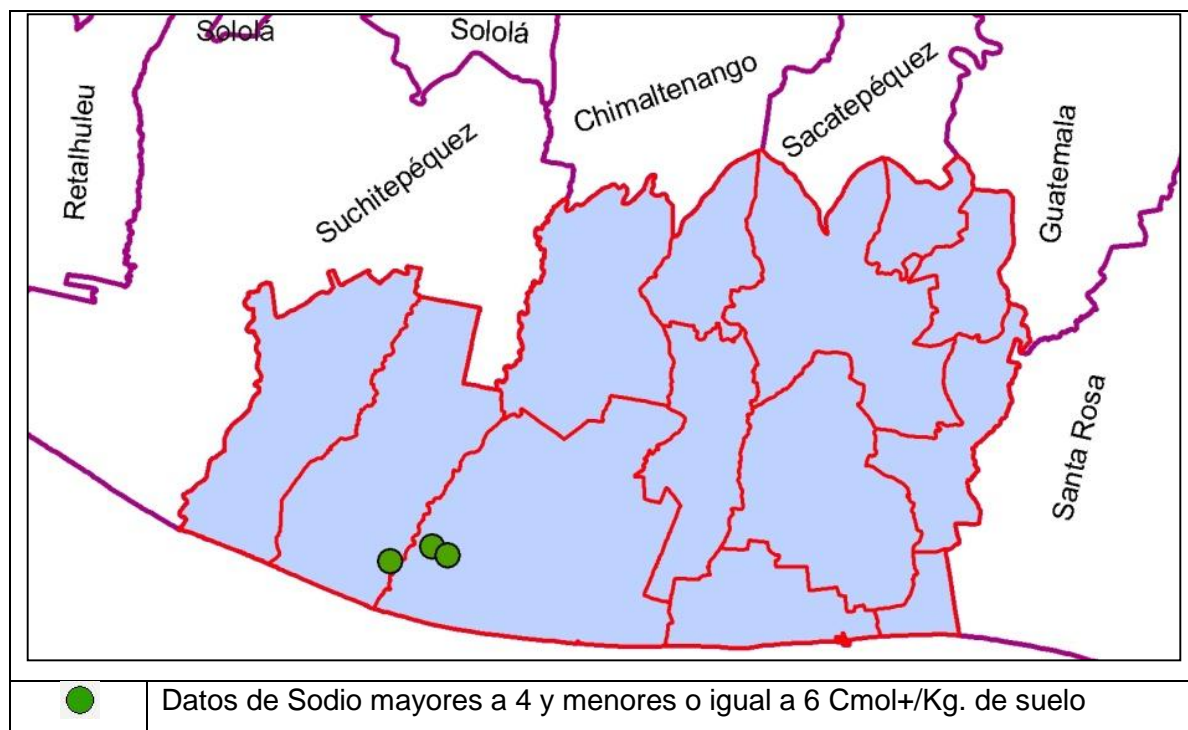


Figura 83. Dispersión de datos de sodio categorizados como medio

## H Cantidades de sodio en el suelo categorizado como alto contenido

Representado por los valores mayores a 6 Cmol+/Kg. de suelo, se encontró que al igual que el sodio categorizado como un contenido medio esta sodio denominado alta está representado por 4 datos de los 496 datos capturados por lo cual se mantiene insignificante la presencia de esta cantidad de sodio dentro del departamento, lo que lleva a suponer que no existe problemas de sodio con un contenido alto en los suelos de Escuintla.

La figura 84 muestra como estos 4 datos se ubican en el municipio de Nueva Concepción, Santa Lucia Cotzumalguapa y Siquinalá.

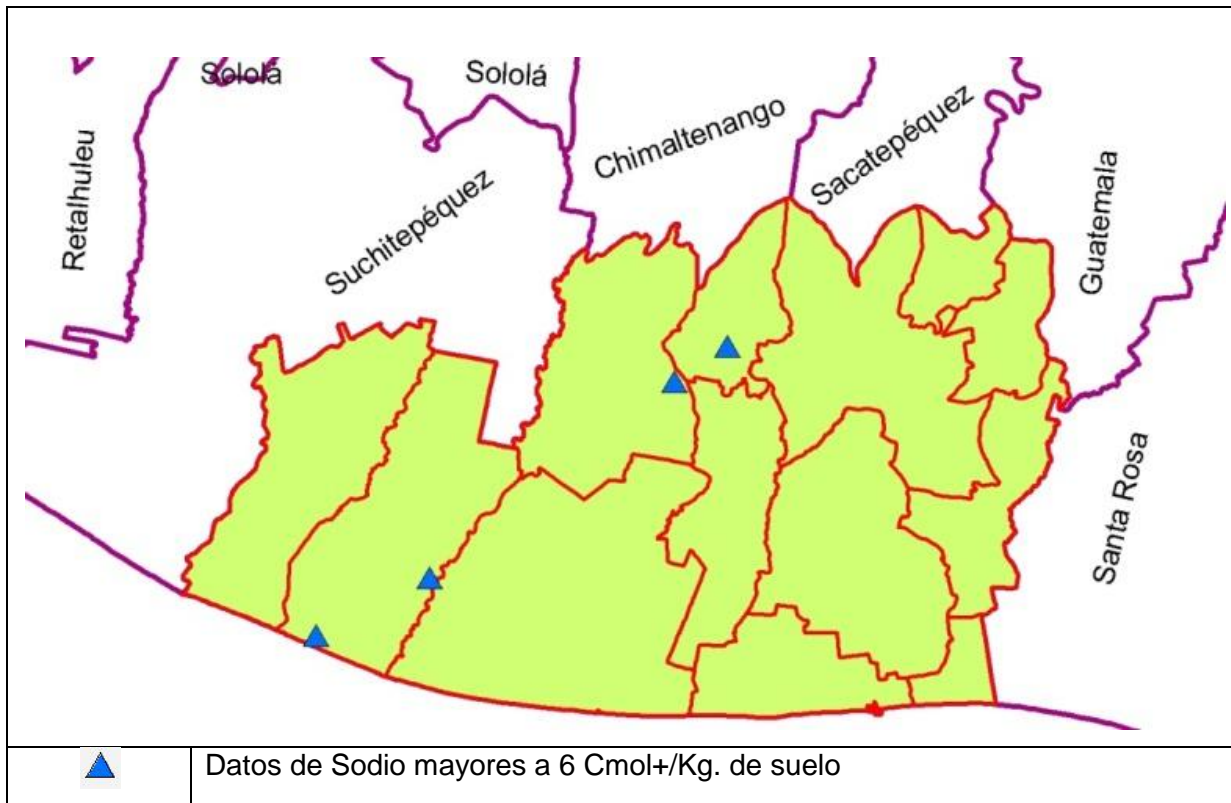


Figura 84. Dispersión de datos de sodio categorizados como alto

## I Análisis geoestadístico del sodio en el suelo

Se ubicó un área de menos de un kilómetro cuadrado con un contenido alto de Sodio, esta se situó en el extremo sur del municipio de Nueva Concepción, representando el 0.02% del territorio de Escuintla. La figura 85 muestra la baja concentración de Sodio en el suelo del departamento.

Con este análisis se confirma que en el departamento de Escuintla no existe sodicidad en el suelos, esto al obtener que en un 97.11% de la superficie del territorio, el sodio presente está por debajo de 2 Cmol+/Kg. de suelo, esto es equivalente a 4,374.13 km<sup>2</sup>.

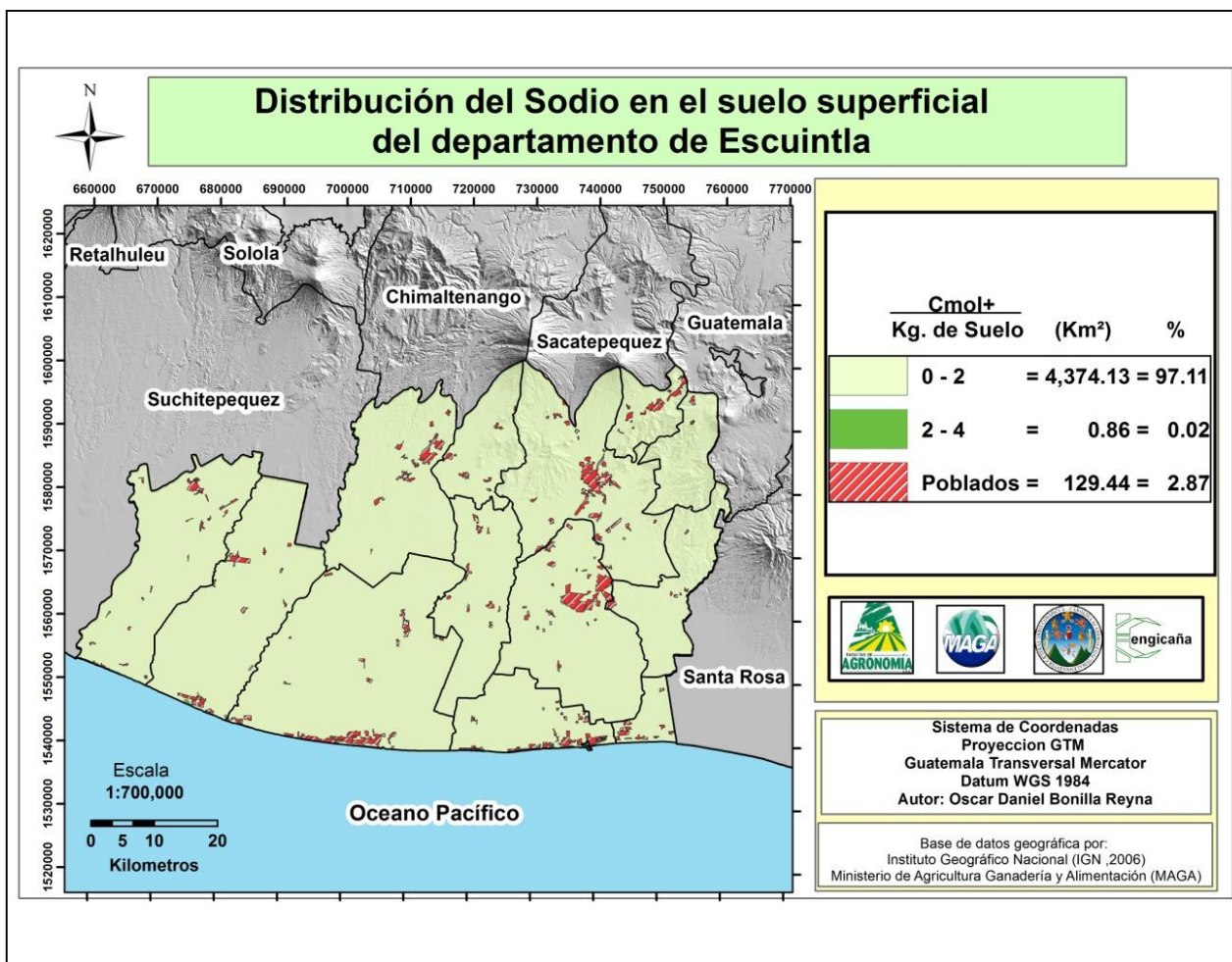


Figura 85. Distribución de la concentración de sodio en el suelo del departamento de Escuintla

## 2.6.9 Otra Información de la consulta realizada a expertos sobre la percepción de los suelos del departamento de Escuintla

### A Variables sobre limitantes físicas del suelo

#### a Compactación del suelo (limitación para la labranza)

El resultado obtenido para esta variable fue que en el campo los expertos indican que logran identificar en un 75% de compactación en un grado moderado de los suelos de Escuintla, la figura 86 muestra lo anterior descrito:

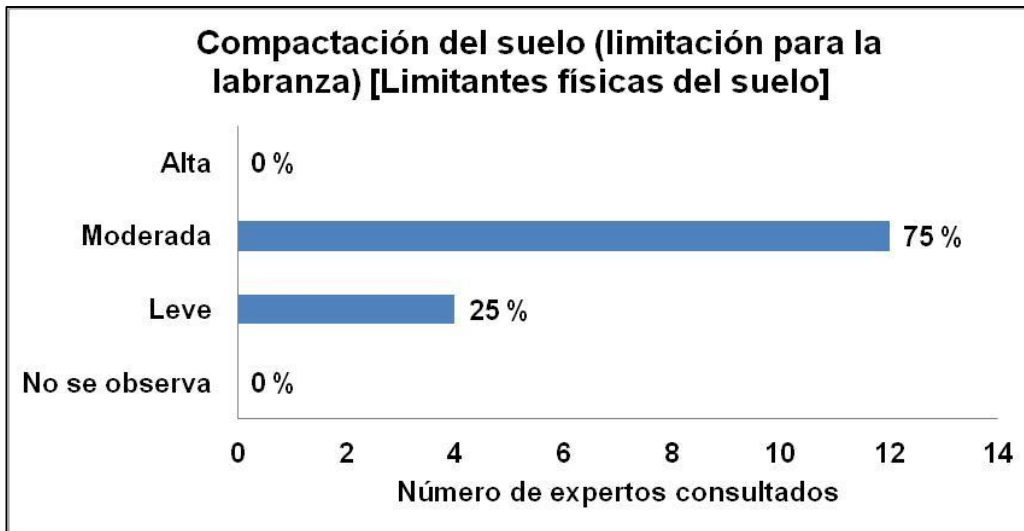


Figura 86. Percepción de la compactación de los suelos de Escuintla según expertos

#### **b Profundidad efectiva limitada**

La respuesta brindada por los expertos reveló que consideran que existe una moderada compactación de los suelos esto según el 50% de los profesionales entrevistados, otro 44% de los entrevistados consideran que existe una leve limitación en cuanto a la profundidad de los suelos del departamento de Escuintla. La figura 87 resume el resultado obtenido en cuanto a la pregunta 2 del cuestionario brindado a los expertos.

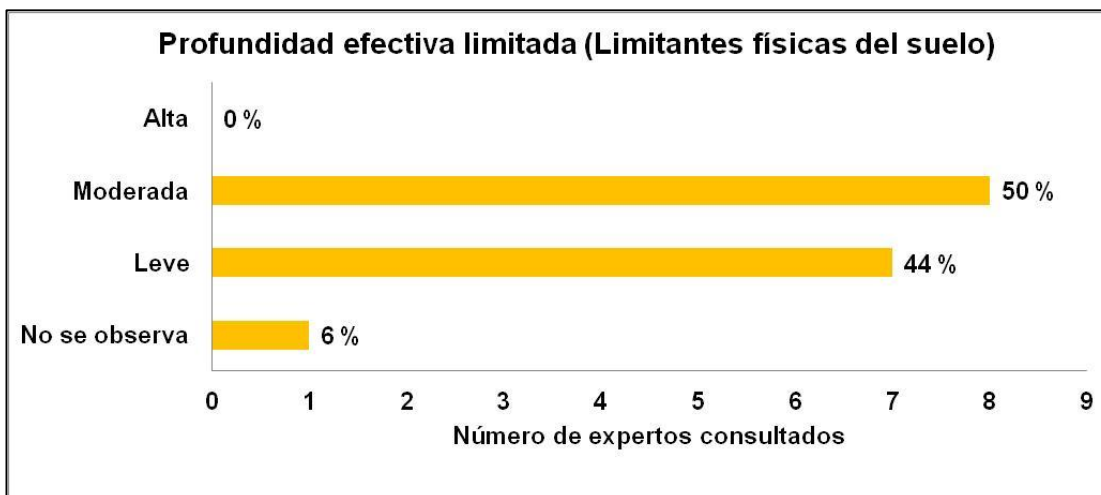


Figura 87. Percepción de la limitante de profundidad en suelos de Escuintla según expertos

### c Inundaciones del terreno

En cuanto a inundaciones en los suelos de Escuintla, un 25% de los expertos reportan que visualizan alto grado de problemas de inundaciones de los suelos, un 50% de los entrevistados informaron que observan un moderado problema de la inundación en sus áreas de laburo, un 19% de los expertos reporto que observan un leve problema de inundaciones y por ultimo un 6% indicó que no observa problemas de inundaciones en los suelos de Escuintla. La figura 88 muestra el resumen de los resultados para esta pregunta del cuestionario:

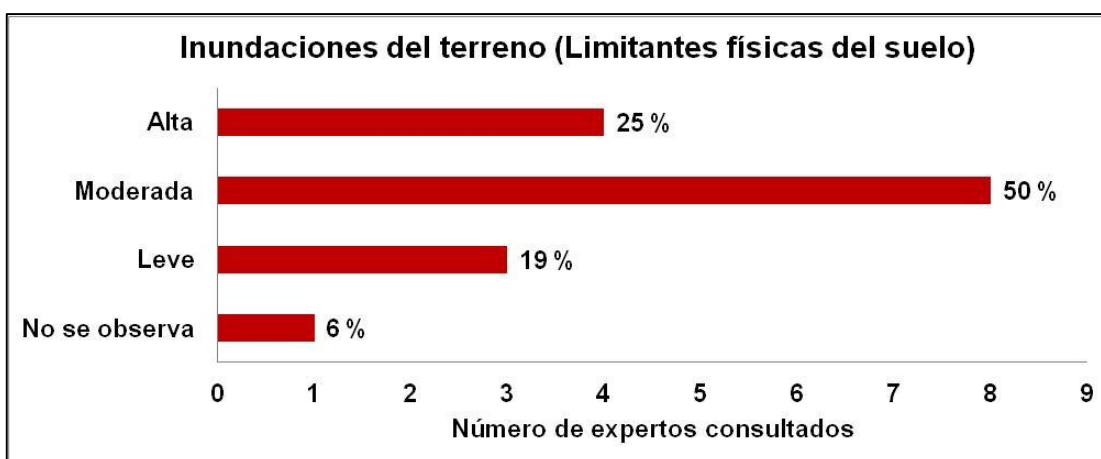


Figura 88. Percepción de las inundaciones en suelos de Escuintla por los expertos

### d Pedregosidad superficial

Para la limitante de Pedregosidad superficial en las áreas de trabajo según lo reportado por los expertos el resultado fue de un 6% de Pedregosidad moderada, un 81% consideran que existe una leve Pedregosidad en los suelos y un 13% reportó que no observa limitantes de este tipo en los suelos de Escuintla. La figura 89 muestra el resumen de la respuesta a la pregunta 4 del cuestionario.

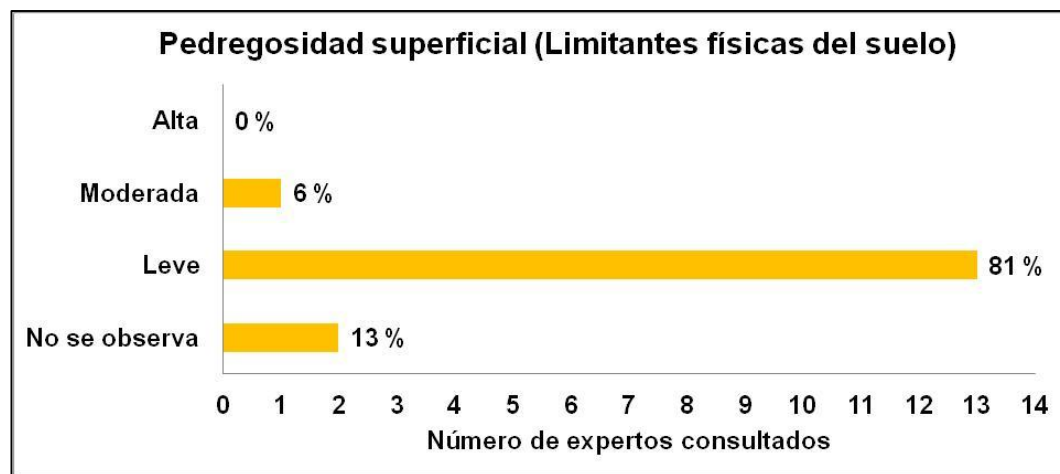


Figura 89. Percepción de la pedregosidad por los expertos en los suelos de Escuintla

#### e Pedregosidad interna

Esta corresponde a la pregunta 5 realizada en el cuestionario, los expertos indicaron que consideran que a nivel interno en los suelos existe en un 81% una leve presencia de esta limitante, un 13% manifestó que en sus área de trabajo no observan Pedregosidad interna y solo un 6% manifestó que observan una moderada limitante de Pedregosidad interna en los suelos de Escuintla. La figura 90 muestra el resultado de las repuestas brindadas por los profesionales.

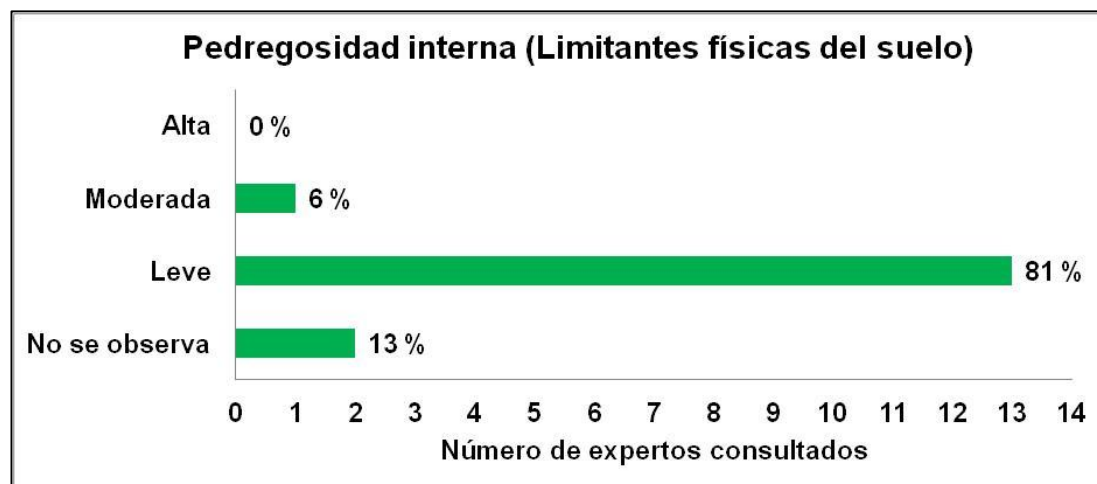


Figura 90. Percepción de los expertos sobre la pedregosidad interna de los suelos de Escuintla



### f Pendientes muy fuertes

La respuesta de los expertos indica en un 75% que el problema de pendientes fuertes en los suelos de Escuintla es leve, otro 6% indica que no observa pendientes fuertes, y un 19% indicó que consideraban un moderado problema de pendientes fuertes en los suelos de Escuintla que tienen bajo su administración. La figura 91 muestra el resultado de la pregunta sobre pendientes muy fuertes.

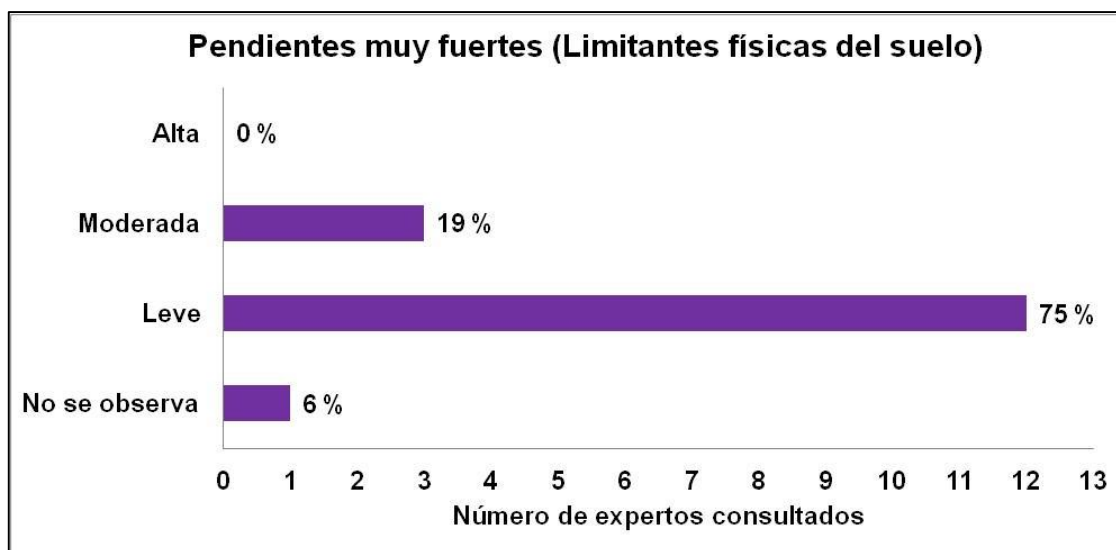


Figura 91. Percepción de los expertos sobre pendientes muy fuertes presentes en los suelos de Escuintla.

### g Betas arenosas

El resultado obtenido por parte de los expertos fue que un 6% considera que existen problemas con betas arenosas al catalogarlo como alto, un 31% indica que considera que el problema es moderado, otro 31% reportó que el problema es leve y por último otro 31% indicó que no observa problemas de betas arenosas en los suelos de Escuintla. La figura 92 muestra el resultado de la pregunta 7 del cuestionario respecto a las betas arenosas en Escuintla.

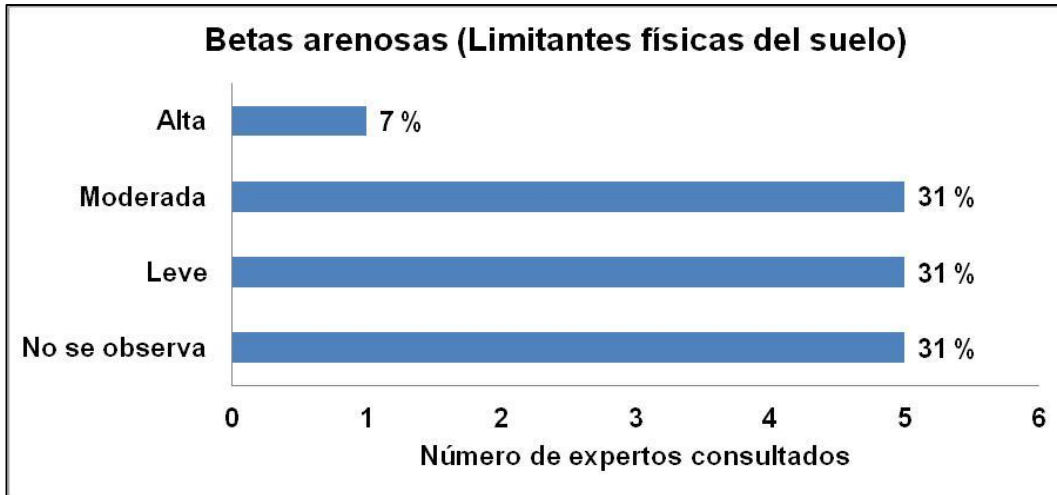


Figura 92. Percepción de los expertos sobre presencia de betas arenosas en suelos de Escuintla

#### h Suelos muy arenosos

El resultado obtenido corresponde a la pregunta 8 del cuestionario y en esta los expertos indicaron que consideran en un 75% que la presencia de suelos muy arenosos en Escuintla es leve, un 19% reporto que existe una presencia moderada de suelos muy arenosos y un 6% indicó que no observa suelos muy arenosos en Escuintla. La figura 93 muestra en resumen lo obtenido de la pregunta 8 por parte de los expertos.

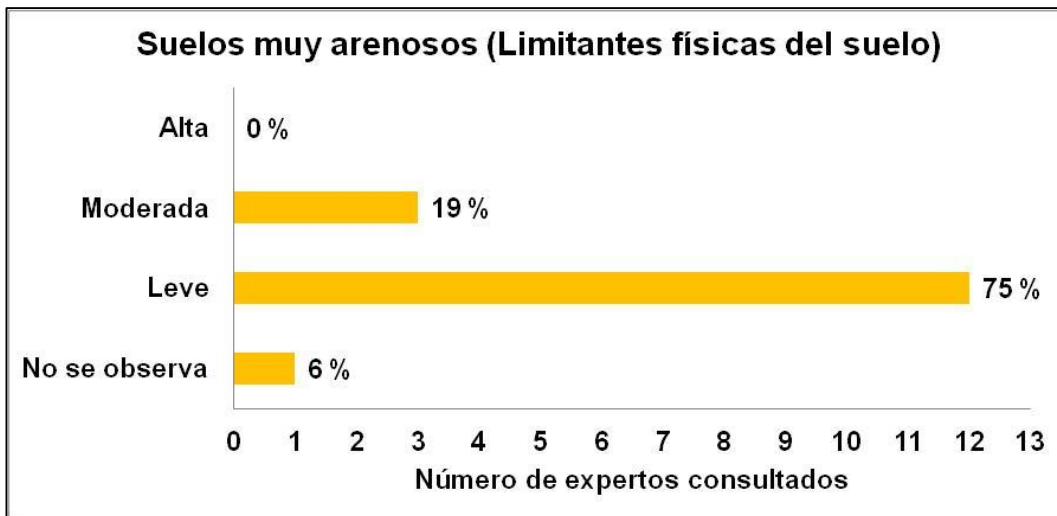


Figura 93. Percepción de los expertos sobre la presencia de suelos muy arenosos en los suelos de Escuintla

### i **Suelos muy arcillosos o estructuras masivas**

La percepción de los expertos ante esta limitante física se obtuvo de la pregunta 9 del cuestionario que se les brindó, y en esta mencionan un 31% observar un alta presencia de suelos arcillosos en los suelos que tiene a cargo, otro 31% indica que esta presencia de suelos arcillosos es moderada, seguido de otro 6% que indica no observar suelos con estructura masiva en las áreas que tienen a su administración. El resultado de la entrevista realizada a los expertos se resume en la figura 94.

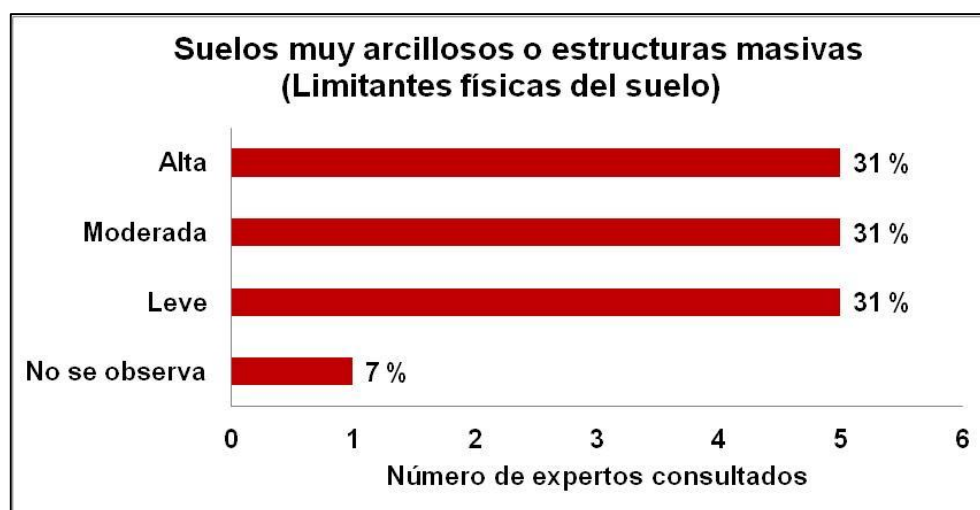


Figura 94. Percepción de suelos muy arcillosos en los suelos de Escuintla por los expertos

### j **Contaminación por agentes físicos**

Esta pregunta hizo referencia a la presencia de ripio u otro material semejante ajeno al suelo, las respuestas que se obtuvo por parte de los expertos fue un 25% de contaminación moderada, un 50% indicó observar una leve contaminación y un 25% indicó que no observan contaminación por estos materiales en los suelos de Escuintla. La figura 95 muestra el resultado obtenido de la pregunta 10 del cuestionario brindado a los expertos.



Figura 95. Percepción de contaminantes por agentes ajenos al suelo en los suelos de Escuintla según los expertos

#### k Erosión

En cuanto a la percepción de la erosión de los suelos de Escuintla, los expertos indicaron que un 81% de ellos perciben un moderado problema de erosión, y el 19% indicó que observan un leve problema de erosión. La figura 96 muestra el resultado de la pregunta 11.

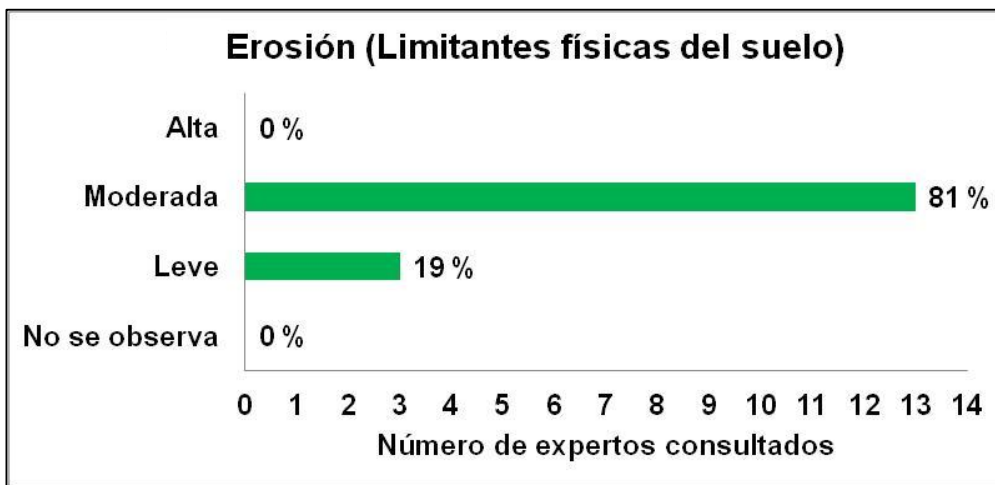


Figura 96. Percepción de la erosión en los suelos de Escuintla según los expertos entrevistados

## B Variables sobre limitantes químicas de suelo

### a Toxicidad de aluminio

Esta pregunta corresponde al número 14 del cuestionario brindado a los expertos, correspondiente al apartado de las limitantes químicas en ella se encontró que el 50% de los expertos consideran que si existe un leve problema de toxicidad por aluminio en los suelos, y el otro 50% de los entrevistados indicaron que no observar toxicidad por aluminio en los suelos de Escuintla. La figura 97 muestra el resultado obtenido al preguntar esta limitante a los expertos.



Figura 97. Percepción de los expertos a la limitante sobre la toxicidad de aluminio en suelos de Escuintla

### b Contaminación por agroquímicos

Según los expertos consultados estos perciben en un 6% una alta contaminación de los suelos por los agroquímicos utilizados, otro 635 percibe que existe una moderada contaminación, un 25% indico que ven una leve contaminación por estos agroquímicos y por último el restante 6% de los entrevistados no percibe contaminación por agroquímicos en los suelos de Escuintla.

La figura 98 muestra la percepción de los profesionales entrevistados sobre la contaminación de los suelos por agentes agroquímicos.

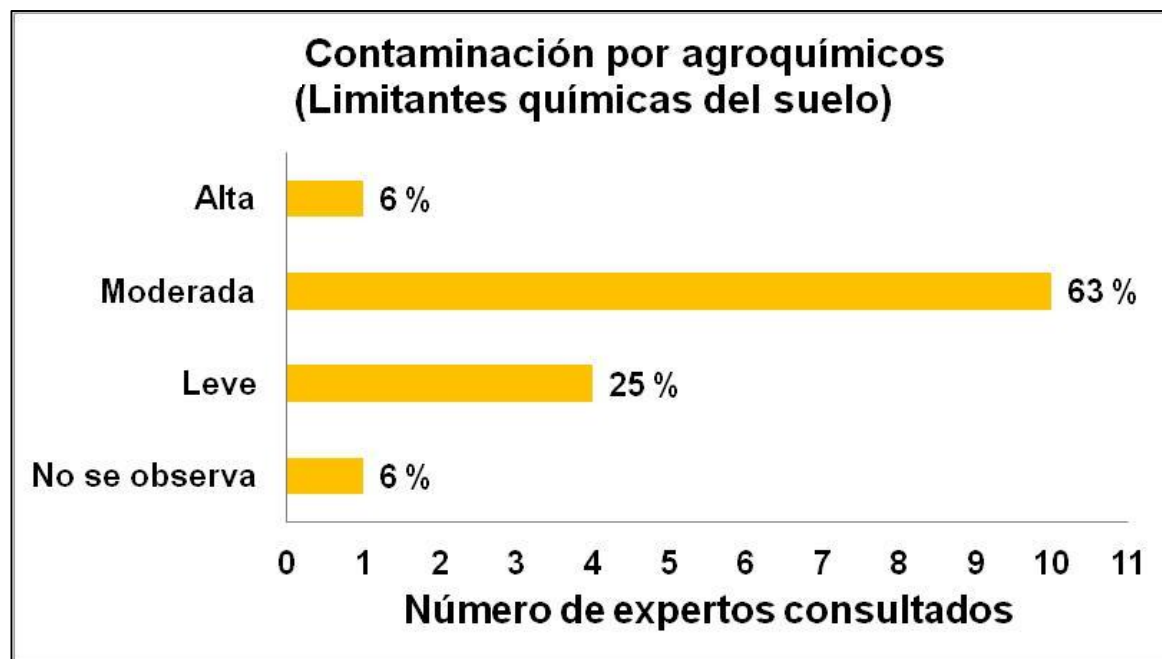


Figura 98. Percepción de los expertos sobre la contaminación por agroquímicos en los suelos de Escuintla

### **c Contaminación por otras sustancias químicas**

Los expertos reconocieron que en los suelos de Escuintla existe una moderada contaminación por otras sustancias químicas producto de la agroindustria del departamento, como subproductos de la caña de azúcar, café y palma africana en afluentes de la zona en un 44%, otro grupo indicó con un 31% que perciben una leve contaminación en sus áreas de laburo y por ultimo un 25% indica que no observan contaminación por otros agentes químicos en los suelos que están bajo su administración, la figura 99 es el resultado obtenido de la pregunta 18 del cuestionario.



Figura 99. Percepción de los expertos consultado sobre la contaminación por otras sustancias químicas en los suelos de Escuintla

## 2.7 Discusión de resultados observados

1. Se trabajó con 7 variables de suelo a partir de resultados de análisis de laboratorio de suelo, estas variables corresponden al denominado suelo superficial al estar a una profundidad de 0 hasta 30 centímetros, las variables analizadas corresponde al Potencial de hidrógeno (pH) donde se ubicó 578 registros, de la Materia Orgánica (M.O.) con 504 registros, la variable de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) con 164 registros, el Calcio (Ca) con 578 registros, la variable Magnesio (Mg) con 578 registros, la variable Potasio (K) con 578 registros y finalmente la variable Sodio (Na) con 496 registros, todas las variables anteriores poseen en cada uno de sus datos su respectiva ubicación geográfica. Todos los datos se tabularon y se ingresaron a una hoja electrónica de Microsoft Excel para su posterior estudio.
2. El análisis descriptivo y geoestadístico de las 7 variables dio como resultado el identificar los datos extremos que impiden el correcto desarrollo y crecimiento de las plantas en el departamento de Escuintla. Para la variable Potencial de hidrógeno se identificó 853.99 km<sup>2</sup> con problemas de acidez, la acidez extrema está presente en un área de 4.87 km<sup>2</sup>. Los suelos con alcalinidad fue de 60.50 km<sup>2</sup>. La Materia Orgánica presenta una superficie terrestre con valores que van desde 0.41% hasta 2%, catalogado como muy pobre contenido, correspondiente a 15.65 km<sup>2</sup>. La Capacidad de Intercambio Catiónico presenta superficies equivalentes a 1,195.91 km<sup>2</sup> con problemas de fertilidad al estar por debajo de los 20 Cmol<sup>+</sup>/Kg de suelo. Del Calcio se encontró 9.43 km<sup>2</sup> con un bajo contenido al estar en un intervalo de 1 a 4 Cmol<sup>+</sup>/Kg. de suelo. Los valores con alto contenido de Calcio están presente en Escuintla en rededor de 1,255.46 km<sup>2</sup>. El Magnesio presentó limitante como altos contenidos al estar en un intervalo de 4 a 25 Cmol<sup>+</sup>/Kg. de suelo, la superficie ocupada es de 2,570.29 km<sup>2</sup>, presente principalmente en la zona sur del departamento. El Potasio presentó limitante de este elemento en una superficie de 10.24 km<sup>2</sup> al estar los datos en un intervalo de 0.1 a 0.4 Cmol<sup>+</sup>/Kg. El análisis realizado a los datos de Sodio no mostró limitante para la producción agrícola.



3. La percepción de los 16 expertos edafólogos consultados sobre las limitantes de los suelos de Escuintla mostraron que, un 75% ven a la compactación del suelo producto de realizar las labores de labranza, como limitante moderada. Un 50% considera que existe una moderada limitación en cuanto a la profundidad efectiva del suelo. Un 25% considera que las inundaciones son una alta limitante en sus áreas de trabajo. Solo un 6% considera que existe una limitación moderada por pedregosidad superficial. Un 6 % reportó que ven la limitante por pedregosidad interna en los suelos. Un 19% reportó que ven limitante de pendientes muy fuertes en los suelos de Escuintla. De las betas arenosas el 6% observa que estas betas son altas limitantes de los suelos. Un 19% de los expertos indicó que ven como limitante los suelos arenosos que existen en sus áreas de trabajo. El 31% de los profesionales respondió que ven una alta limitante en cuanto a los suelos al ser estos suelos muy arcillosos. Un 25% manifestó que existe una limitante moderada por la contaminación de agentes físicos como el ripio en sus áreas de trabajo. El 81% de los profesionales observan que la erosión es una limitante que afecta a los suelos de Escuintla. Ninguno de los expertos respondió la pregunta 12 del cuestionario que correspondía a si observan alguna otra limitante física en el área donde desarrollan sus actividades laborales.

En cuanto a las limitantes químicas de los suelos de Escuintla estos expertos reportaron que existe un 50% de limitante moderada por acidez del suelo. Un 50% considera que la limitante por toxicidad de aluminio es leve en el departamento. Para la Materia Orgánica el 6% reporta una alta limitante por considerar que existe poca Materia Orgánica en sus suelos. Un 31% reportó que existe un moderado problema de salinidad y/o sodicidad en los suelos que administran. En cuanto a la contaminación por agroquímicos estos reportaron en un 6% que existen problemas altos de contaminación. Un 44% que ven como limitante la contaminación que se da por otras sustancias químicas dentro de sus áreas de trabajo. La pregunta 19 no tuvo respuesta por ninguno de los expertos consultados esta hizo referencia a si los expertos observaban alguna otra limitante química dentro de las áreas de trabajo.

4. Para mejorar los suelos de Escuintla específicamente aquellos donde se encontró limitantes para la producción agrícola se propone, para el aumento del Potencial de hidrógeno la aplicación de enmiendas inorgánicas con carbonatos de calcio tales como la caliza ó cal dolomítica. Para reducir el Potencial de hidrógeno se sugiere aplicar enmiendas a base de yeso o enmiendas con azufre o ácido sulfúrico así como el uso de sulfatos de aluminio, otra forma muy común para reducir la alcalinidad del suelo, es la aplicación de materia orgánica al suelo afectado considerada como una enmienda de tipo orgánica.

Ante la falta de materia orgánica en el suelo se puede considerar la aplicación de residuos de cosecha en el suelo, también el establecimiento de cultivos de cobertura cuando el suelo este en barbecho, para luego incorporarlos y en lo posible realizar la rotación de cultivos.

Los suelos donde se encontró deficiencia de calcio, magnesio y/o potasio se sugiere su corrección mediante la aplicación de fertilizantes con fórmulas ricas en estos nutrientes.

## 2.8 Conclusiones

1. Se logró coleccionar un total de 13,904 datos del conjunto de las variables Potencial de hidrógeno, Materia Orgánica, Capacidad de Intercambio Catiónico, Sodio, Potasio, Magnesio y Calcio a una profundidad de 0 a 30 cm, las cuales se ingresaron a una base de datos.
2. Los factores limitantes agrícolas de Escuintla expresados como % de la superficie del departamento son, el Potencial Hidrógeno con el 1.45%. La Materia Orgánica con 0.35%. La Capacidad de Intercambio Catiónico con 26.55%. El Calcio con 0.21%. El Magnesio con altos contenidos con 57.06% y el Potasio con 0.23%.
3. La percepción de los 16 profesionales de las ciencias agrícolas según sus respuestas, sitúan a la poca materia orgánica, inundaciones en los terrenos, betas arenosas, suelos muy arcillosos y contaminación por agroquímicos como las principales limitantes en el desarrollo de las actividades agrícolas.

## 2.9 Recomendaciones

1. Realizar estudios similares a esta investigación a nivel departamental, para el estudio de otras variables de suelo como la granulometría, densidades tanto aparente como real, microelementos ampliando la base de datos a partir de la creación de nuevas para tener resultados con mayor confiabilidad.
2. Tomar esta investigación de manera preliminar en relación con la deficiencia o exceso de algunos elementos en los municipios del departamento de Escuintla para el mejoramiento de los suelos que lo ameriten para optimizar la producción agrícola.
3. Asociar variables externas al suelo para su estudio a fin de poder realizar interpolaciones múltiples que permitan realizar una conclusión a detalle del porque se da el comportamiento espacial de cierta variable en el suelo, entre estas variables a considerar se sugiere aspectos climáticos, de relieve y agropecuarios entre otros.
4. Se propone el mejoramiento de la materia orgánica en el suelo mediante el uso de técnicas tales como emplear compost y/o incorporación de abonos verdes, la incorporación de Materia Orgánica favorecerá las áreas con poco % de Materia Orgánica, además ayudará en las áreas donde exista baja Capacidad de Intercambio Catiónico por la relación que existe entre estas dos variables. Para suplir el calcio en el suelo se puede aplicar yeso u otro material rico en este nutriente, y para el potasio se propone la aplicación de nitrato de potasio para suplirlo en el suelo, en el caso de exceso del Magnesio se de evitar la aplicación de compuestos que contengan este nutriente.

## 2.10 Bibliografía

1. Buol, W., Hole, F. D., & McCracken, R. J. (1988). Génesis y clasificación de suelos. México: Trillas. 417 p.
2. Chonay, J., Herrera, M., Tobías, H., & Sacbajá, A. (1999). Factores físicos y químicos que afectan la producción agrícola en Guatemala. Primera reunión Centro Americana de suelos, trayectoria y perspectiva de la ciencia del suelo en Centro América. Tapachula, México. 26 p.
3. Coy Poou, M. L. (2008). Situación actual de los recursos hídrico y edáfico y los aspectos socioeconómicos, en las subcuencas Pueblo Viejo y Zarco del municipio de Panzós, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. Recuperado el 20 de Noviembre de 2014, de Biblioteca Central USAC: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2386.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2386.pdf)
4. Cruz S., J. R. (1982). Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Recuperado el 3 de Noviembre de 2012, de Scribd: <http://es.scribd.com/doc/96064621/Clasificacion-de-Zonas-de-Vida>
5. Donahue, R. L., Miller, R. W., & Schickluna, J. C. (1981). Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. (J. Peña C., Trad.) Cali, Colombia, Colombia: Prentice-Hall Internacional. 624 p.
6. Duchaufour, P., Bonneau, F., Jacquin, B., & Souchier, B. (1975). Manual de edafología. (T. Carballas Fernández, Trad.) Barcelona, España, España: Toray-Masson. 476 p.
7. FAO. (1992). Erosión de suelos en América Latina. Recuperado el 20 de Octubre de 2012, de FAO, Depósitos de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm#Contents>
8. Fassbender, H., & Bornemisza, E. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Recuperado el 5 de Enero de 2014, de Biblioteca Orton, CATIE: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9793E/A9793E.PDF>
9. Gabriel Alvarado, D. A. (Noviembre de 2008). Central de abastos en el municipio de Escuintla. Tesis Arq. Guatemala, USAC, Facultad de Arquitectura. Recuperado el 15 de Agosto de 2014, de Biblioteca Central USAC: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02\\_2185.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_2185.pdf)
10. Henao, R. G. (1993). Introducción a la geoestadística. Obtenido de CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical: [ftp://ftp.ciat.cgiar.org/%20%20/DAPA/projects/Cursos\\_Talleres/Curso\\_R/DOCUMENTOS/LIBRO%20DE%20GEOESTADISTICA.pdf](ftp://ftp.ciat.cgiar.org/%20%20/DAPA/projects/Cursos_Talleres/Curso_R/DOCUMENTOS/LIBRO%20DE%20GEOESTADISTICA.pdf)

11. Holland, C. L. (17 de Junio de 2011). Programa Latinoamericano de Estudios Socioreligiosos (PROLADES). Recuperado el 16 de Octubre de 2014, de PROLADES: <http://www.prolades.com/historiografia/2-Guatemala/guate-stats-2010-CONELA.pdf>
12. INAB. (1998). Clasificación de tierras por capacidad de uso: aplicación de una metodología para tierras de la República de Guatemala (2 ed.). Guatemala: Instituto Nacional de Bosques. 74 p.
13. INE. (2014). Características socioeconómicas de la población. Recuperado el 4 de Enero de 2014, de Instituto Nacional de Estadística: <http://www.ine.gob.gt/np/>
14. INE. (2013). Caracterización departamental Escuintla 2012. Recuperado el 14 de Agosto de 2014, de Instituto Nacional de Estadística: <http://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2013/12/09/EG6oCwETtXFzYUM3wfvWUyR8W5zzAUa.pdf>
15. INE. (2011). Pobreza y desarrollo un enfoque departamental. Recuperado el 6 de Enero de 2014, de Instituto Nacional de Estadística, Encuesta Nacional de Condiciones de Vida. ENCOVI. 2011: <http://www.ine.gob.gt/np/encovi/documentos/Pobreza%20y%20Desarrollo%202011.pdf>
16. López Ritas, J., & López Melida, J. (1978). El diagnóstico de suelos y plantas (3 ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa. 337 p.
17. MAGA. (2005). Atlas temático de la República de Guatemala serie de recursos naturales, sociales, productivos, amenazas y vulnerabilidad. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 62 p.
18. MAGA. (2006). Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala año 2003: memoria técnica y descripción de resultados. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 209 p.
19. MAGA. (2000). Primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la República de Guatemala a escala 1:250,000: memoria técnica. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 44 p.
20. MAGA, INSIVUMEH & MICIVI. (2002). Estimación de amenazas inducidas por fenómenos hidrometeorológicos en la República de Guatemala. Guatemala: Gobierno de Guatemala.
21. Morell, F., López, D., & Hernández, A. (2008). Finca La Rosita II: factores limitantes de los suelos. *Cultivo Tropicales*, 29 (2), 20.
22. OCEANO. (s. f.). Enciclopedia práctica de la agricultura y la ganadería. Barcelona, España: OCEANO.

23. Ruiz Cerda, E., Aldaco Nuncio, R. A., Montemayor Trejo, J. A., Forti Hernández, M., Olague Ramírez, J., & Villagómez Gamboa, J. C. (abril de 2007). Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. Recuperado el 10 de Noviembre de 2012, de EBSCO: <http://web.ebscohost.com/ehost/detail?vid=6&hid=15&sid=bbbe6682-38c1-4dec-b97569c59ec4884c%40sessionmgr13&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=zbh&AN=24327201>
24. Salas Salinas, M. A., & Jiménez Espinosa, M. (2013). Inundaciones. Recuperado el 12 de 7 de 2014, de CENAPRED, Centro Nacional de Prevención de Desastres: [http://www.files.cenapred.gob.mx/es/publicacionesRelevantes/FASCICULO\\_INUNDACIONES\\_2013.pdf](http://www.files.cenapred.gob.mx/es/publicacionesRelevantes/FASCICULO_INUNDACIONES_2013.pdf)
25. Salgado García, S., Palma López, D. J., Lagunez Espinoza, L. D., & Castelán Estrada, M. (2006). Manual para muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis (2 ed.). Tabasco, México: Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. 91 p.
26. Sánchez, P. (1981). Suelos del trópico características y manejo. (E. Camacho, Trad.) San José, Costa Rica: IICA. 634 p.
27. Tobías Vásquez, H. A. (2006). Guía para descripción de suelos (2 ed.). Guatemala: USAC, Facultad de Agronomía. 74 p.

## **2.11 Anexos**

### **2.11.1 Glosario**

#### **A Suelo**

Es aquel que contiene cuerpos naturales sobre una superficie terrestre compuesto de minerales y/o materia orgánica que sirve de anclaje a las raíces de plantas. (Salgado García, Palma López, Lagunez Espinoza, & Castelán Estrada, 2006, pág. 1).

#### **B Pedón**

Es aquel volumen del suelo que permite observar las capas sobrepuestas que se forman por el paso del tiempo e interacción del conjunto organomineral del suelo, clima y relieve de la región que hace posible estudiar los horizontes del suelo. La profundidad del pedón dependerá del investigador y la finalidad del estudio. (Tobías Vásquez, 2006, pág. 2)

#### **C Horizonte**

Estas son capas que se han formado por el actuar del clima, relieve, tiempo, material parental y organismos vivos sobre la superficie terrestre que se depositan una sobre otras. Los horizontes del suelo se denominan por combinaciones de letras mayúsculas O, A, B, C y R. (Tobías Vásquez, 2006)

#### **D Perfil del suelo**

El perfil de un suelo es la unidad de observación vertical de este hasta donde llega la profundidad de las raíces de plantas perennes, también la profundidad puede llegar hasta donde se observa el comportamiento del pedón. (Tobías Vásquez, 2006)

#### **E Profundidad efectiva del suelo**

Es la distancia vertical debajo de la superficie terrestre la cual la planta penetra con sus raíces para obtener agua y nutrientes, esta profundidad efectiva se ve limitada por estratos compactos que no permiten el fácil desarrollo y crecimiento de las raíces. (INAB, 1998)

#### **F Pendiente**

La inclinación que presenta un área de la superficie terrestre se le describe como pendiente y está se mide en porcentaje. (INAB, 1998)



**G Calicata**

Para el estudio de los horizontes es necesario realizar un agujero en el suelo que permita observar los distintos horizontes para describirlos y tomar una porción del suelo extraído para su análisis, el volumen estándar para una calicata es de 3 metros cúbicos, 1 metro de ancho x 2 metros de largo x 1 metro de profundidad. (INAB, 1998)

## 2.11.2 Cuestionario utilizado en la encuesta electrónica

### Cuestionario sobre limitantes agrícolas en el suelo de Escuintla

Deseamos solicitarle su colaboración en el sentido de ayudar a identificar la existencia de problemas de los suelos que limitan la producción agrícola en los departamentos de Escuintla. Por ello a continuación se le presenta una serie de preguntas en las cuales se enuncian algunos problemas comunes, por favor sírvase marcar la respuesta según su valiosa experiencia sobre el nivel de severidad y extensión superficial del problema que identifica.

Muchas gracias por su colaboración.

**\*Obligatorio**

#### 1. Limitantes físicas del suelo \*

Limitante/Severidad y extensión

Marca solo un óvalo por fila.

	Alta	Moderada	Leve	No se observa
1. compactación del suelo (limitación para la labranza)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Profundidad efectiva limitada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Inundaciones del terreno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Pedregosidad superficial	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Pedregosidad interna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Pendientes muy fuertes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Betas arenosas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Suelos muy arenosos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Suelos muy arcillosos o estructuras masivas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Contaminación por agentes físicos: ej: ripio u otros materiales ajenos al suelo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. Erosión	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>12. Alguna otra limitante física que usted crea se presenta en el área</b>				
<hr/>				

Figura 100A. Cuestionario sobre limitantes físicas del suelo

Limitantes Químicas del suelo  
Limitante/Severidad y extensión  
Marca solo un óvalo por fila.

	Alta	Moderada	Leve	No se observa
13. pH ácido	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14. Toxicidad de Aluminio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15. Poca materia orgánica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16. Salinidad y/o sodicidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17. Contaminación por agroquímicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18. Contaminación por otras sustancias químicas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>4. 19. Alguna otra limitante química que usted crea se presenta en el área</b>				
_____				

Figura 101A. Cuestionario sobre limitantes químicas del suelo



### **Capítulo III**

Servicios realizados durante el Ejercicio Profesional Supervisado en el Proyecto de Investigación FODECYT 02-2012



### 3.1 Presentación

Los siguientes dos servicios corresponden a los prestados durante la ejecución del proyecto FODECYT 02-2012 el cual se desarrolló desde el 01 de junio del año 2012 hasta el 31 de septiembre del año 2014, en las instalaciones del edificio de Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos (UVIGER) de la Facultad de Agronomía.

El primer servicio consistió en estructurar una serie de variables las cuales se convirtieron en una plantilla para la colecta de datos la cual fue utilizada para obtener la base de datos correspondiente al departamento de Escuintla, esta base de datos se orientó a obtener la ubicación espacial y resultados de características de suelos tanto físicas y químicas.

Se contó con información procedente de diferentes documentos tales como tesis de grado, estudios edafológicos, mapas de suelo y tierra, informes de laboratorio de análisis físicos y químicos de suelos, memorias técnicas y otros documentos impresos, así también en formato digital los cuales contenían información sobre los suelos del departamento de Escuintla.

El resultado fue la obtención de 640 puntos con coordenadas geográficas presentando información sobre variables de suelos.

El segundo servicio consistió en la visita a instituciones tanto públicas como privadas las cuales creaban, almacenaban y/o utilizaban información sobre suelos de Guatemala específicamente para obtener información sobre el departamento de Escuintla además, se buscó aquellas instituciones que contaran con una política de compartir la información de suelos que tenían en su poder.

Como requisito de este servicio fue que de toda la información de suelos encontrada contara con coordenadas geográficas del lugar estudiado, o que por lo menos se contara con mapas o indicaciones específicas que permitieran determinar la geoposición del estudio o documento consultado.

En total se consultaron a 11 instituciones de las cuales 5 fueron las que brindaron información útil para el proyecto de las cuales destacaron CENGICAÑA y la FAUSAC por la cantidad de información obtenida para el departamento de Escuintla.



### **3.2 Servicio 1: Creación de plantilla utilizada para vaciar los datos encontrados sobre análisis físicos y químicos de suelo**

La necesidad de contar con información de suelos llevó a la creación de una plantilla en la cual se vaciaron los datos obtenidos producto de las consultas realizadas, para ello fue necesario determinar que variables serían las destinadas a coleccionar, se decidió consultar con el investigador principal y los investigadores asociados al proyecto para tener la referencia de cuales variables serían las necesarias a encontrar para llevar a cabo los objetivos del proyecto, siendo 4 variables de suelo y su ubicación espacial indispensables para cumplir lo pactado en el proyecto FODECYT 02-2012.

Al tener acceso a los diferentes documentos consultados en las instituciones visitadas, el investigador principal solicitó la colecta del mayor número de variables, por lo cual se determinó que en lo posible serían 42 variables las necesarias a coleccionar, dado la importancia en cuanto a la representatividad para diferentes usos de estas variables en el futuro para llevar a cabo la clasificación según la “base mundial de referencia” conocida en el medio como World Reference Base y por sus siglas en inglés como W.R.B que utiliza una serie de variables para poder llevar a cabo esta clasificación, un ejemplo, es la utilización de la saturación de bases en un suelo para determinar un tipo de suelo.

#### **3.2.1 Objetivo**

Crear una plantilla la cual contenga como máximo 42 variables las cuales serán utilizadas para vaciar la información obtenida de los diferentes documentos consultados para cumplir con las metas propuestas en el proyecto FODECYT 02-2012.

### **3.2.2 Metodología**

La creación de la plantilla se llevó a cabo mediante los siguientes pasos:

#### **A Consulta con investigadores de la FAUSAC sobre las variables a recopilar**

Se llevó a cabo reuniones de trabajo con los investigadores de la FAUSAC en las cuales se discutieron las variables necesarias a encontrar para llevar a cabo el estudio del suelo, en las consultas realizadas se contó con los diferentes documentos ubicados durante las visitas realizadas a las diferentes instituciones que poseen documentos con contenido de análisis de laboratorio físico y químico de suelos.

En esta se determinó que las variables necesarias para cumplir con los objetivos del proyecto serán Carbono Orgánico, Potencial de Hidrógeno, Arcilla y Limo, además de contar con las coordenadas geográficas.

#### **B Variables adicionales a recopilar**

Como un agregado de las visitas a las instituciones y su respectiva consulta a los documentos encontrados, se decidió por instrucciones del investigador principal coleccionar la mayor cantidad de variables disponibles, luego de reuniones de trabajo con todos los investigadores del proyecto se decidió que la plantilla a crear tenía que contar con 42 variables incluyendo las 6 variables ya pactadas por lo que fue necesario la búsqueda de 36 variables adicionales.

Las variables adicionales fueron:

Departamento, Municipio, Aldea, Ubicación Geográfica, Latitud, Longitud, X, Y, Referencia, Altitud, Precipitación, Temperatura, Clasificación Taxonómica del Suelo, Profundidad inicial, Profundidad final, Horizonte, Arcilla, Limo, Arena, Arcilla+Limo, Textura, Densidad aparente, Densidad real, Materia orgánica, Potencial de Hidrógeno en

agua, Potencial de Hidrógeno en Fluoruro de sodio, Capacidad de intercambio catiónico, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Metodología de laboratorio, Porcentaje de saturación de bases, Fósforo, Fuente de consulta, Código de fuente de consulta, Autor del documento, Año de publicación, Fecha de observación, Clasificación World Reference Base y Aldea utilizando ArcGis.

### **C Dimensionales de las variables a incluir en la plantilla para crear la base de datos**

Luego de establecer que variables se recopilarían se procedió a determinar las dimensionales que debían presentar al momento de registrar los datos dentro de la plantilla, por lo que se determinó las siguientes variables, las cuales se detallan en los siguientes cuadros 47 y 48:

Cuadro 47. Variables y sus dimensionales a recopilar en la plantilla para crear la base de datos

<b>No.</b>	<b>Variable</b>	<b>Dimensional</b>
1	Departamento	Texto
2	Municipio	Texto
3	Aldea	Texto
4	Ubicación Geográfica	Texto
5	Latitud	Coordenadas geográficas
6	X	Número Decimal
7	Longitud	Coordenadas geográficas
8	Y	Número Decimal
9	Referencia	Texto
10	Altitud	Número Decimal
11	Precipitación	Número Decimal
12	Temperatura	Grados centígrados
13	Clasificación taxonómica de suelo	Texto
14	Profundidad inicial	Número Entero
15	Profundidad final	Número Entero
16	Horizonte	Texto

17	Arcilla	Porcentaje
18	Limo	Porcentaje
19	Arena	Porcentaje
20	Arcilla+Limo	Porcentaje
21	Textura	Texto
22	Densidad Aparente	gramo/centímetro cubico
23	Densidad Real	gramo/centímetro cubico
24	Carbono Orgánico	Porcentaje
25	Materia Orgánica	Porcentaje
26	Potencial de Hidrógeno en agua	Logaritmo
27	Potencial de Hidrógeno en fluoruro de sodio	Logaritmo
28	Capacidad de Intercambio catiónico	Cmol <sup>+</sup> /Kg. de suelo
29	Calcio	Cmol <sup>+</sup> /Kg. de suelo
30	Magnesio	Cmol <sup>+</sup> /Kg. de suelo
31	Sodio	Cmol <sup>+</sup> /Kg. de suelo
32	Potasio	Cmol <sup>+</sup> /Kg. de suelo
33	Metodología de laboratorio	Texto
34	Porcentaje de Saturación de Bases	Porcentaje
35	Fósforo	Cmol <sup>+</sup> /Kg. de suelo
36	Fuente de consulta	Texto
37	Código de fuente de consulta	Texto
38	Autor del documento	Texto
39	Año de publicación	Año
40	Fecha de observación	Día/mes/Año
41	Clasificación WRB	Texto
42	Aldea Utilizando ArcGIS	Texto

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Cuadro 48. Descripción de la variable recopilada en la base de datos

No.	Variable	Descripción
1	Departamento	Nombre del departamento donde se ubicó la información
2	Municipio	Nombre del municipio donde se ubicó la información
3	Aldea	Nombre del área donde se ubicó la información
4	Ubicación Geográfica	Descripción del lugar donde se hizo la toma de muestra de suelo
5	Latitud	Dato en grados, minutos y segundos que ubica en el cuadrante Norte-Este la toma de muestra de suelo

6	X	Dato en número decimal que ubica en el cuadrante Norte-Este la toma de muestra de suelo
7	Longitud	Dato en grados, minutos y segundos que ubica en el cuadrante Sur-Este la toma de muestra de suelo
8	Y	Dato en número decimal que ubica en el cuadrante Sur -Este la toma de muestra de suelo
9	Referencia	Nombre del horizonte que se encontró en cada calicata consultada o muestreo con fin de fertilidad
10	Altitud	Metros sobre el nivel del mar en donde se realizó la toma de muestra de suelo
11	Precipitación pluvial	Mililitros de precipitación pluvial de la zona donde se realizó la toma de muestra de suelo
12	Temperatura	Grados centígrados de la zona donde se realizó la toma de muestra de suelo
13	Clasificación taxonómica de suelo	Clasificación dada al suelo según características encontradas en los documentos consultados
14	Profundidad inicial	Inicio de la profundidad de cada horizonte dentro de un perfil de suelo correspondiente a una calicata
15	Profundidad final del horizonte	Final de la profundidad de cada horizonte dentro de un perfil de suelo correspondiente a una calicata
16	Horizonte	Capa paralela a la superficie del suelo
17	Arcilla	Porcentaje de la arcilla contenida en la muestra de suelo analizada
18	Limo	Porcentaje de limo contenido en la muestra de suelo analizada
19	Arena	Porcentaje de arena contenido en la muestra de suelo analizada
20	Arcilla+Limo	Suma de los porcentajes de arcilla y limo contenidos en la muestra de suelo analizada
21	Textura	Clasificación dada según las intersecciones de las cantidades de porcentajes de arcilla, limo y arena encontradas en la muestra de suelo analizada
22	Densidad Aparente	Relación de gramos de suelo entre centímetros cúbicos tomando en cuenta el aire y humedad de la muestra
23	Densidad Real	Relación de gramos de suelo entre centímetros cúbicos sin tomar en cuenta el aire y humedad de la muestra
24	Carbono Orgánico	Fracción del 58% de la materia orgánica del suelo
25	Materia Orgánica	Porcentaje del material de origen orgánico en el suelo

26	Potencial de Hidrógeno en agua	Actividad de los iones H <sup>+</sup> en el suelo valorados en escala de 0 a 14
27	Potencial de Hidrógeno en fluoruro de sodio	pH Útil para detectar la presencia de coloides inorgánicos no cristalinos en el suelo
28	Capacidad de Intercambio catiónico	Cmol <sup>+</sup> de cationes en la muestra entre un Kilogramo de suelo
29	Calcio	Cmol <sup>+</sup> de Calcio entre Kilogramo de suelo
30	Magnesio	Cmol <sup>+</sup> de Magnesio entre Kilogramo de suelo
31	Sodio	Cmol <sup>+</sup> de Sodio entre Kilogramo de suelo
32	Potasio	Cmol <sup>+</sup> de Potasio entre Kilogramo de suelo
33	Metodología de laboratorio	Método utilizado por el laboratorio para realizar el análisis de la muestra de suelo
34	Porcentaje de Saturación de Bases	Porcentaje del lavado de bases intercambiables que sufre el suelo
35	Fósforo	Cmol <sup>+</sup> de Fósforo entre Kilogramo de suelo
36	Fuente de consulta	Documento consultado del cual se obtuvo la información
37	Código de fuente de consulta	Código encontrado en el documento consultado
38	Autor del documento	Nombre del autor del documento consultado
39	Año de publicación	Año de publicación del documento consultado
40	Fecha de observación	Día, mes y/o año de la realización de calicata o muestreo del suelo
41	Clasificación WRB	Clasificación dada al suelo según la Base de referencia Mundial
42	Aldea Utilizando ArcGIS	Aldea ubicada según geoposición utilizando el software ArcGIS 9.3

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

## **D Formato electrónico de la plantilla para crear la base de datos**

Dado la facilidad de contar con el software de Microsoft Windows ®, se procedió a utilizar una hoja de un libro de Microsoft Excel ®, para crear la plantilla con 42 variables listas para vaciar en esta los datos colectados de los diferentes documentos consultados.

### **3.2.3 Resultados**

Como resultado del uso de la hoja electrónica de Microsoft Excel, se obtuvo una plantilla en la cual se ubicó a 42 variables cada variable en cada celda inicial de la hoja electrónica.

La plantilla quedó organizada mediante la ubicación de las variables en cada inicio de cada columna de la hoja de Microsoft Excel®, utilizando la columna A hasta la columna AO, en la primera fila se procedió a colocar los nombres de las variables, cada una de estas variables, se ubicó dentro de cada una de las celdas que formaron la intersección de las columnas con la fila número uno.

Al documento electrónico generado se le dio el nombre de Datos FODECYT Escuintla 2012.xls, y la hoja utilizada tiene por nombre base de datos, esta plantilla se puede descargar desde la siguiente dirección electrónica:

<https://app.box.com/s/qut4akyzoo6yq1nkhrap>

### **3.3 Servicio 2: Visita a instituciones para determinar si poseen información sobre análisis físicos y químicos de suelos**

Debido a que el proyecto FODECYT 02-2012 estaba orientado a la búsqueda de información generada, almacenada o distribuida por instituciones públicas y privadas, hubo necesidad de ubicar las instituciones para poder realizar visitas las cuales llevaron a la obtención de documentos impresos como digitales los cuales contenían información de análisis físicos y químicos de suelos.

Para poder ubicar las instituciones tanto públicas como privadas, fue necesario realizar reuniones de trabajo con el equipo de investigadores para obtener información del conocimiento de instituciones que entre sus actividades dediquen tiempo al estudio del suelo de Guatemala, especialmente al departamento de Escuintla.

Producto de las reuniones de trabajo se logró identificar a los directivos de las instituciones que fueron visitadas, con el fin de lograr reunirlos para informarles sobre los objetivos y metas del proyecto. Luego de informar a los directivos de las instituciones se logró establecer en su mayoría al departamento y responsable de manejar la información de suelos en cada una de las instituciones.

### **3.3.1 Objetivo**

Determinar y visitar las instituciones públicas y privadas que posean información de análisis físico y químico de suelos del departamento de Escuintla para la recopilación de dicha información.

### **3.3.2 Metodología**

Para poder llevar a cabo las visitas a las instituciones públicas y privadas que poseen información sobre análisis físicos y químicos de suelos fue necesario cumplir con los siguientes pasos:

#### **A Reuniones de trabajo con los investigadores para ubicar instituciones que posean información sobre el suelo**

Se determinó realizar reuniones de trabajo con todos los investigadores del proyecto para determinar las instituciones que por experiencia conozcan y/o que desarrollen el estudio del suelo.

Estas reuniones consistieron en generar un listado de las instituciones públicas y privadas que por experiencias individuales de cada investigador está al corriente de que en ella se lleve a cabo el estudio de suelo a nivel físico como químico.



Una vez se obtuvo el listado de estas instituciones se procedió a ubicar la dirección física, número de teléfono, y la persona la cual está a cargo del desarrollo administrativo y/o técnico de las actividades que en ella se llevan a cabo.

## **B Invitación a los altos directivos de las instituciones para presentarles el Proyecto FODECYT 02-2012**

Luego de realizar el listado de las personas que cuentan como la máxima autoridad en las diferentes instituciones, se procedió a llamar vía telefónica a las secretarías de estos personajes, para solicitar el correo electrónico de cada uno y con esto poder hacerles llegar vía electrónica la carta de invitación para presentarles el proyecto indicando como punto de encuentro las instalaciones de un reconocido restaurante de la zona 11 de Guatemala, en el cual se llevó a cabo un desayuno informativo el 24 de agosto de 2012.

## **C Visitas a las instituciones que poseen información sobre suelo**

Posterior a la ubicación de los responsables o encargados de resguardar la información de suelos, además de tener el listado de cuales instituciones se visitaron, se procedió a establecer la prioridad que estas tenían para el proyecto según el relato de los altos directivos en cuanto a la disponibilidad de los documentos para su consulta.

### 3.3.3 Resultados

#### A Asistencia al taller destinado a la presentación del Proyecto FODECYT 02-2012

Esta presentación del proyecto se llevó a cabo en las instalaciones dentro de un salón de un restaurante de la zona 11 de Guatemala, donde se contó con la asistencia desde directores administrativos de las instituciones hasta técnicos de campo que relacionan sus actividades diarias a las relacionadas con la ciencia del estudio del suelo.

Fueron 23 personas las que asistieron a dicha presentación siendo las instituciones representadas las que se observan en el cuadro 49:

Cuadro 49. Instituciones asistentes a la presentación del proyecto FODECYT 02-2012

CENGICAÑA	MAGA-DIGEGR
FAUSAC	Soluciones Analíticas
IARNA-URL	ENCA
AMSA	ICTA
CONAP	IGN

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Como última actividad de esta reunión, se procedió a brindar una boleta con el nombre de “Consulta sobre Acceso a Información de Suelos”, en la cual se identificó por cada una de las personas que representaron a la institución a la persona y el departamento o sección encargado de resguardar dicha información de suelos.

#### B Visita a instituciones para la colecta de datos

Luego de ubicar a la persona encargada y lugar de almacenamiento de la información en cada una de las instituciones se procedió a realizar las visitas correspondientes para

obtener la información de suelo que estas instituciones poseen para su respectiva consulta y recopilación.

Se visitó todas las instituciones descritas en el Cuadro 49, además de realizar visitas a ANACAFE de donde se obtuvo información histórica mas no se pudo acceder a información reciente del laboratorio de suelos debido a que la institución está acoplándose a una certificación donde una de sus metas es mantener como privada toda información de análisis creada en su laboratorio.

Cuadro 50. Disponibilidad de la información útil para el proyecto:

Institución	Acceso a la información	Útil para el proyecto
CENGICAÑA	Si	Si
FAUSAC	Si	Si
IARNA	Si	No
AMSA	Si	No
CONAP	Si	No
MAGA	Si	Si
Soluciones Analíticas	Si	No
ENCA	Si	Si
ICTA	Si	No
IGN	Si	No
ANACAFE	No	Si

Fuente: Producto del trabajo desarrollado

Las municipalidades de Escuintla fueron otra institución visitada, se logró encontrar que el total de la información que estas poseen proviene de estudios realizados por CENGICAÑA y ANACAFE principalmente.

El resultado final de estas visitas a las diferentes instituciones es la obtención de 640 puntos con información de análisis físico y químico de suelo, donde destaca que luego de

la depuración y análisis de calidad de información, las instituciones que aportaron la información son la Facultad de Agronomía a través de los diferentes tipos de documentos generados y la institución de CENGICAÑA mediante sus diferentes estudios y análisis de fertilidad de suelos creados.

El cuadro 51 resume los puntos obtenidos de las 2 anteriores instituciones mencionadas:

Cuadro 51. Coordenadas geográficas con información de suelos obtenidos en las diferentes visitas a instituciones

<b>Institución</b>	<b>Puntos obtenidos</b>
<b>FAUSAC</b>	189
<b>CENGICAÑA</b>	451
<b>TOTAL</b>	<b>640</b>

Fuente: Producto del trabajo desarrollado