

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE GRADUACIÓN



CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS SUELOS DE LAS
ÁREAS PRODUCTIVAS DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL
NORTE

EDDY JOSUÉ ZULETA AX

COBÁN, ALTA VERAPAZ, AGOSTO DE 2 015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

INFORME FINAL DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL
SUPERVISADA, REALIZADA EN EL CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE

PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

POR
EDDY JOSUÉ ZULETA AX
201044429

COMO REQUISITO A OPTAR AL TÍTULO DE TÉCNICO EN
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COBÁN ALTA VERAPAZ, AGOSTO DE 2 015

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO

PRESIDENTE: Lic. Zoot. M.A. Fredy Giovani Macz Choc

SECRETARIA: Lcda. T.S. Floricelda Chiquin Yoj

REPRESENTANTE DE DOCENTES: Ing. Geol. César Fernando Monterroso

REPRESENTANTE DE EGRESADOS: Ing. Agr. Julio Oswaldo Mendez Morales

REPRESENTANTE DE ESTUDIANTES: Br. Fredy Enrique Gereda Milián

PEM. César Oswaldo Bol Cú

COORDINADOR ACADÉMICO

Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales

COORDINADOR DE LA CARRERA

Ing. Agr. David Salomón Fuentes Guillermo

COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

COORDINADOR: Ing. Agr. Edgar Armando Ruiz Cruz

SECRETARIO: Ing. Agr. David Salomón Fuentes Guillermo

VOCAL: Ing. Agr. Gustavo Adolfo García Macz

REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO

Ing. Agr. Gustavo Adolfo García Macz

REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. Agr. David salomón Fuentes Guillermo

ASESOR

Ing. Agr. Alex Ernesto Chen Chiquin



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Cobán, A.V., 14 de mayo 2015.
Ref.: 15-A-108/2015

Señores
Miembros de la Comisión de
Trabajos de Graduación de
Práctica Profesional Supervisada
Carrera de Agronomía
CUNOR

Señores:

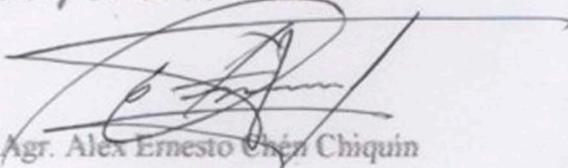
Por este medio informo a ustedes que en mi calidad de Asesor del Trabajo de Graduación del Informe de la Práctica Profesional Supervisada del estudiante **Eddy Josué Zuleta Ax**, supervisé la fase final de campo y he revisado el Informe Final de su investigación titulado **“Caracterización física y química de los suelos de las áreas productivas del Centro Universitario del Norte.”**

Al respecto puedo indicar que a mi juicio, el informe reúne las calidades requeridas por la Carrera, por lo que recomiendo se le de el trámite respectivo para ser aprobado como Informe Final de PPS.

Atentamente,



Id q enseñad a todos


Ing. Agr. Alex Ernesto Chén Chiquín
Asesor

c.c. archive



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Cobán, A.V., 14 de mayo de 2015.
Ref. 15-A-112/2015

Señores
Miembros de la Comisión de
Trabajos de Graduación de
Práctica Profesional Supervisada
Carrera Agronomía
CUNOR

Estimados señores:

Por este medio remito el Trabajo de Graduación del Informe de Práctica Profesional Supervisada titulado "Caracterización física y química de los suelos de las áreas productivas del Centro Universitario del Norte." Dicho trabajo es presentado por el estudiante **Eddy Josué Zuleta Ax** y cumple con las sugerencias y/o correcciones formuladas por la Comisión de PPS, por lo que se solicita continuar con el trámite respectivo.

Atentamente,



"Dios y enseñad a todos"

[Signature]
Ag. M. E. David Salomon Fuentes Guillermo
Revisor de Informe Final Trabajos de Graduación a Nivel Técnico
Carrera Agronomía -CUNOR-

c.c. archivo



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Cobán, A.V., 15 de mayo de 2015
Ref. 15-A-116/2015

Señores
Miembros de la Comisión de
Trabajos de Graduación de
Práctica Profesional Supervisada
Carrera Agronomía
CUNOR

Estimados señores:

Por este medio remito el Informe Final de Investigación de Práctica Profesional Supervisada titulado: **“Caracterización física y química de los suelos de las áreas productivas del Centro Universitario del Norte.”**

Dicho trabajo es presentado por el estudiante **Eddy Josué Zuleta Ax** y de acuerdo a mi opinión cumple satisfactoriamente con las normas de redacción y estilo; por lo que se solicita continuar con el trámite respectivo.

Atentamente:



“Id y enseñad a todos”

Agr. M.Sc. Gustavo Adolfo García Macz
Revisor de Redacción y Estilo

Informes Finales Trabajos de Graduación a Nivel Técnico
Carrera Agronomía -CUNOR-

c.c. archivo



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Ref. 15-A-125/2015

Cobán, A.V., 25 de mayo de 2015

Licenciado

Fredy Giovani Macz Choc
Director del CUNOR

Señor Director:

Adjunto remito el Trabajo de Graduación del Informe de Práctica Profesional Supervisada titulado **“Caracterización física y química de los suelos de las áreas productivas del Centro Universitario del Norte.”**

Dicho trabajo es presentado por el estudiante **Eddy Josué Zuleta Ax** y de acuerdo a la opinión de las diferentes comisiones responsables de su revisión y del suscrito, cumple con los requisitos para ser aceptado como tesis de pre-grado; por lo que solicito se le de el trámite correspondiente a fin de que la estudiante Zuleta Ax, pueda someterse al examen para optar al título de Técnico en Producción Agrícola.

Atentamente,



“Id y enseñad a todos”

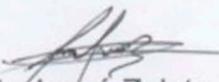
Ing. Agr. Edgar Armando Ruiz Cruz

Coordinador Comisión de Trabajos de Graduación a Nivel Técnico
Carrera de Agronomía -CUNOR-

c.c. archivo

HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento a lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el informe final de práctica Profesional Supervisada: "Caracterización física y química de los suelos de las áreas productivas del Centro Universitario del Norte.", como requisito previo a optar al título profesional de Técnico Universitario en Producción Agrícola


Eddy Josué Zuleta Ax
Carné: 201044429

RESPONSABILIDAD

“La responsabilidad del contenido de los trabajos de graduación es del estudiante que opta al título, del asesor y del revisor, la Comisión de Redacción y Estilo de la carrera, es la responsable de la estructura y forma.”

Aprobando en punto SEGUNDO, inciso 2.4, subinciso 2.4.1 del Acta No. 17-2012 de Sesión extraordinaria de consejo Directivo de fecha 18 de julio del año 2012

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	Pág.
INTRODUCCIÓN	i
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	5
	7

CAPÍTULO 1 MARCO TEORÍCO

1.1	Antecedentes	9
1.2	Revisión de literatura	11
1.2.1	¿Qué es el suelo?	11
1.2.2	Propiedades físicas del suelo	12
	a. Textura	13
	1) Clases de textura	14
	b. Estructura	15
	c. color	16
	1) Hematita	17
	2) Goethita	17
	d. Consistencia	18
	e. Relaciones de peso, espacio poroso y aire	20
1.1.3	Propiedades químicas de los suelos	20
	f. pH del suelo	21
	g. Conductividad Eléctrica	22
	h. Capacidad de intercambio catiónico	24

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1	Fase de gabinete	27
2.1.1	Descripción general del área	27
	a. Ubicación geográfica	27
	b. Características climáticas	28
	c. Características de suelos	28

2.2	Fase de campo	29
2.2.1	Reconocimiento y determinación de unidades de estudio	29
2.2.2	Variables de estudio	32
2.2.3	Toma de datos	32
2.3	Fase de laboratorio	33
2.4	Materiales y equipo	34

CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1	Resultados	37
3.1.2	Caracterización física de los suelos	37
a.	Determinación de las características morfofísicas	37
b.	Determinación del color de los horizontes	42
c.	Determinación de agua gravimétrica	46
d.	Determinación de textura (bouyoucos)	48
3.1.3	Caracterización química de suelos	50
a.	pH y conductividad eléctrica	51
b.	Determinación de aluminio intercambiable	53
c.	Reacción al ácido clorhídrico	55
d.	Análisis de fertilidad	55
3.2	Discusión de Resultados	58
	Conclusiones	73
	Recomendaciones	77
	Bibliografía	79
	Anexos	81

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Evaluación agronómica del pH	22
2. Interpretación agronómica de la C.E	24
3. Nomenclatura y características de cada unidad de estudio	30
4. Metodologías empleadas en laboratorio	34
5. Principales características morfo-físicas de la unidad productiva I	38
6. Principales características morfo-físicas de la unidad productiva II	38
7. Principales características morfo-físicas de la unidad productiva III	39
8. Principales características morfo-físicas de la unidad productiva IV	39
9. Principales características morfo-físicas de la unidad productiva V	40
10. Principales características morfo-físicas de la unidad productiva VI	40
11. Principales características morfo-físicas de la unidad productiva VII	41
12. Color del suelo por medio de la escala Munsell	42
13. Determinación de agua gravimétrica	47
14. Clases texturales por el método de Bouyoucus	49
15. pH y conductividad eléctrica	51
16. Acidez intercambiable	53
17. Cal necesaria para neutralizar la acidez intercambiable	54
18. Análisis de fertilidad	56
19. Niveles adecuados de nutrientes en el suelo según AGRILAB	57
20. Actividades propuestas para el manejo de las unidades productivas	69
21. Volumen extraído de las soluciones madres de Ca, Mg y K	106
22. Concentración en partes por millón de los estandares	107

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
1. Tipos de estructuras del suelo	16
2. Moteado esférico en la unidad de estudio IV	87
3. Cajuela en la unidad de estudio VIII	87

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Triángulo para determinar porosidad	88
2. Triángulo para determinar punto de marchitez permanente	89
3. Triángulo para determinar capacidad de campo	90
4. Triángulo para determinar Conductividad hidráulica	91
5. Formas del suelo para inferir en la textura al tacto	97
6. Triángulo textural (U.S.D.A)	102

ÍNDICE DE MAPAS

	Pág.
1. ubicación de las unidades de estudio	31
2. Áreas de las unidades de estudio	81
3. Pendientes	82
4. Textura en el estrato A	83
5. pH en el estrato A	84
6. Profundidad efectiva	85
7. Capacidad de intercambio catiónico	86

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

	Pág.
1. AGRILAB (Laboratorio Agrícola)	22
2. ANACAFÉ (Asociación Nacional del Café)	68
3. C.E (Conductividad eléctrica)	23
4. C.I.C (Conductividad eléctrica)	57
5. CIMMYT (Centro Internacional de mejoramiento de Maíz y trigo)	37
6. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura)	61
7. Meq (Miniequivalentes gramos)	54
8. U.S.D.A (Departamento de agricultura de los Estados Unidos)	15
9. SAGARPA (Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación)	71

RESUMEN

El estudio de suelos presentado en este documento, tiene como propósito, resaltar la importancia de conocer las características físicas y químicas de los suelos de la granja agrícola del Centro Universitario del Norte, para poder orientar y adecuar prácticas agronómicas que garanticen una adecuada relación suelo/planta, que permita potencializar eficientemente los rendimientos de cultivo.

En el trabajo realizado se llegó a determinar 8 unidades de estudio en función del uso del suelo y más específicamente de las especies vegetales que se cultivan en la granja agrícola del Centro Universitario del Norte. En cada unidad de estudio se llegó a determinar los siguientes parámetros físicos y químicos: profundidad efectiva, consistencia, color, estructura, agua gravimétrica, textura, potencial de hidrogeno, conductividad eléctrica, presencia de CaCO_3 , acidez intercambiable y elementos nutritivos. La medición de estas características se adecuó a las condiciones de trabajo del laboratorio de suelos y aguas del Centro Universitario del Norte,

En las unidades de estudio se llegaron a encontrar predominancia de la clase textural franco arcilloso (esta propiedad es útil para inferir en otras propiedades hidrofísicas del suelo) suelos ligeramente ácidos, horizontes profundos y orgánicos, baja concentración de sales y nutrientes (baja C.I.C), adecuada penetrabilidad de raíces, y solamente un estrato que presentó Reacción al HCl. al 10% v/v.

INTRODUCCIÓN

La productividad es un concepto inherente para garantizar la rentabilidad en la producción agrícola, es por ello que es de suma importancia tener toda la racionalidad posible sobre las condiciones en las cuales se desarrolla un cultivo. Uno de esos factores o condiciones de carácter intrínseco, lo constituye el suelo o el sistema suelo ya que es el sustrato que proporciona nutrimentos y soporte a la planta, debido a esta importancia que constituye el suelo es imprescindible conocer sus propiedades para poder de esta manera tener un criterio técnico para establecer un cultivo o propiciar un manejo agronómico en función de las características físicas y químicas del suelo.

Una producción sostenible está estrechamente relacionada a la aptitud del suelo, es decir a la capacidad de soportar distintos usos sin comprometer su degradación. Muchas veces no se cuenta con la información edáfica necesaria que garantice su buen uso adaptado a la cobertura vegetal productiva, incluso en el Centro Universitario del Norte, el manejo de las unidades productivas no están muchas veces en congruencia a las características físicas y químicas de los mismos, es decir, que no se toma en consideración un criterio técnico para el establecimiento de cultivos en las unidades productivas.

Las propiedades físicas y químicas en los suelos permiten determinar la capacidad de uso de un suelo, existen diferentes rangos cualitativos y cuantitativos de dichas propiedades que permiten la viabilidad de un cultivo para la producción, estas propiedades se pronuncian como factores condicionantes para la mayoría de cultivos debido a que cada especie vegetal difiere en cuanto

a sus preferencias de adaptación y desarrollo óptimo según sean las condiciones de suelo y de clima.

En el presente estudio se identificaron 8 unidades productivas dentro de la granja agrícola del Centro Universitario del Norte, en las cuales se determinaron los siguientes parámetros físico químicos: color, estructura, textura, consistencia, profundidad efectiva, potencial de hidrogeno, conductividad eléctrica, reacción al ácido clorhídrico, acidez intercambiable y análisis de fertilidad; con el objetivo primordial de dar a conocer las condiciones de suelo prevalecientes en cada unidad de estudio para facilitar las inferencias en cuanto a uso y/o manejo.

Para la determinación de los parámetros físicos y químicos de suelos, existen diversas metodologías de campo y laboratorio que permiten tener una visión aproximada de las condiciones en las cuales prevalece un suelo, dichas características de suelos difieren enormemente según sean las condiciones de formación del mismo, para el caso de las unidades de uso agrícola del CUNOR las diferencias son parcialmente significativas, ya que se encuentran unidades de estudio colindantes con similares características y otras más o menos colindantes que difieren en cuanto a su composición física y química.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las características físicas y químicas determinan las posibilidades de uso y manejo que se le pueden dar a las diferentes unidades de suelo. Un desconocimiento de estas características hace que se trabaje de forma empírica corriendo el riesgo de dar un mal uso del recurso suelo, para el caso de la granja agrícola del Centro Universitario del Norte no se cuenta con un documento escrito que reflejen las propiedades físicas-químicas y permita una planificación y uso adecuado de las unidades productivas

Los estudiantes y personal de campo de la granja de la carrera de agronomía del Centro Universitario del Norte no trabajan en función de las propiedades prevalecientes en los suelos de uso agrícola, debido a que aplican posiblemente decisiones de manejo inadecuadas a las potencialidades productivas de los suelos, condicionadas mediante sus características fisicoquímicas

Algunos de los principales factores que limitan la productividad en los suelos de la granja agrícola del Centro Universitario del Norte se asocian a que no existe una planificación de prácticas agronómicas en base a las condiciones físicas y químicas prevalecientes.

JUSTIFICACIÓN

El desconocimiento *in situ* de las características de los suelos, ocasiona que el establecimiento de un cultivo o su manejo agronómico, se encuentre en función de experiencias de terceros, paquetes tecnológicos sugeridos por alguna institución o por consultas bibliográficas. Lo que genera un sesgo a la hora de querer adaptar dichos paquetes a las condiciones específicas del -CUNOR-, al no considerar la adaptación de los paquetes tecnológicos a la heterogeneidad del suelo. Debido a este aspecto es importante contar con información primaria de las características físicas y químicas de los suelos, que permita adaptar un manejo o establecimiento de cultivo a las condiciones de las unidades productivas del -CUNOR-, ya que si no se realiza difícilmente se puede aprovechar todo el potencial genético del cultivo.

Por la falta de información técnica referente a las propiedades físicas y químicas de los suelos de la granja del Centro Universitario del Norte, que sirva para proporcionar información que determine el buen manejo de dicho recurso, se ve la necesidad de plantear y realizar un estudio de caracterización de suelos; que permita superar esa necesidad de información para el adecuado manejo o establecimiento de algún proyecto agrícola, para poder darle un mejor uso al suelo y así garantizar la conservación de su potencial productivo.

La intensificación en la actividad productiva, debe ir de la mano con la determinación de aspectos físicos y químicos en congruencia con la región bioclimática, para aplicar las medidas correctivas pertinentes determinantes en el crecimiento vegetal y conservación de la capacidad productiva del suelo. De acuerdo con lo anterior se hace necesario realizar un estudio edáfico, en el

Centro Universitario del Norte que proporcione información acerca de las principales características físicas y químicas de las unidades productivas de la Granja Agrícola, para tomar decisiones adecuadas de manejo, que permitan la sostenibilidad productiva de dichas unidades.

OBJETIVOS

General

Proporcionar información que describa las características químicas y físicas de los suelos de las unidades productivas de la granja agrícola del Centro Universitario del Norte, para la planificación y manejo de las mismas.

Específicos

Conocer a nivel de detalle la heterogeneidad u homogeneidad del suelo de la granja agrícola del Centro Universitario de Norte en cuanto a sus niveles de fertilidad y propiedades físico químicas, por medio de la creación de mapas temáticos.

Determinar cuáles son los cultivos agrícolas que son aptos para cada una de las unidades productivas de la granja agrícola del Centro Universitario del Norte.

Priorizar las unidades en las cuales es necesaria la intervención inmediata.

Establecer recomendaciones y líneas de acción generales sobre el uso y/o manejo de las unidades productivas en función de las características físicas y químicas prevalecientes en las unidades productivas.

CAPITULO 1 MARCO TEORICO

1.1 Antecedentes

Después de haber realizado una consulta de fuentes secundarias y primarias no se ha encontrado documentación sobre las características físicas y químicas de las unidades productivas de la Granja Agrícola del -CUNOR-, por lo tanto el presente trabajo será de contribución para la planificación del uso del suelo en las unidades productivas de la Granja Agrícola del -CUNOR-. Mas sin embargo si se ha encontrado información secundaria relacionada al presente estudio, la cual es presentada a continuación.

Mauricio Vera, Hilda rosales y Nirda Ureña¹ desarrollaron en Maracaibo, Venezuela un estudio técnico denominado Caracterización físico-química de los suelos cacaoteros de la zona sur del lago de Maracaibo, Venezuela, este estudio fue orientado con la finalidad de generar información de utilidad para los pequeños productores cacaoteros de la zona del lago de Maracaibo, principalmente información sobre prácticas de manejo y para el mejoramiento y rehabilitación de plantaciones de cacao. Para la determinación de las unidades de estudio estos autores no han sido muy explícitos debido a que solamente hablan de un alto número de agricultores interesados en rehabilitar viejas plantaciones y expandir el cultivo y que el criterio de muestra fue básicamente en base a fincas cacaoteras ubicadas sobre unidades geomorfológicas y de suelos de

¹ Mauricio vera, Hilda rosales y Nirda Ureña. *Caracterización físico-química de los suelos cacaoteros de la zona sur del lago de Maracaibo, Venezuela* <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24532/2/articulo41-2-4.pdf> (17 de diciembre de 2 014)

importancia espacial, en las cuales se eligieron 5 parcelas de dimensiones no mencionadas y para la toma de datos se hicieron calicatas en cada parcela.

Las variables evaluadas fueron las siguientes: textura (bouyoucos), densidad aparente (terrón parafinado), retención de humedad a 0.033 y 1.515 Mpa en ollas de presión, PH (potenciómetro), Carbono organico (Walkley y Black), nitrógeno total (kjedahl), Ca, Mg y K (espectrofotometría de absorción atómica), capacidad de intercambio catiónico (método de acetato de amonio), acidez intercambiable (Yuan) y fosforo asimilable (olsen).

Los resultados en cuanto a las características morfológicas de suelos fue que los suelos presentaron escaso desarrollo pedogenetico, horizontes superficiales de 20 cm de color pardo con diferencias en el valor y croma, agregados subangulares medios a finos de moderada pedalidad, friables y ligeramente adhesivos y plásticos, estructura de bloques angulares medios a finos y consistencia muy friable.

Las características físicas de los suelos fueron granulometrías dominadas por fracción de arena, contenidos de arcilla muy bajos, clases franco limosas, porosidad total de 36% a 45%, baja retención de humedad debido a la fracción arenosa.

En cuanto a las características químicas los suelos presentaron reacción muy acida en los primeros 30 centímetros, acidez intercambiable alta debido al material parental constituido por rocas ígneas acidas, horizontes superficiales con carbono orgánico en concentraciones medias, horizontes inferiores con escasa concentración de carbono orgánico, la distribución del nitrógeno total fue muy similar a la del carbono orgánico,

baja capacidad de intercambio catiónico, fosforo asimilable muy bajo excepto en una parcela.

Las conclusiones fueron que a pesar de del carácter arenoso y la baja retención de humedad del suelo, este almacena la cantidad suficiente para las plantas debido a que en esa región las lluvias están muy bien distribuidas. Que el principal problema es la acidez del suelo, baja concentración de carbono orgánico y baja fertilidad debido a la fracción arenosa del suelo todo esto resalto la necesidad de recomendar la aplicación de fertilizantes y enmiendas.

Este estudio resalta la importancia del suelo ya que en función de las características del mismo se puede tomar la tarea de tomar decisiones en base a elementos de juicio fundamentados en las determinaciones de las características físicas y químicas de los suelos, en este caso los datos de campo fueron analizados para concluir que el problema en esa región era básicamente la fertilidad, por lo cual se recomendaron practicas de enmiendas y fertilización

1.2 Revisión de literatura

1.2.1 ¿Qué es el suelo?

Desde una percepción agronómica el suelo es considerado como el material o sustrato de nutrimento a las plantas, es decir que la definición general de suelo varía en función de la percepción de las personas; según Henry d. Footh el suelo se define como: La superficie suelta de la tierra y luna, distinguiéndola de la roca sólida²

² Henry D. Footh. *Fundamentos de la Ciencia del suelo* (México: Compañía Editorial Continental, 1 997), 13.

El mismo autor antes mencionado describe al suelo desde un punto de vista evolutivo, lo define como:

“la materia mineral no consolidada de la superficie terrestre que ha estado expuesta y ha sido afectada por factores genéticos y ambientales de material materno, clima (incluyendo los efectos de la temperatura y humedad), macro y microorganismos y topografía, actuando todos ellos durante un determinado tiempo y conduciendo a la formación de un producto, el suelo, que difiere del material de que se deriva en muchas propiedades y características físicas, químicas y biológicas”³

Desde un punto de vista personal y con base a lo mencionado por el autor anteriormente; El suelo es un sistema dinámico conformado por una serie de factores biológicos, meteorológicos e inorgánicos que en su conjunto hacen lo que denominamos comúnmente como suelo. Estos factores son principalmente los minerales, la materia en descomposición, los microorganismos y los factores ambientales o meteorológicos que tienen una función catalizadora que determina el grado de interacción entre los factores antes mencionados y por ende determina la velocidad de formación del suelo. En otras palabras y haciendo una analogía con una reacción química los reactivos son conformados por los factores inorgánicos y biológicos, el catalizador de la reacción lo conformarían los factores medioambientales y como producto final se da el suelo; entonces el suelo es el producto de la reacción.

³ *Ibíd.*, 17.

1.2.2 Propiedades físicas del suelo

Estas propiedades según Henry Footh inciden en la capacidad de sostén, drenaje, la plasticidad, la facilidad de penetración de raíces, la aireación, la retención de nutrientes y la capacidad de almacenamiento de humedad⁴. Es por ello que el conocimiento de los valores de las propiedades físicas de un suelo pueden ser usadas para estimar o predecir el comportamiento y desarrollo del cultivo a través del suelo según sean las exigencias del cultivo.

Entre las principales características físicas se puede hacer mención de las siguientes.

a. Textura

Según Alexandra Ugarte la textura es una de las características más permanentes en un suelo⁵, esto quiere decir que la modificación de esta característica es muy lenta y compleja y según la misma autora esta característica la define como:

“la proporción de partículas minerales de diverso tamaño presentes en el suelo” las cuales se pueden clasificar dentro de los siguientes grupos: fragmentos Rocosos (diámetro superior a 2mm), arena (diámetro entre 0,05 a 2 mm), limo (diámetro entre 0,002 y 0,5 mm), y arcilla (diámetro inferior a 0,002 mm)”⁶.

⁴ Ibíd.

⁵ Alexandra Ugarte. *Clases de textura*. <http://suelooh.blogspot.es/1196728320/> (03 de octubre de 2 012)

⁶ Ibíd.

En base a lo mencionado anteriormente por la autora se puede inferir en que la textura es una de las características más importantes de un suelo debido al carácter permanente que posee, por lo cual es de suma importancia considerar para el establecimiento de un cultivo la correlación entre la textura de un suelo y las exigencias de cultivo en cuanto a las características texturales.

Para las diferentes combinaciones de las tres partículas principales (arenas, limos y arcillas) formadoras del suelo, existe un sistema de clasificación de textura el cual se describe a continuación.

1) Clases de texturas

Según Alexandra Ugarte la utilidad e importancia de la clasificación de las texturas radica en lo siguiente:

“La clasificación de los nombres de las clases de textura se utilizan para identificar grupos de suelos con mezclas parecidas de partículas minerales. Los suelos minerales pueden agruparse de manera general en tres clases texturales que son: las arenas, los limos y las arcillas, y se utiliza una combinación de estos nombres para indicar los grados intermedios. Por ejemplo, los suelos arenosos contienen un 70 % o más de partículas de arena, los areno-limosos contienen de 15 a 30% de limo y arcilla. Los suelos arcillosos contienen más del 40% de partículas de arcilla y pueden contener hasta 45 % de arena y hasta 40 % de limo, y se clasifican como arcillo-arenosos o arcillo-limosos”⁷

⁷ Ibíd.

La importancia que da entender la autora es que con base a un sistema de clasificación de texturas se puede dar a entender los porcentajes de las diferentes partículas constitutivas del suelo y de esta manera poder comparar la composición textural de dos o más suelos.

Para determinar el tipo de suelo de acuerdo al porcentaje de sus componentes minerales, es decir, para hacer la clasificación de las texturas se utiliza el denominado Triángulo de textura de suelos del U.S.D.A (véase anexo 3. metodología 3.7), una vez que se ha determinado cuantitativamente la proporción de las partículas constitutivas de un suelo. Esta propiedad del suelo se ha caracterizado como una de las más importantes ya que permite hacer una inferencia comparativa para estimar otras variables hidrofísicas del suelo.

b. Estructura

Según Antonio Brack y Cecilia Mendiola esta propiedad es la forma en que las partículas del suelo se reúnen para formar agregados⁸ De acuerdo a lo anterior existe una tipología de estructuras ejemplificadas en la siguiente Fotografía.

⁸ Antonio Brack, Cecilia Mendiola. *Propiedades físicas del suelo*. http://www.peruecologico.com.pe/lib_c18_t03.htm (16 de octubre de 2 012)

FOTOGRAFÍA 1 TIPOS DE ESTRUCTURAS DEL SUELO



Fuente: Disponible en: <http://ecomerge.blogspot.com/2010/05/what-soil-aggregates-are-and-its.html> (16 de octubre de 2012)

Entonces la estructura del suelo se utiliza principalmente para estimar el flujo del agua a través del suelo, se considera como puntos extremos a la estructura laminar que ocasiona el menor flujo del agua a través del suelo y la estructura migajosa que es la que permite la mayor fluidez del agua a través del mismo.

c. Color

El color puede demostrar según Henry D. Footh. El contenido de materia orgánica, la condición de drenaje, la aeración, y los cambios químicos que han sufrido los minerales, en especial el hierro (Fe).⁹

⁹ Henry D. Footh. *Fundamentos de la Ciencia del suelo* (México: Compañía Editorial Continental, 1997), 66.

Debido a la estrecha relación que tiene el color del suelo con el hierro a continuación se describen los principales óxidos de hierro.

El hierro liberado por la meteorización se precipita en formas amorfas que paulatinamente se cristalizan¹⁰. Entre las formas cristalinas principales se pueden mencionar las siguientes:

1) Hematita (α Fe₂O₃)

Según Hans W. Fassbender¹¹ este mineral le confiere a los suelos una coloración rojo claro y se forma en condiciones de PH bajos que favorece la deshidratación de los geles de Fe³⁺.

2) Goethita (α FeOOH)

Según Hans W. Fassbender la Goethita posee las siguientes características:

“Se cristaliza en forma de agujas y confiere a los suelos un color marrón, marrón amarillento o marrón rojizo. Se origina por precipitaciones de soluciones de Fe³⁺ y a veces por oxidación de soluciones de Fe²⁺ bajo condiciones de alto contenido en anhídrido carbónico. A veces presenta reemplazo isomórfico de los átomos de Fe por átomos de Al. Se le encuentra en las concreciones de ciertos latosoles. La goethita

¹⁰ *Ibíd.*

¹¹ Hans W. Fassbender. *Química de Suelos con énfasis en suelos de América latina* (Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1 982), 37.

amarillenta finamente pulverizada se llama limonita, se desarrolla en regiones templadas y húmedas”.¹²

Estos óxidos Hematita y goethita, al envejecer disminuyen el tamaño de sus partículas, su contenido de agua, su solubilidad y su actividad.¹³

Las condiciones ambientales en las cuales prevalece un suelo y el color son útiles para inferir en el tipo de minerales o rocas que han sido parte de la formación del suelo y por ende conocer las propiedades que puede tener determinado suelo.

d. Consistencia

Según Warren Forsythe¹⁴ la consistencia es una de las características físicas más sobresalientes, debido a que en la determinación de esta característica se evalúa la plasticidad del suelo ante las fuerzas aplicadas y por ende se puede comprender el comportamiento del suelo al aplicar técnicas de labranza. A continuación se hace referencia de las premisas teóricas de Warren Forsythe con relación a la consistencia.

“Es la resistencia del suelo a la deformación o ruptura y está determinada por las propiedades de cohesión y adherencia, se refiere a la magnitud y naturaleza de las fuerzas que operan entre partículas. La consistencia es importante para fines de labranza y tránsito”.¹⁵

¹² *Ibíd.*, 38

¹³ *Ibíd.*

¹⁴ Warren Forsythe. *Física de Suelos* (Costa Rica: Estilos en Textos, 1 975), 70

¹⁵ *Ibíd.*

“La consistencia del suelo es una de sus características más sobresalientes, pero de las más difíciles de medir. El término describe la respuesta del suelo a fuerzas externas tendientes a deformarlos. Presiones aplicadas pueden causar flujo, fractura o compresión del suelo. La naturaleza y la extensión de la deformación dependen de: la clase de suelo, su condición física, el contenido de agua, la magnitud de la fuerza aplicada y la manera en que la fuerza se aplica”.¹⁶

“La humedad afecta la consistencia del suelo. La mayoría de los suelos son adhesivos y suaves cuando se saturan; en ese estado pueden deformar fácilmente con la influencia de fuerzas externas o bajo su propio peso. Cuando un suelo está seco resiste la deformación y puede ser lo suficiente firme para soportar grandes fuerzas.”¹⁷

La determinación de la consistencia entonces puede ser muy subjetiva ya que las presiones aplicadas no responden a parámetros cuantitativos sino más bien son parámetros cualitativos de resistencia del suelo, mas sin embargo la consistencia permite hacer una estimación de la dureza o suavidad del suelo.

¹⁶ *Ibíd.*

¹⁷ *Ibíd.*, 71

e. Relaciones de peso, espacio poroso y aire

Según Henry D.¹⁸ Footh el peso y el espacio poroso están en función de la textura y la estructura del suelo. La densidad del suelo es inversamente proporcional al espacio poroso, esto quiere decir que si la densidad aumenta el espacio poroso disminuye y viceversa, “esta relación influye en el espacio donde se almacenan y se mueven el aire y el agua, Las raíces de las plantas y otros organismos del suelo.”¹⁹ En el caso de que un suelo sea demasiado denso las condiciones se vuelven propicias para que se presenten condiciones hidromórficas que puedan ocasionar una sequía fisiológica en la planta.

1.2.3 Propiedades químicas de los suelos

A continuación se presentan algunas generalidades sobre la solubilización y lixiviación de los principales compuestos químicos que conforman el suelo, según la -FAO-

“La meteorización del material de partida por el agua determina, en gran medida, la composición química del suelo que por último se ha producido. Algunas sustancias químicas se *Lixivian* en las capas inferiores del suelo donde se acumulan, mientras que otras sustancias químicas, que son menos solubles, quedan en las capas superiores del suelo. Las sustancias químicas que se eliminan con más rapidez son los cloruros y los sulfatos, a los que siguen el calcio, el sodio, el magnesio y el potasio. Los silicatos y los óxidos del hierro y el

¹⁸ Henry D. Footh. *Fundamentos de la Ciencia del suelo* (México: Compañía Editorial Continental, 1 997), 53.

¹⁹ *Ibíd.*

aluminio se descomponen con mucha lentitud y apenas se lixivian”.²⁰

Debido a que el aluminio se lixivian con mucha lentitud es necesario llevar un monitoreo periódico de la acidez intercambiable en los suelos para propiciar las medidas correctivas.

A continuación se presentan las principales propiedades químicas de los suelos.

a. pH del suelo

Según una fuente de consulta electrónica la acidez del suelo se determina por la concentración de protones en la solución del suelo, es el logaritmo cambiado de signo de la solución de protones en el suelo: $\text{pH} = -\log (\text{H})$ ²¹

A continuación se da a conocer un cuadro que describe la evaluación agronómica del pH, es decir la categorización del en relación al efecto que este causa en las plantas, las categorías extremas y fuertes son prácticamente inaceptables para cualquier vegetal.

²⁰ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO-. *Propiedades químicas de los suelos*. ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s04.htm (03 de octubre de 2 012)

²¹ Las propiedades químicas del suelo. *El pH en el suelo*. <http://www.slideshare.net/sue los09 /propiedades-químicas>, (30 de septiembre de 2 012)

CUADRO 1 EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL PH

PH	Evaluación Agronómica
<4.5	Extremadamente acido
4.5 -5.0	Fuertemente Acido
5.1-5.5	Moderadamente Acido
5.6-6.0	Ligeramente acido
6.1-7.2	Neutral
7.3-7.8	Moderadamente alcalino
7.9-8.4	Fuertemente alcalino
>8.5	Extremadamente alcalino

Fuente: Guía práctica para la interpretación de análisis de suelos.
-AGRILAB-

El PH Ejerce una gran influencia en la asimilación de elementos nutritivos, el intervalo comprendido entre 6 y 7 es el más adecuado para la asimilación de nutrientes.

Según una fuente de consulta electrónica los microorganismos del suelo proliferan con valores de pH medios y altos, su actividad se reduce con pH menor a 5.5.²²

b. Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica nos sirve para medir la concentración total de sales en una solución, pero no indica qué sales están presentes. La CE por lo regular se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens por centímetro)²³

Según una fuente de consulta electrónica la concentración de las sales en la solución del suelo en

²² *Ibíd.*

²³ Salinidad den cultivos agrícolas. *Conductividad Eléctrica* http://www.gatfertiliquidos.com/salinidad_cultivos.pdf (30 de septiembre de 2 012)

capacidad de campo será menor, cuanto más agua sea capaz de retener el suelo²⁴

En base a lo documentado anteriormente sobre la conductividad eléctrica y según información obtenida de las clases magistrales del curso de suelos II de la carrera de Agronomía del -CUNOR-, La importancia de la CE radica básicamente en tres aspectos importantes, Los cuales son mencionados a continuación.

El primero aspecto es porque cada cultivo posee una particular susceptibilidad a la alta o baja concentración de sales en el suelo, condicionando el desarrollo y productividad del cultivo. El segundo aspecto es que la alta concentración de sales en el suelo fomenta el crecimiento y desarrollo de nematodos (debido a que estos organismos son de origen marino) y por ultimo como tercer aspecto, es debido a que una sal es un compuesto químico formado por aniones y cationes, por lo cual se puede estimar relativamente el nivel de fertilidad en un suelo, ya que al romperse el enlace de una sal se libera un catión (suponiendo un catión esencial) y este puede reaccionar con otros tipos de elementos o quedar libre en la solución del suelo lo que potencialmente puede ser aprovechado por la planta.

Es importante hacer una interpretación agronómica de la conductividad eléctrica por lo cual se presenta a continuación una guía para la interpretación de la C.E según -AGRILAB-

²⁴ *Ibíd.*

CUADRO 2
ESCALA Y GUÍA PARA LA INTERPRETACIÓN
AGRONÓMICA DE LA CONCENTRACIÓN DE
SALES

C.E (μ S/cm)	Interpretación
0, 00 – 200	Bajo contenido de sales. La disponibilidad de algunos nutrientes puede estar baja. Se presentan estos niveles en suelos arenosos donde hay mucha lixiviación de nutrientes o en suelos donde hay una alta precipitación pluvial.
210 - 400	Nivel adecuado de sales. Estos niveles generalmente se presentan de forma natural en los suelos alcalinos o arcillosos.
410 - 800	Nivel alto para cultivos permanentes. Son niveles adecuados en cultivos bajo fertirriego o fertilización constante.
810 – 1 400	Nivel alto para cultivos sensibles, en especial almácigos o plantas pequeñas. Son niveles aceptables para cultivos resistentes a sales.
1 410 – 2 000	Extremadamente alto. Nivel de peligro para la mayoría de cultivos.
> 2 000	Niveles Tóxicos

Fuente: Guía práctica para la interpretación de análisis de suelos. AGRILAB. Año 2 012

c. Capacidad de intercambio catiónico

Según Hans W. Fassbender explica y define al intercambio catiónico como:

“los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose un equilibrio entre ambas fases. Estos fenómenos se deben a las propiedades específicas del complejo coloidal del suelo que tienen

cargas electrostáticas y una gran superficie. La materia orgánica, las arcillas y los hidróxidos funcionan como “cambiadores”.²⁵

“Como cationes cambiables en el suelo se presentan principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , e H^+ ellos forman el “enjambre” de iones que cubre el complejo coloidal. La suma de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ cambiables se denominan bases cambiables (valor S) y su porcentaje dentro de la capacidad total de intercambio se llama porcentaje de saturación (valor V). Si el valor V es por ejemplo 75%, indica que la cubierta de iones está compuesta en un 75% por Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ y en un 25 % por H^+ , Al^{3+} y otros elementos cambiables. El H^+ , Al^{3+} y Mn^{2+} cambiables se agrupan bajo la acidez cambiable. La suma de la acidez y de las bases cambiables es la capacidad de intercambios catiónico”.²⁶

Dentro de una percepción personal es común que la capacidad de intercambio catiónico tenga gran relevancia debido a que principalmente funciona como una variable respuesta para determinar la fertilidad de un suelo.

²⁵ Hans W. Fassbender, Química de Suelos con énfasis en suelos de América latina (Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura ,1 982), 119.

²⁶ *Ibíd.*

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

Para la realización del presente estudio de suelos de la Granja Agrícola del -CUNOR-, se llevaron a cabo tres etapas, siendo estas la de gabinete, campo y laboratorio las cuales consistieron en la recopilación de información concerniente a las características del lugar de trabajo, levantamiento en campo y los análisis de muestras de suelo en laboratorio respectivamente.

A continuación se describen cada una de las etapas antes mencionadas.

2.1 Etapa de gabinete

Para esta etapa se hizo imprescindible la búsqueda de fuentes secundarias que proporcionaran datos e información general del área de trabajo.

2.1.1 Descripción general del área

a. Ubicación Geográfica

El estudio de caracterización de suelos se llevó a cabo en las diferentes unidades productivas de la granja agrícola del Centro Universitario del Norte -CUNOR-, que se ubica en la Finca Sachamach, localizada en el municipio de Cobán, Alta Verapaz.

La finca se encuentra aproximadamente a 2 Km del centro de la ciudad de Cobán, y a 210.5 km de la ciudad de Guatemala,

sobre la ruta CA-14 localizada geográficamente entre 15°28'13'' latitud Norte y 90°28'13'' longitud Oeste.

b. Características Climáticas

El estudio realizado se llevó a cabo dentro de las siguientes condiciones climáticas generales:

Altitud	1323 msnm
Temperatura media anual	19.7 °C
Temperatura máxima promedio	25.4 °C
Temperatura mínima promedio	13.8 °C
Días de lluvia promedio	216
Precipitación promedio anual	2,385 mm

c. características de suelos:

Cobán se encuentra geomorfológicamente en las tierras altas sedimentarias y más específicamente dentro de las 7 regiones naturales del país la correspondiente a Tierras calizas altas del norte. Con respecto a la serie de suelos (simmons), Cobán se encuentra dentro de la serie de suelos Tamahú, Cobán y Cárcha,²⁷

²⁷ Ministerio de agricultura ganadería y alimentación –MAGA–, Sistema de información geográfica SIG-MAGA. 2004. Mapa fisiográfico geomorfológico, Mapa Geológico y Mapa de serie de suelos.

2.2 Etapa de campo

2.2.1 Determinación de las unidades productivas

En función del tipo y la edad de cobertura vegetal productiva, que se observó en la granja agrícola del -CUNOR-, se llegaron a determinar un total de ocho unidades productivas, las cuales se constituyeron principalmente de plantas perennes como el cardamomo, café y aguacate; la especie de cultivo predominante es el café, con una cobertura de 4 unidades productivas, desde cafetos nuevos y de recepa de tres años de edad hasta cafetos de más de 20 años de edad.

En el cuadro 2 se muestra la nomenclatura utilizada como referencia para cada unidad productiva y las características de vegetación y pendientes respectivas de cada unidad productiva. Cabe aclarar que dicha nomenclatura no es una clasificación de capacidad de uso del suelo, si no más bien una nomenclatura arbitraria, utilizada para una referencia de ubicación de las diferentes unidades productivas. La pendiente máxima fue encontrada en la unidad productiva III con un 46%, y la pendiente mínima fue del 11% correspondiente a la unidad productiva VI.

Así mismo en el mapa 1 se muestra la ubicación espacial y delimitación de las distintas unidades productivas; por lo cual se realizó un levantamiento topográfico con equipo de precisión sub-métrica, para poder delimitar cada una de las unidades de estudio dentro del polígono general base del Centro Universitario del Norte.

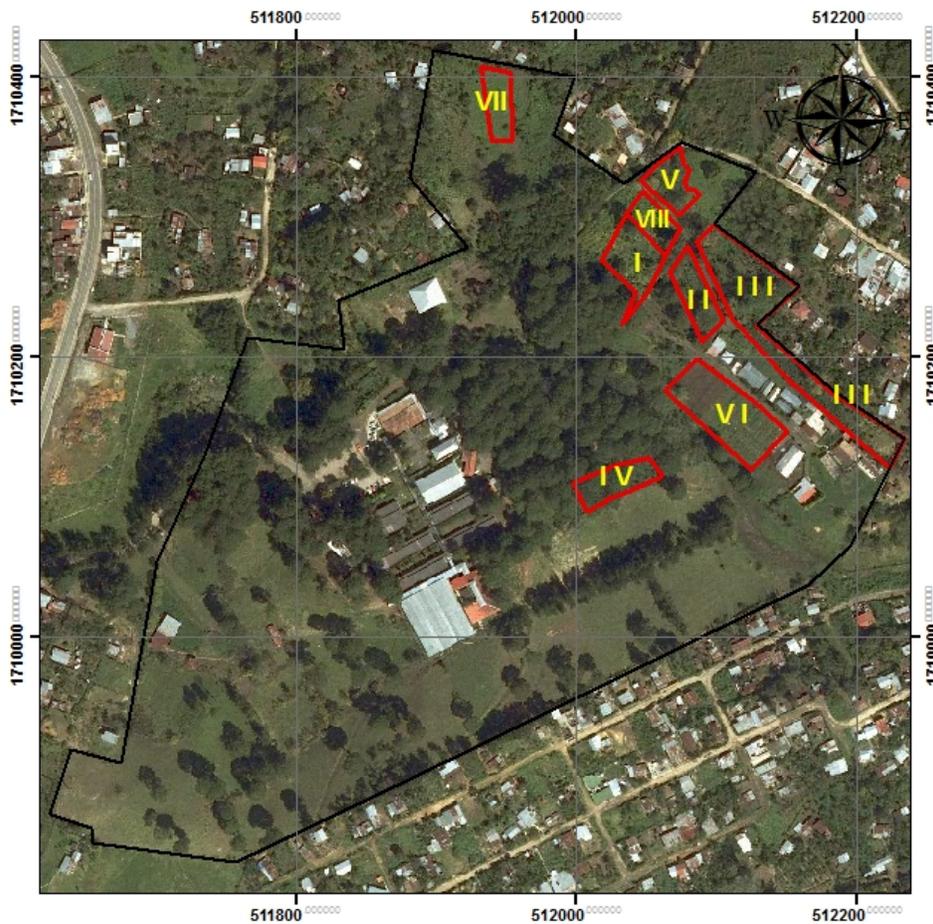
CUADRO 3

NOMENCLATURA Y CARACTERÍSTICAS DE CADA UNIDAD DE ESTUDIO

Nomenclatura hipotética para cada unidad de estudio	Características	Área (m ²)
Unidad productiva I	Cultivo de cardamomo de un año de edad, en un rango de pendientes de 11% al 20%	1 494, 61
Unidad productiva II	Cultivo de café con algunos árboles del genero <i>Cupressuss</i> en la periferia y colindancia con un área de cultivo de heliconias. Cuenta con un rango de pendientes entre 22% al 26%	1 146, 23
Unidad productiva III	Cultivo de café de más de 20 años de edad, con algunas áreas de alternancia con especies latifoliadas utilizadas como sombrío tales como: macadamia (<i>Macadamia spp.</i>), taxiscobo (<i>Perymenium spp.</i>), Chochoc (<i>Inga spp.</i>) entre otras especies. Cuenta con un rango de pendientes del 11% al 46%	4 653, 28
Unidad productiva IV	Cultivo de café recepado en sistema de agroforesteria con alternancia de pinos (<i>Pinus maximinoi</i>). Cuenta con un rango de pendientes del 28% al 33%	1 149, 81
Unidad productiva V	Café recepado de tres años de edad, en colindancia con el cultivo de café ubicado en la unidad de productiva III. Cuenta con un rango de pendientes del 28% al 44%	951, 70
Unidad productiva VI	Suelo utilizado para la práctica de siembra de hortalizas, principalmente por parte de los estudiantes de la carrera de agronomía del CUNOR. Cuenta con un rango de pendientes del 8% al 11%	2 913, 78
Unidad productiva VII	Plantación de aguacate hass de un año de edad. Cuenta con un rango de pendientes del 17% al 22%	919, 77
Unidad productiva VIII	Cultivo de café nuevo, esta plantación es utilizada como parcela modelo, la cual cuenta con una especie de sombra de la familia <i>Solanaceae</i> , que se caracteriza por su floración en forma de campánula. Cuenta con un rango de pendientes del 17% al 20%	803, 03

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012

MAPA 1 UBICACIÓN DE LAS UNIDADES DE ESTUDIO

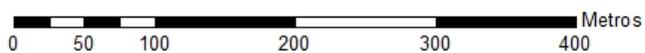


Sistema de proyección GTM
Guatemala Transverse de Mercator
Datum: WGS

Referencia	Unidad de estudio
I	Unidad productiva I
II	Unidad Productiva II
III	Unidad productiva III
IV	Unidad productiva IV
V	Unidad productiva V
VI	Unidad productiva VI
VII	Unidad productiva VII
VIII	Unidad productiva VIII



Escala 1:4,000



Fuente: Investigación de campo. Año 2 012.

2.2.2 Variables de estudio

En cada unidad productiva se procedió a determinar las siguientes características físicas y químicas respectivamente: pendientes, profundidad efectiva, consistencia, estructura, color, textura, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, acidez intercambiable, reacción al ácido clorhídrico y espectrofotometría para análisis de fertilidad, este último análisis a una profundidad de muestreo variante en función del sistema radicular del cultivo.

2.2.3 Toma de datos

El área del Centro universitario del Norte no se encuentra en transiciones de unidades fisiográficas, por lo tanto se puede asumir que todas las unidades productivas responden a características fisiográficas homogéneas y por ende no fue necesaria la estratificación dentro de las unidades.

Para la toma de datos en cada unidad de estudio se realizó una calicata, de las siguientes dimensiones: 1.5 m. en las dos secciones largas y 0.75 m. en la sección ancha con una profundidad de 1.5 m. en la cual se hicieron mediciones de los principales rasgos morfológicos y químicos del pedón, los cuales fueron: estructura, profundidad efectiva, profundidad de cada estrato, consistencia, textura al tacto y muestreo de suelos para cada estrato, para la determinación en laboratorio de la clase textural (bouyoucos), color (escala munsell), potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica y reacción al HCl para determinar presencia de CaCO_3 ; las cuales fueron realizadas en el laboratorio de suelos y aguas de la carrera de Agronomía.

Además de los datos obtenidos a través de la calicata, se realizó un muestreo general aleatorizado de suelos en cada unidad de estudio, con el uso de principios básicos para lograr un muestreo representativo y eficiente de suelos, dichas muestras fueron utilizadas para el análisis de fertilidad y de acidez intercambiable. Para lo cual se recolectaron 20 submuestras en cada unidad de estudio, con un equivalente en peso aproximado de un kilogramo. Con relación a la profundidad de muestreo se manejaron dos rangos: para café y aguacate de 20 a 40 cm; y para los demás cultivos a una profundidad de 15 a 30 cm, este criterio se utilizó en función de la profundidad máxima de absorción de raíces.

2.3 Etapa de laboratorio

Para cada uno de los parámetros analizados en laboratorio, se utilizaron las metodologías empleadas en el curso de Suelos I Y II, de la carrera de Agronomía del -CUNOR-, ya que son las que más se adecuan a las condiciones de trabajo del laboratorio de Suelos y Aguas del Centro Universitario Del Norte.

En el cuadro 4 se presentan las metodologías empleadas para cada uno de los parámetros medidos en laboratorio. Para ver detalles de cada una de las metodologías véase anexo 3.

CUADRO 4 METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN LABORATORIO

Parámetro	Metodología
Color	Escala Munsell
Textura	Hidrómetría
Agua gravimétrica	Evaporación de agua en la muestra
Potencial de hidrogeno	Electrodo
Conductividad eléctrica	Electrodo
Presencia de CaCO ₃	Reacción al HCl
Acidez intercambiable	Titulación química
Fertilidad	Espectrofotometría

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012.

2.4. MATERIALES Y EQUIPO

2.4.1 Materiales de campo

Piocha, machete, azadon, cinta métrica, barreno helicoidal, periódico, bolsas plásticas, masking tape.

2.4.2 Equipo de campo

Clinómetro de Abney y GPS sub-métrico marca Stonex.

2.4.3 Materiales de laboratorio

Beakers, balones aforados, cilindros de sedimentación, tubos de ensayo, soporte universal, bureta, termómetro, hidrómetros, varias de vidrio, papel filtro, agua destilada.

2.4.4 Equipo de laboratorio

Balanza analítica, horno de convección, agitadores eléctricos, multi-parámetro, espectrofotómetro de absorción atómica.

CAPITULO 3

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base a las determinaciones e inferencias hechas en la etapa de campo, laboratorio y gabinete se presentan a continuación los resultados y la respectiva discusión.

3.1 Resultados

3.1.2 Caracterización física de los suelos

a. Determinación de estructura, textura al tacto, consistencia y profundidad efectiva

Para estas determinaciones en cada unidad productiva se efectuó la abertura de una calicata para medir en cada uno de los horizontes encontrados los parámetros físicos básicos: estructura del suelo mediante observaciones comparativas in situ de las formas teóricas de las estructuras o agregados del suelo. Profundidad efectiva mediante la penetrabilidad de suelo y la resistencia al corte (es decir que el horizonte en el cual una muestra en estado seco no permite ser rayada por una moneda de cobre entonces esto impedirá la penetración de raíces por parte de la planta). Consistencia del suelo mediante el criterio de presiones aplicadas y textura al tacto mediante una metodología sugerida por el CYMMIT. Las metodologías de estas determinaciones pueden ser consultadas en los anexos.

CUADRO 5
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FÍSICAS
DE LA UNIDAD PRODUCTIVA I

UNIDAD PRODUCTIVA I						
Horizonte	Descripción					
	Profundidad (cm)	Estructura	Textura al tacto	Consistencia		Profundidad efectiva
				Seco	Húmedo	
0	15 cm	Migajosa-granular	Franco	Blando	Friable	1.05 m
A	90 cm	Granular	Franco limoso	Blando Ligero	Friable	
B	30 cm	Bloques	Franco Arcilloso	Duro	Firme	

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012.

CUADRO 6
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FÍSICAS
DE LA UNIDAD PRODUCTIVA II

UNIDAD PRODUCTIVA II						
Horizonte	Descripción					
	Profundidad (cm)	Estructura	Textura al tacto	Consistencia		Profundidad efectiva
				Seco	Húmedo	
0	9 cm	Migajosa-Granular	Franco	Blando	Muy friable	90 cm
A	20 cm.	Granular	Franco Limoso	Blando ligero	Friable	
B	26 cm	Bloques	Arcilloso pesado	Ligeramente duro	firme	
B.1	30 cm	Bloques	Arcilloso pesado	Duro	Firme	
B.2	65 cm	Columnar	Franco Limoso	Muy Duro	Muy firme	

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012.

CUADRO 7
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FÍSICAS
DE LA UNIDAD PRODUCTIVA III

UNIDAD PRODUCTIVA III						
Horizonte	Descripción					Profundidad Efectiva
	Profundidad (cm)	Estructura	Textura al tacto	Consistencia		
				Seco	Húmedo	
0	10	Granular, migajosa	Franco Arcilloso	Blando	Friable	72 cm
A	50	Granular	Franco	Blando	Friable	
Horizonte de transición 22 cm						
B	32	Bloques	Arcilloso ligero	Ligeramente duro	Firme	
B.1	44	Bloques	Arcilloso Ligero	Muy Duro	Firme	

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012.

CUADRO 8
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FÍSICAS
DE LA UNIDAD PRODUCTIVA IV

UNIDAD PRODUCTIVA IV						
Horizonte	Descripción					Profundidad Efectiva
	Profundidad	Estructura	Textura al tacto	Consistencia		
				Seco	Húmedo	
0	13	Migajosa	Franco	Blando	Suelto	80 cm
A	37	Granular	Franco	Blando ligero	Muy friable	
B	56	Granular	Arcilloso ligero	Duro	Muy friable	
Transición 17 cm						
B.1	68	Prismática	Arcilloso Ligero	muy duro	Firme	
*Moteado en B.1	23 cm de diámetro	Columnar	Arcilloso ligero	muy duro	Firme	

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012.

*En la anterior descripción se evaluó un moteado esférico aparentemente de color rosa, ubicado dentro del horizonte B.1 (véase anexo 2. Fotografía 2)

CUADRO 9

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FÍSICAS DE LA UNIDAD PRODUCTIVA V

UNIDAD PRODUCTIVA V							
horizonte	Descripción					Profundidad Efectiva	
	Prof.	Estructura	Textura al tacto	Consistencia			
				Seco	Húmedo		
0	8	Granular	Franco	Blando	muy friable	63 cm	
A	26	Granular-Bloques	Franco arcilloso	Blando ligero	firme		
A.1	21	Granular	Franco	Blando	muy friable		
Transición 9 cm							
B	40	Bloques	Arcilloso pesado	Extremadamente duro	muy firme		
*B.1	43	Columnar	Arcilloso pesado	muy duro	muy firme		

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012

*En la anterior calicata se observaron lamelas o franjas rojizas de aproximadamente 3cm de largo distribuidas en todo el estrato B.1

CUADRO 10

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FÍSICAS DE LA UNIDAD PRODUCTIVA VI

UNIDAD PRODUCTIVA VI							
horizonte	Descripción					Profundidad Efectiva	
	Profundidad	Estructura	Textura al tacto	Consistencia			
				Seco	Húmedo		
0	7	Migajosa-granular	Franco	Blando	muy friable	84 cm	
A	57	Granular	Franco Limoso	Blando ligero	Friable		
Transición 34 cm							
B	48	Bloques	Arcilloso Ligero	Duro	muy firme		

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012

CUADRO 11
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FÍSICAS
DE LA UNIDAD PRODUCTIVA VII

UNIDAD PRODUCTIVA VII						
horizonte	Descripción					Profundidad Efectiva
	Profundidad	Estructura	Textura al tacto	Consistencia		
				Seco	Húmedo	
0	12	Granular	Franco	Blando	muy friable	94 cm
A	98	Granular	Franco limoso	Ligeramente Duro	Friable	
B	40	Bloques	Franco Arcilloso	Duro	muy firme	

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012

En la serie de cuadros presentada anteriormente se pueden observar características físicas básicas de suelos que muchas veces pueden llegar a determinar la clase de suelo, su condición general física y su capacidad aproximada de almacenamiento de agua.

Cabe mencionar que no se realizó la abertura de una calicata correspondiente a la unidad productiva VIII en la nueva plantación de café, ya que dicha plantación es utilizada como parcela modelo y posee una densidad alta de siembra, por tal razón se decidió no perjudicar el sistema radicular de la plantación con los daños mecánicos que conlleva la abertura de una calicata muestral.

Los resultados de la calicata en el cultivo de cardamomo dentro de la unidad productiva I pueden ser aplicable a la unidad productiva VIII ya que ambas unidades se encuentran colindantes y no presentan diferencias significativas en cuanto a pendiente, profundidad efectiva y color del suelo, esto se verifico en la unidad de estudio de suelos VIII ya que se procedió a realizar cajuelas o zanjas (véase anexo 2. Fotografía 3) para determinar si no existían diferencias significativas en cuanto a las características antes mencionadas.

Siempre en congruencia con las propiedades físicas del suelo se realizó un muestreo de suelo en cada horizonte para la posterior determinación en laboratorio de los siguientes parámetros: color (Munsell), humedad gravimétrica y textura por el método de bouyoucos. Los resultados de los mismos se presentan a continuación.

b. Determinación del color de los horizontes

Para esta determinación se procedió a llevar las muestras de suelo recolectadas de cada uno de los horizontes encontrados en las unidades de estudio, al laboratorio de suelos y aguas del CUNOR, en donde se realizó una comparación de las muestras en estado seco y húmedo con la escala de Munsell, determinando así, el matiz, croma y valor correspondiente a cada muestra, Los resultados son los mostrados por el cuadro 12.

**CUADRO 12
COLOR DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA ESCALA DE
MUNSELL**

Horizonte	Seco		Húmedo		Color Seco	Color Húmedo
	Matiz	Valor/ Croma	Matiz	Valor/ croma		
I.0	10Y	3/2	10Y	3/1	Marrón muy oscuro	Gris muy oscuro
I.A	2.5Y	3/2	10YR	2.5/1	Marrón muy oscuro grisáceo	Negro
I.B	10YR	5/6	10YR	3/4	Marrón amarillento	Marrón oscuro amarillento
II.0	10YR	5/3	10YR	2/1	Marrón	Negro
II.A	7.5Y	4/3	2.5Y	5/1	Marrón	Negro

II.B	10YR	4/6	10YR	3/6	marrón oscuro amarillento	marrón oscuro amarillento
II.B1	10YR	6/8	10YR	5/8	Pardusco amarillo	Marrón amarillento
II.B2	2.5Y	7/4	10YR	5/8	Pálido amarillo	Marrón amarillento
III.0	10YR	3/3	10YR	3/2	Marrón oscuro	Gris muy oscuro
III.A	10YR	4/3	10YR	2/1	Marrón	Negro
III.B	10YR	4/6	10YR	3/6	Marrón oscuro amarillento	Marrón oscuro amarillento
III.B.1	10YR	5/8	10YR	4/6	Marrón amarillento	Marrón amarillento
IV.0	10YR	3/1	10YR	2/1	Gris muy oscuro	Negro
IV.A	10YR	2/1	10YR	2/1	Negro	Negro
IV.B	7.5YR	5/6	7.5YR	4/6	Marrón fuerte	Marrón Fuerte
IV.B.1	7.5YR	6/8	10YR	5/8	Rojizo amarillo	Marrón amarillento
Moteado* en IV.B.1	2.5YR	7/6	2.5YR	7/6	Rojizo amarillo	Rojizo amarillo
V.0	7.5YR	3/4	10YR	3/3	Marrón oscuro	Marrón oscuro
V.A	7.5YR	3/2	10YR	3/3	Marrón oscuro	Marrón oscuro

V.A.1	10 YR	2/4	10YR	3/2	Negro	Marrón muy oscuro grisáceo
V.B	10YR	5/6	10YR	4/6	Marrón amarillento	Marrón oscuro amarillento
V.B.1	5YR	6/8	5YR	6/8	Amarillo Rojizo	Amarillo Rojizo
VI.0	10Y	3/2	10YR	2.5/1	Marrón muy oscuro	Negro
VI.A	10YR	2/1	10YR	2/1	Negro	Negro
VI.B	10YR	4/6	10YR	3/6	Marrón oscuro amarillento	Marrón Oscuro amarillento
VII.0	10YR	3/3	10YR	5/3	Marrón oscuro	Marrón
VII.A	7.5Y	4/3	2.5Y	5/1	Marrón	Negro
VII.B	10YR	4/6	10YR	5/8	Marrón oscuro amarillento	Marrón amarillento

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012

El cuadro anterior muestra en la columna denominada horizonte, una numeración romana para indicar la unidad de estudio seguido de letras del abecedario para indicar el horizonte del perfil. También muestra las tres propiedades principales del color en la escala Munsell, las cuales son: matiz, valor y croma.

A continuación se describen dichas propiedades según Luciano Moreno.²⁸

La primera propiedad (Matiz) hace referencia a la longitud de onda que refleja la muestra de suelo, es decir cómo se percibe el color a través del ojo humano. La segunda propiedad (Valor) hace referencia al estado de brillantez de la muestra, es decir a la cantidad de luz percibida, el valor numérico de esta propiedad en la escala Munsell aumenta a medida que se intensifica la claridad de la muestra; La tercera (croma) propiedad hace referencia a la pureza del color, es decir a la viveza o a la palidez de la muestra de suelo, este valor cuantitativo en la escala Munsell aumenta en medida proporcional a la palidez. Por ejemplo para un valor de croma igual a 1 se tiene el máximo nivel de pureza del color dentro del respectivo matiz.

La determinación del color nos permite hacer una inferencia en cuanto a las condiciones prevalecientes en un suelo como lo es el drenaje, capacidad térmica y la presencia de elementos químicos en sus estados reducidos, oxidados e hidratados, principalmente²⁹. Generalmente en los resultados obtenidos se determinó en el estrato A predominancia de colores negros a marrones muy oscuros lo que indica abundante presencia de materia orgánica, buen drenaje y según Ginés Navarro y Simón Navarro³⁰, los colores oscuros también indican la meteorización de silicatos de manganeso.

²⁸ Luciano Moreno. *Teoría del color. Propiedades de los colores* <http://www.desarrolloweb.com/articulos/1503.php> (16 de octubre de 2012)

²⁹ Henry D. Footh. *Fundamentos de la Ciencia del suelo* (México: Compañía Editorial Continental, 1 997), 66.

³⁰ Ginés Navarro García y Simón Navarro García. *Química Agrícola* (Madrid España: Ediciones Mundi-Presa, 2 003), 77.

En el horizonte B se encontró una predominancia de color marrón amarillento lo que indica según el departamento de Edafología de la Universidad de Granada³¹ una media a baja fertilidad y prevalencia de óxidos de hierro.

c. Determinación de agua gravimétrica

Para esta determinación se procedió a cuantificar 10 g de masa de suelo húmedo (secado al aire) para cada horizonte, con la intención de medir la diferencia de masas después del secado al horno durante 24 horas, a una temperatura de 106°C y en base a este procedimiento hacer la relación correspondiente a la masa de suelo húmedo entre la masa de suelo en base seca. El cuadro número tal refleja los resultados obtenidos con respecto a esta determinación.

³¹ Universidad de Granada Departamento de Edafología. *Color del suelo*
<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%202.pdf> (17 de octubre de 2012)

CUADRO 13 DETERMINACIÓN DE AGUA GRAVIMÉTRICA EN LAS UNIDADES PRODUCTIVAS

UNIDAD PRODUCTIVA I					
Horizonte	0	A	B		
Humedad gravimétrica (%)	65.01	73.31	51.51		
UNIDAD PRODUCTIVA II					
Horizonte	0	A	B	B.1	B.2
Humedad gravimétrica (%)	85.56	93.79	108.33	91.2	80.01
UNIDAD PRODUCTIVA III					
Horizonte	0	A	B	B.1	
Humedad gravimétrica (%)	61.29	72.11	95.31	34.22	
UNIDAD PRODUCTIVA IV					
Horizonte	0	A	B	B.1	Moteado en B.1
Humedad gravimétrica (%)	68.06	79.53	71.23	22.1	9.1
UNIDAD PRODUCTIVA V					
Horizonte	A	A.1	B	B.1	B.2
Humedad gravimétrica (%)	30.37	14.94	12.86	16.27	18.06
UNIDAD PRODUCTIVA VI					
Horizonte	0	A	B		
Humedad gravimétrica (%)	47.27	69.2	81.81		
UNIDAD PRODUCTIVA VII					
Horizonte	0	A	B		
Humedad gravimétrica (%)	54.79	94.55	96.7		

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012.

En cuadro anterior muestra como es la relación de la masa de agua obtenida en una muestra de suelo con relación a la misma masa pero en base seca. Es decir, la masa de agua contenida por unidad de masa de suelo seco. Por ejemplo en la muestra del horizonte 0 de la unidad productiva VII hay un porcentaje de humedad gravimétrica del 54.79% esto quiere decir que de los 10 g de la muestra inicial, 3.94 g son de masa de agua que está contenida dentro de 7.19 g de suelo en base seca.

d. Determinación de textura por el método del hidrómetro de bouyoucos:

Esta determinación se realizó a nivel de laboratorio la cual consistió en la recolección de muestras de suelo de cada uno de los horizontes, sometidas a una solución dispersora de partículas por un periodo de 16 horas, luego de ello se trasladaron las muestras de suelo a cilindros de sedimentación en donde por medio de un hidrómetro se midieron los gramos en suspensión de las diferentes muestras de suelo y agua destilada, a los 40 segundos y dos horas respectivamente (para ver detalles de la metodología véase anexo), por último se determinó con las debidas correcciones el porcentaje de limo, arena y arcilla de las muestras de suelo, para luego señalar dichos porcentajes en el triángulo de las clases texturales. Los resultados obtenidos en la determinación por medio de esta metodología son los mostrados en el cuadro 14

CUADRO 14
CLASES TEXTURALES POR EL MÉTODO DE BOUYOCOS.

Referencia	porcentaje			Clase textural
	Arcilla	Limo	Arena	
I.0	30.24	33.84	35.92	Franco arcilloso
I.A	27.04	33.97	38.99	Franco arcilloso
I.B	36.03	39.34	24.63	Franco arcilloso
II.0	17.14	31.31	51.55	Franco
II.A	29.46	14.09	56.45	Franco arcillo arenoso
II.B	38.18	9.99	51.81	Arcillo arenoso
II.B1	5.98	38.24	55.78	Franco arenoso
II.B2	68.99	29.45	1.57	Arcilla
III.0	24.10	29.73	46.14	Franco
III.A	25.28	32.17	42.54	Franco a Franco arcilloso
III.B	25.14	15.20	59.66	Franco arcillo arenoso
III.B.1	52.66	24.74	22.59	arcilla
IV.0	31.65	39.72	28.62	Franco arcilloso
IV.A	28.92	47.33	23.75	Franco arcilloso
IV.B	30.70	35.80	33.50	Franco arcilloso
IV.B.1	40.76	25.53	33.71	Arcilla
Moteado* IV.B.1	40.38	15.87	43.74	Arcilla
V.0	38.11	22.85	39.03	Franco arcilloso
V.A	38.36	22.99	38.64	Franco arcilloso
V.A.1	33.06	20.25	46.68	Franco arcillo arenoso a franco arcilloso.
V.B	49.98	20.52	29.49	Arcilla
V.B.1	45.25	19.32	35.43	Arcilla
VI.0	15.69	37.49	46.82	Franco
VI.A	24.61	39.99	35.39	Franco
VI.B	40.86	36.36	22.78	Franco arcilloso a arcilla
VII.0	24.93	34.17	40.90	Franco
VII.A	28.29	36.65	35.05	Franco arcilloso
VII.B	40.63	34.47	24.89	Arcilla

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012.

*Moteado esférico del estrato B.1 en la unidad productiva IV (véase anexos)

El cuadro anterior muestra en la columna de referencia con números romanos la nomenclatura de la unidad de estudio seguida de letras mayúsculas para identificar los diferentes horizontes, las posteriores columnas muestran el porcentaje de arena limo y arcilla que corresponden a una determinada clase textural. En algunos casos se muestran dos clases texturales debido a que los porcentajes en el triángulo textural quedaron entre dos clases de textura. Cabe mencionar que la clase textural predominante en todas las unidades de estudio fue de franco a franco arcilloso (para ver detalles véase anexo 1. Mapa 4).

3.1.3 Caracterización química de suelos

A considerar que las propiedades químicas en los suelo tienen tendencias relativamente cambiantes, los resultados presentados en esta categoría se determinaron durante el mes de junio y principios del mes de agosto del año 2 012.

En esta categoría se procedió a evaluar las principales propiedades y características químicas de suelos, esto conllevó al uso de reactivos y electrodos para las determinaciones correspondientes, los parámetros químicos evaluados fueron los siguientes:

- Potencial de hidrogeno
- Conductividad eléctrica
- Reacción al ácido clorhídrico
- Acidez intercambiable
- Concentración de elementos nutritivos.

A continuación se da a conocer los resultados para cada parámetro

a. Potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica

Para esta determinación se utilizó un multi-parámetro de marca comercial Hach. El manejo de la muestra consistió en hacer una relación 1:1 de agua destilada y suelo, para después agitar durante un tiempo de 30 minutos, con el fin de poder realizar la lectura con las sondas respectivas para el potencial de hidrogeno y la conductividad eléctrica.

El cuadro 15 muestra los resultados obtenidos en cuanto a pH y conductividad eléctrica, para los diferentes horizontes analizados en cada una de las unidades productivas. En dicho cuadro se observa la identificación de la unidad productiva nombrada con números romanos, seguida de la identificación del horizonte con letras mayúsculas.

El rango de pH estuvo entre 5.44 y 6.76, predominando los pH ácidos oscilantes entre 5.6-6.0, por lo que la mayoría de los horizontes se pueden considerar en la categoría de ligeramente ácido según la clasificación mostrada en el cuadro 1. También se anota en la última columna, la conductividad eléctrica dada *en* microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la que se encontró entre 0.63 y 13.81 la cual denota niveles bajos, según la clasificación mostrada en el cuadro 2.

Es de utilidad conocer estos datos pues ayudan a decidir sobre la aplicación de prácticas agronómicas orientadas a corregir los valores críticos que desfavorezcan el desarrollo de un cultivo.

CUADRO 15
POTENCIAL DE HIDROGENO Y CONCENTRACIÓN DE SALES EN
LOS HORIZONTES DE LAS DIFERENTES UNIDADES DE
ESTUDIO.

Horizonte	PH	Evaluación Agronómica	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
I.0	5.7	Ligeramente Acido	10.2
I.A	5.61	Ligeramente Acido	2.35
I.B	5.44	Moderadamente Acido	7.14
II.0	6.05	Ligeramente acido	8.02
II.A	5.83	Ligeramente Acido	3.54
II.B	5.85	Ligeramente Acido	3.18
II.B.1	5.6	Ligeramente Acido	2.46
II.B.2	6.2	Neutral	2.4
III.0	5.88	Ligeramente Acido	6.73
III.A	5.45	Moderadamente Acido	2.97
III.B	5.6	Ligeramente Acido	2.54
III.B.1	5.91	Ligeramente Acido	0.63
IV.0	5.74	Ligeramente Acido	3.7
IVA	6.08	Ligeramente Acido	1.62
IV.B	6.04	Ligeramente Acido	0.71
IV.B.1	6.07	Ligeramente Acido	11.96
V.0	6.1	Neutral	10.87
V.A	6.5	Neutral	6.2
V.A.1	6.42	Neutral	5.19
V.B	6.04	Ligeramente Acido	2.77
V.B.1	5.9	Ligeramente acido	2.01
VI.0	6.07	Ligeramente Acido	4.34
VI.A	6.3	Neutral	2.8
VI.B	6.46	Neutral	0.9
VII.0	6.11	Neutral	6.39
VII.A	6.62	Neutral	13.81
VII.B	6.76	Neutral	1.62

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012.

En base a los resultados la categoría predominante es la de ligeramente ácido, por lo tanto no se recomienda el abuso de fertilizantes nitrogenados a base de amonio ya que según la FAO³² durante el proceso de nitrificación del amonio en el suelo se liberan iones H⁺ y por lo tanto la tendencia es acidificar aun mas los suelos.

b. Determinación de Aluminio Intercambiable

En esta determinación se realizó una titulación usando hidróxido de sodio al 0.05 N, cloruro de potasio al 1 N y fenolftaleína como indicador.

CUADRO 16 CONCENTRACIÓN DE ACIDEZ INTERCAMBIABLE EN EL HORIZONTE A

Unidad de estudio	Acidez intercambiable (Meq /100 gramos de suelo)
Unidad productiva I	0.65
Unidad productiva II	0.7
Unidad productiva III	0.6
Unidad productiva IV	1.15
Unidad productiva V	3.35
Unidad productiva VI	0.25
Unidad productiva VII	0.35
Unidad productiva VIII	0.65

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012.

³² Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO- *Fertilidad del suelo*. http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sf/soil_fertility.pdf (03 de octubre de 2012)

El cuadro 16 muestra en la columna de acidez intercambiable la concentración de iones hidronio y Aluminio ocupando posiciones de intercambio en el sistema químico del suelo. Cabe mencionar que para neutralizar 1 meq de aluminio o hidronio intercambiable se necesita de 1.5 a 2 meq de calcio puro, según lo menciona la Guía número 6 (determinación de la acidez intercambiable del suelo) de las prácticas de laboratorio del Curso de Suelos II de la Carrera de Agronomía. En función de eso se puede decidir cuánto de cal es necesario aplicar para implementar una enmienda al suelo, las cantidades de cal recomendadas para corregir dicha acidez intercambiable se muestran en el cuadro 17.

CUADRO 17
CARBONATO DE CALCIO NECESARIO PARA
NEUTRALIZAR LA ACIDEZ INTERCAMBIABLE EN
UN ÁREA DE 441M² EN CADA UNA DE LAS
UNIDADES PRODUCTIVAS

Unidad de estudio	CaCO₃ / 441 m²
Unidad productiva I	57.33 kg
Unidad productiva II	61.74
Unidad productiva III	52.92
Unidad productiva IV	101.43
Unidad productiva V	264.60
Unidad productiva VI	22.05
Unidad productiva VII	30.87
Unidad productiva VIII	57.33

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012

El cuadro muestra la cantidad de cal mínima, para neutralizar la acidez intercambiable en el horizonte A, mediante el criterio de 1.5 meq de calcio necesarios para neutralizar 1 meq de acidez intercambiable.

c. Reacción al ácido clorhídrico

En cada una de las muestras correspondientes a los horizontes de las diferentes unidades productivas, se evaluó la reacción de efervescencia de las mismas en respuesta a la aplicación de ácido clorhídrico al 10% v/v, para determinar la presencia de carbonato de calcio en los suelos. Como resultado único la muestra de suelo que reaccionó con efervescencia ligera fue la correspondiente al estrato B.2 de la unidad de estudio V, dando por consiguiente que en ese horizonte existe la presencia de carbonato de calcio.

d. Análisis de fertilidad

Para la determinación de elementos nutritivos en los suelos de las diferentes unidades productivas se hizo uso del espectrofotómetro de absorción atómica, este equipo es de mucha precisión por lo cual requirió de un manejo especial (véase anexo), los resultados obtenidos fueron los mostrados en el cuadro 18.

CUADRO 18
ANÁLISIS DE FERTILIDAD DEL HORIZONTE A EN LAS
DIFERENTES UNIDADES PRODUCTIVAS

Unidad productiva I							
ppm							C.I.C
K	Mg	Ca	Mn	Zn	Cu	Fe	Meq/100 ml de suelo
55.31	60.6	524.02	4.24	4.025	23.084	2.772	6.8566
Unidad productiva II							
ppm							C.I.C
K	Mg	Ca	Mn	Zn	Cu	Fe	Meq/100 ml de suelo
11.3	73.45	288.09	0.2638	1.365	1.6541	0.2296	2.1314
Unidad productiva IV							
ppm							C.I.C
K	Mg	Ca	Mn	Zn	Cu	Fe	Meq/100 ml de suelo
10.038	89.23	394.93	0.27	1.3621	1.6563	0.367	2.7933
Unidad productiva V							
ppm							C.I.C
K	Mg	Ca	Mn	Zn	Cu	Fe	Meq/100 ml de suelo
9.5125	94.05	447.23	0.194	1.3638	1.6631	0.2236	3.0897
Unidad productiva VI							
ppm							C.I.C
K	Mg	Ca	Mn	Zn	Cu	Fe	Meq/100 ml de suelo
25.613	237.99	544.61	0.2313	1.3635	1.6698	0.2236	4.8021
Unidad productiva VII							
ppm							C.I.C
K	Mg	Ca	Mn	Zn	Cu	Fe	Meq/100 ml de suelo
21.975	185.19	543.77	0.2405	1.3568	1.6604	0.4129	4.3566

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012.

Cabe mencionar que el muestreo para el análisis de fertilidad se llevo a cabo en el Horizonte A, ya que es el horizonte donde se lleva a cabo la mayor absorción de agua y nutrientes por parte de la planta.

En el siguiente cuadro se presentan los niveles agronómicos adecuados de nutrientes en el suelo según información obtenida del laboratorio agrícola -AGRILAB-. Estas recomendaciones son de carácter general aplicado para la mayoría de cultivos.

CUADRO 19
NIVELES ADECUADOS DE NUTRIENTES EN EL
SUELO SEGÚN -AGRILAB-

ppm				C.I.C
K	Mg	Ca	Mn	Meq/100 ml de suelo
75-150	50-100	500-1000	10-250	5.1-15
Zn	Cu	Fe		
2-25	1-10	40-250		

Fuente: Laboratorio Agrícola –AGRILAB-. Guía práctica para la interpretación de análisis de suelos.

Con respecto a la evaluación comparativa entre el cuadro 18 y 19, las unidades de estudio muestran una generalizada baja concentración de elementos nutritivos; por lo cual se recomienda inicialmente una elevada aportación de abonos orgánicos para elevar la capacidad de intercambio catiónico con el objetivo de aumentar la fertilidad del suelo y para que las fertilizaciones químicas posteriores sean eficientes. Cabe mencionar que las determinación para fosforo y nitrógeno no se realizó debido a la falta de reactivos químicos.

3.2 Discusión de resultados

Las características morfo-físicas de suelos mostradas en el rango de cuadros 5 al 11, permite interpretar que los suelos de las unidades productivas de la granja agrícola del Centro Universitario del Norte a excepción de la unidad productiva V, no poseen condicionantes con respecto a drenaje, almacenamiento e infiltración de agua, mecanización del suelo y anclaje del sistema radicular de las planta, respecto a; esto puede deberse a que primeramente las estructuras encontradas en los diferentes horizontes de suelo correspondientes o aplicables a cada unidad productiva, fueron por lo general estructuras granulares y en bloques, estas estructuras permiten un moderado flujo de agua a través del perfil del suelo, lo que favorece a condiciones óptimas en cuanto a retención y percolación del agua en el suelo, ya que la forma de los agregados correspondientes a estas estructuras permiten dichas características.

Un hecho relevante es que no se encontraron encostramientos superficiales ni presencia de estructuras laminares que pudieran obstruir el flujo de agua dentro del perfil del suelo. Por lo general también se encontraron en los últimos horizontes, estructuras columnares y prismáticas, debido a que en las profundidades del perfil existen condiciones de textura, humedad y presión que favorecen la formación de estos tipos de agregados.

Una de las características de la descripción del perfil fue la consistencia del suelo que según Warren Forsythe³³ es uno de los parámetros más sobresalientes, ya que se puede llegar a determinar con ello el comportamiento del suelo ante las prácticas de mecanización y labranza del mismo, principalmente. La tendencia general aplicable para los primeros tres horizontes fue de una consistencia blanda a ligeramente dura

³³ Warren Forsythe. *Física de Suelos* (Costa Rica: Estilos en Textos, 1 975), 70

en estado seco y en estado húmedo fue de friable a firme, este rango de consistencia permite dar una interpretación de suelos bien aireados, de fácil penetración, que ofrece buen contacto con las raíces y buen manejo mecánico. Lo anterior es aplicable para todas las unidades productivas a excepción de la unidad productiva V.

Por lo general los últimos 2 horizontes siguen la tendencia de dureza y alta firmeza en cuanto a su consistencia, ya que estos suelos son muy resistentes a las deformaciones, lo que indica que en las profundidades del perfil aproximadamente después de un metro de profundidad, las raíces de las plantas requieren un mayor gasto energético para poder penetrar estos estratos, dicho hecho se contrasta muy bien con la profundidad efectiva encontrada, ya que en dichos horizontes la presencia de raíces era escasa, por lo cual la planta requiere de una mayor gasto energético para poder penetrar estos horizontes.

Los resultados de color de los horizontes presentados en el cuadro 12, permite inferir más que en características físicas y químicas, en las condiciones atmosféricas en las que se desarrolla un suelo, debido a que ciertos minerales se desarrollan con mayor frecuencia en ciertas condiciones atmosféricas según lo menciona Hans W. Fassbender³⁴, por lo cual se puede hacer la inferencia mostrada en los tres párrafos siguientes.

El color predominante en los horizontes B, fue el marrón amarillento, lo que permite dar indicios de la presencia de goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$) en matices correspondientes de 7.5YR a 10YR, sumado a que este mineral suele aparecer en suelos húmedos y de regiones templadas, se aumentan las posibilidades de que parte del material parental en dichos horizontes haya sido principalmente limonita, constituida principalmente por Goethita,

³⁴ Hans W. Fassbender. *Química de Suelos con énfasis en suelos de América latina* (Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1 982), 37-38

como mineral mayormente prevaleciente en dicha mezcla de minerales (limonita), esto como explicación al color marrón amarillento predominante en los horizontes B, de la mayoría de las unidades productivas, lo que difiere entre los horizontes B de cada unidad productiva es la brillantez y el estado puro del color marrón amarillento. Según el departamento de Edafología de la Universidad de Granada³⁵ Estos horizontes presentan media a baja fertilidad a juzgar por su coloración.

En los primeros horizontes 0 y A, se encontraron colores marrones oscuros y negros, gran parte de esto se explica debido a la presencia de materia orgánica en descomposición o en estado de humus, pero también se puede deber según Ginés Navarro y Simón Navarro a la meteorización de silicatos que contengan manganeso³⁶, este proceso le atribuye al suelo un color negruzco o negro. En general los colores oscuros es un indicador de condiciones de buena fertilidad, y de buenas condiciones físicas, este hecho se puede verificar en los rasgos físicos y morfológicos de los perfiles, ya que dichos horizontes poseen generalmente condiciones óptimas de estructura y consistencia.

Los colores rojizos encontrados en los horizontes inferiores de las unidades de estudio correspondientes a las unidades productivas IV Y V, se deben a la presencia de óxidos férricos provenientes de minerales como la Hematita, la cual se meteoriza bajo condiciones de pH ácidos, prevalecientes en dichos horizontes.

Otro hecho importante es que no se encontró la presencia de moteados grises y anaranjados que delaten condiciones de mal drenaje y

³⁵ Universidad de Granada Departamento de Edafología. *Color del suelo* <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%202.pdf> (17 de octubre de 2012)

³⁶ Ginés Navarro García y Simón Navarro García. *Química Agrícola* (Madrid España: Ediciones Mundi-Presa, 2 003), 77.

condiciones anaerobias, por lo cual este factor no es condicionante para las unidades de estudio.

El moteado esférico ubicado dentro del horizonte B.1 en la unidad productiva IV, difiere a nivel de campo en cuanto a su apreciación visual, en comparación con la escala Munsell, ya que a nivel de campo se apreció un color aparentemente rosado (véase anexo Fotografía 2), pero en comparación con el sistema Munsell dio como resultado un color rojizo amarillo, lo que indica que el sistema Munsell precisamente se utiliza para corregir errores en las percepciones personales del color del suelo.

El cuadro 14 muestra que la clase textural predominante en los primeros tres horizontes de las unidades de estudio correspondientes a las unidades productivas I y IV, fue la clase franco arcillosa, lo que denota similitudes entre unidades aunque no sean colindantes, esta clase de textura es según la -FAO- resistente al lavado excesivo de bases³⁷ más sin embargo se registra una baja capacidad de intercambio catiónico y conductibilidad eléctrica, por lo que se puede asumir que si la clase textural no fuera de carácter arcilloso la C.I.C y C.E fuera aun más baja debido a las intensas lluvias que predominan el área de estudio y que limitan la capacidad de adsorción de bases.

El suelo de la unidad productiva V fue el más arcilloso, lo que indica que el flujo de agua es lento debido a que es fuertemente retenida por la carga eléctrica de las partículas de arcilla, mas sin embargo no se encontraron indicios de mal drenaje debido a la fuerte pendiente de dicha unidad de estudio.

³⁷ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO- *Fertilidad del suelo*. http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sf/soil_fertility.pdf (03 de octubre de 2012)

Con respecto a la conductividad hidráulica se encontraron triángulos elaborados a nivel experimental (véase anexo Figuras al 4) que asocian la clase textural y porcentaje de arena y arcilla a la conductividad hidráulica en un suelo saturado. El promedio del porcentaje de arcilla y arena encontrado fue del 34% a 37% respectivamente, lo que refleja una conductividad hidráulica aproximada de 0.1 cm a 0.2 cm en una hora lo que indica en términos generales y según la Universidad Nacional de Colombia, una adecuada conductividad hidráulica³⁸. Por lo tanto La textura es una característica muy importante que sirve como parámetro para poder llegar a estimar otras características hidrofísicas del suelo tales como: conductividad hidráulica, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, succión en el frente de humedecimiento y porosidad.

Según el cuadro 15, el potencial de hidrógeno del 60% de los estratos analizados en las 7 diferentes calicatas corresponden según la clasificación de -AGRILAB-³⁹ (véase cuadro 1) a la categoría agronómica de ligeramente ácido entre 5.6-6.0 pH, lo que corresponde a un intervalo adecuado para la mayoría de cultivos, ya que en este punto según Hans W. Fassbender⁴⁰ todavía no son solubles las sales aluminicas y la actividad microbiana se mantiene en un nivel estable⁴¹.

El 7.60% de los estratos analizados corresponde a la categoría de moderadamente ácido (unidad productiva I y III), donde se potencializa el riesgo por un estrés o intoxicación de la planta por manganeso y/o aluminio, ya que según Hans W. Fassbender en este pH ya son solubles las sales aluminicas y también un posible exceso por Cobalto y deficiencias de Ca,

³⁸ Universidad Nacional de Colombia. *Compactación y sedimentación de suelos*. <http://www.virtu al.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/2057/lecciones/subleccion34.html> (30 de octubre de 2 012)

⁴⁰ Hans W. Fassbender, *Química de Suelos con énfasis en suelos de América latina* (Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura ,1 982)

⁴¹ Las propiedades químicas del suelo. *El pH en el suelo*. <http://www.slideshare.net/ sue los09 /propiedades-químicas>, (30 de septiembre de 2 012)

K, N, Mg, Mo, P, S⁴² en este rango de pH “la actividad microbiana se reduce significativamente”⁴³

El 33.33% de los horizontes analizados corresponde a la evaluación agronómica de neutral (según cuadro 1) y en este rango es en donde el aprovechamiento de los nutrientes por parte de la planta se vuelve eficiente. Las unidades productivas V y VI tienen el pH de todos los estratos encontrados dentro de la categoría neutral, por lo que indica que en estas unidades no existen limitantes significativas en cuanto a las relaciones de pH con la disponibilidad de los elementos nutritivos del suelo.

Con relación al cultivo de aguacate (Unidad productiva VII) el rango óptimo de pH teóricamente es de 5.5 a 6.5⁴⁴ en contraste con el PH obtenido en el estrato A y B que fue de 6.62 y 6.76 respectivamente, por lo cual dicho pH no es el óptimo, entonces es recomendable la aplicación de una enmienda orgánica a base de vermicompost en cantidades no previstas, por lo cual se recomienda el constante monitoreo del pH posterior a la enmienda. También se puede recomendar para este caso en particular la aplicación de fertilizantes amoniacales que tiendan a acidificar el suelo siempre y cuando se lleve monitoreo constante del pH para que no descienda más de 5.5.

Se esperaría que en suelos con similares valores de pH tuvieran aproximadamente casi los mismos valores con respecto a la acidez intercambiable, esta es una proposición que tiende a confundir ya que el pH y la acidez intercambiable son diferentes clasificaciones de la acidez según

⁴² Hans W. Fassbender, Química de Suelos con énfasis en suelos de América latina (Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura ,1 982)

⁴³ Las propiedades químicas del suelo. *El pH en el suelo*. <http://www.slideshare.net/sue los09 /propiedades-químicas>, (30 de septiembre de 2 012)

⁴⁴- ANACAFE-. *Cultivo de aguacate*. <http://www.anacafe.net/Portal/Documents/Docu ments/200412/33/5/Cultivo%20de%20Aguacate.pdf> (11 de noviembre de 2 012)

Amabelia del pino⁴⁵, por un lado el pH es una medida de la intensidad de acidez y por el otro lado la acidez intercambiable es una medida de la cantidad de acidez, por lo tanto es lógico que los valores de pH de las unidades productivas V y VI sean similares pero que difieran enormemente en su medida de acidez intercambiable, por lo tanto se puede decir que la correlación de pH y acidez intercambiable es muy relativa.

La generalizada acidez y baja concentración de sales en los horizontes de los suelos de actividad productiva del Centro Universitario del Norte se debe principalmente a que la precipitación es mucho mayor que la evaporación del agua en el suelo y esto hace que la percolación sea abundante y junto con ella el lavado de bases que son producto principalmente de la meteorización inicial de los minerales en el suelo. También se podría tomar en cuenta según Raul Zapata⁴⁶ la descomposición de la materia orgánica en los suelos ya que en dicha reacción se libera un ión hidrogeno que tiende a acidificar el suelo. Los pH más ácidos se encontraron en las unidades productivas I y III dentro de los horizontes A Y B respectivamente.

La conductividad eléctrica está relacionada en forma directamente proporcional con el lavado de bases, por lo que es lógico que los datos se encuentren valores muy bajos debido a que en la región de estudio predominan las constantes precipitaciones y a pesar de que en muchos de los horizontes predominan suelos de carácter arcilloso, la fuerza de adsorción generada por las partículas de arcilla no son capaces de retener eficientemente las bases.

⁴⁵ Amabelia del pino. *Acidez del suelo y encalado*. http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/acidez_encalado_impr.pdf (30 de octubre de 2 012)

⁴⁶ Raúl Zapata. *El origen de la acidez del suelo*. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1735/3/9583367125.3.pdf> (30 de octubre de 2 012)

La conductividad eléctrica o la concentración de sales en los suelos del Centro Universitario del Norte no es significativamente relevante en cuanto a la disponibilidad de agua para la planta ya que el potencial osmótico del agua en el suelo no limita la conducción de agua del suelo hacia la planta, ya que se encontraron valores mínimos de conductividad eléctrica en las muestras de suelos al hacer la comparación del cuadro 2 con el cuadro 15.

El valor de intercambio catiónico generalizado para cada unidad de estudio, obedece según el -U.S.D.A.⁴⁷ a los valores promedio correspondientes para suelos de textura arenosa, hecho contrario con la textura general promedio de los horizontes A de las unidades estudio, esta contradicción puede ser explicada por la alta pluviometría del área de estudio. Por ende la C.I.C se encuentra como un factor limitante para la producción agrícola en las unidades productivas, esto es verificable con las concentraciones de sales ya que también se encuentra en niveles mínimos, por lo cual es indispensable la aplicación de abonos orgánicos para aumentar la C.I.C y para que las fertilizaciones químicas posteriores sea eficientes.

En base a la conductividad eléctrica y la capacidad intercambio catiónico, se asume que los nutrientes del Horizonte A son arrastrados producto de la lixiviación hacia los estratos inferiores por efecto de la lluvia y gravedad, este arrastre es intensificado si no se incorpora al suelo materia orgánica como el vermicompost que tienda a aumentar la C.I.C y a contener por mayor tiempo los nutrientes en el horizonte A (en este horizonte se concentra la mayor cantidad de raíces absorbentes).

⁴⁷ Propiedades químicas del suelo. http://servicios.educarm.es/templates/porta/ficheros/websDinamicas/20/suelos_tema_3..pdf (30 de octubre de 2 012)

Una consideración importante para el aprovechamiento de los nutrientes en el perfil del suelo, es la rotación de cultivos ya que de esta manera pueden ser aprovechados los nutrientes lixiviados en los horizontes inferiores al rotar cultivos con diferentes alturas radiculares. Actualmente esta técnica solamente puede ser aplicada en la unidad productiva VI, ya que es la única unidad que no presenta cultivos permanentes.

Con respecto al uso actual, la mayoría de unidades productivas posee cultivos permanentes de café, cardamomo y aguacate por lo cual existe una constante extracción de nutrientes en el suelo que tiene que ser remunerada por medio de las fertilizaciones orgánicas y químicas que tiendan a aumentar los rendimientos de cultivo. Dentro de las potencialidades de las unidades productivas no se encuentran condicionantes significativas con respecto a las características físicas y químicas básicas a excepción de la unidad productiva V que tiene condicionantes en cuanto a su textura, sin embargo la presencia de elementos nutritivos es escasa, por lo cual se puede argumentar que el uso de fertilizantes para suplir las necesidades de cultivo es prácticamente obligatoria.

En base a una percepción personal, la granja agrícola del -CUNOR- tiene que funcionar como un sistema de parcelas demostrativas que en base a un análisis de mercado y de diversificación de los productos agrícolas se establezcan cultivos modelos para que el -CUNOR- se pueda vincular con productores locales y así fomentar la capacitación y la tecnificación de diferentes cultivos.

Debido a lo mencionado en párrafo anterior y en base a las recomendaciones teóricas agroclimáticas y de suelos, y en contraste con las características de suelos encontradas, se hacen las recomendaciones de los siguientes cultivos en caso de desistir de los cultivos actuales.

El cultivo de la mora (*Rubus sp.*) para la unidad productiva VII debido a que se desarrolla desde los 900 hasta los 1800 msnm, requiere de suelos profundos, bien drenados, con alta capacidad de retener humedad y con pH de 6 a 7⁴⁸, características que son predominantes en la unidad productiva VII.

El cultivo del persimón (*Diospyros Kaki*) para las unidades productivas I II Y VIII debido a que su desarrollo óptimo se da bajo las siguientes condiciones: Los climas templados más o menos calurosos, suelos franco arenosos, franco arcillosos, precipitación mayor a los 700 msnm, suelos bien drenados, PH de 5.6 a 6 y una altitud de 1000 a 2000 msnm⁴⁹, lo que se contrasta muy congruentemente con dichas unidades productivas.

El cultivo de arandano (*Vaccinium sp.*) para la unidad productiva III, ya que según Juan Carlos García Rubio⁵⁰ es posible seleccionar una variedad que permita desarrollar el cultivo en un zona templada (12 °C a 19°C). En cuanto a los suelos, estos deben ser de textura ligera o media (Franco), buen drenaje, buena retención de humedad y PH de 4.5 a 5.5, suelos pobres en calcio sin reacción al HCl, todas estas características concuerdan con la unidad productiva III.

El cultivo de la nuez de macadamia para Las unidades productivas IV, VI, según ANACAFE⁵¹ este cultivo se desarrolla bien en 600 a 1,600

⁴⁸ Leonel Morán. Manual Agrícola –SUPERB-. *El cultivo de la mora*. 232.

⁴⁹ Edgar Rene Cruz Mus. *Caracterización del cultivo del persimón en el departamento de Alta Verapaz*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1796.pdf (09 de noviembre de 2 014)

⁵⁰ Juan Carlos Garcia Rubio. *Orientaciones para el cultivo del arandano*. http://www.naviaporcia.com/images/documentos/documento_173.pdf (09 de noviembre de 2 014).

⁵¹ ANACAFE, *El cultivo de la macadamia*. <http://www.anacafe.net/Portal/Documents/Documents/2004-12/33/16/Cultivo%20de%20la%20Nuez%20de%20Macadamia.pdf> (09 de noviembre de 2 014)

msnm, similares a las apropiadas para el cultivo de café. Se adapta a precipitaciones pluviales anuales de 1,000 a 4,000 mm. Temperatura de 14 hasta los 32 grados centígrados, suelos franco arenosos, franco arcillosos y arcillosos, pH entre 5.5 y 7.0, buen drenaje y sin capas impermeables que impidan el crecimiento normal de la raíz, características que se adecuan a las características predominantes en dichas unidades productivas.

Como otra alternativa sugerida que podría ser aplicable a cualquiera de las unidades productiva esta el tomate de árbol (*Cyphomandra*) ya que según Ivan Calvo⁵² este cultivo se adapta a todo tipo de suelo, prefiriendo los suelos franco arcillosos con buen drenaje, climas templados (14° a 20°C), altitud de 1000 a 3000 msnm, conductividad eléctrica no mayor a los 500 microsiemens por centímetro y el cultivo se puede desarrollar hasta en pendientes del 50%, por lo cual este cultivo se puede recomendar para cualquiera de las unidades de estudio, ya que todas reúnen las características mencionadas.

A continuación en el cuadro 10 se muestra un resumen de las actividades generales que se sugieren para el manejo actual de cada una de las unidades productivas en función de los resultados obtenidos.

⁵² Iván Calvo. *Cultivo de tomate árbol*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00168.pdf> (09 de noviembre de 2 014)

CUADRO 20

ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA EL MANEJO DE LAS UNIDADES PRODUCTIVAS

Unidad de estudio	Actividades propuestas
Unidad productiva I	Sembrar entre calles cultivos de cobertura densa ya que el cardamomo no se encuentra establecido en función de curvas a nivel lo cual contribuye con la erosión del suelo.
	Enmiendas con carbonato de calcio para corregir acidez.
	Fertilizaciones con vermicompost
Unidad productiva II	Aporte de materia orgánica o vermicompost para elevar CIC principalmente.
	Enmiendas al suelo con carbonato de calcio o cal dolomítica para contrarrestar la cantidad de acidez y deficiencia de calcio en el suelo.
Unidad productiva III	Recepa o renovación de la plantación e Incorporación de calles de cobertura densa con abonos verdes para mejorar las condiciones de fertilidad
	Labranza solamente con machete.
	Fertilizaciones con vermicompost
	Enmiendas con carbonato de calcio o cal dolomítica
Unidad productiva IV	Llevar constantemente control de PH debido a que el área se encuentra cubierta de acículas de pino lo cual tiende a acidificar paulatinamente el suelo. Evitar que el PH llegue a 5.5
	Labranza solamente con machete.
	Fertilizaciones con vermicompost
	Enmiendas con carbonato de calcio o cal dolomítica para contrarrestar acidez y deficiencia de calcio en el suelo
Unidad productiva V	Fomentar la regeneración del sistema orgánico y poroso del suelo sembrando en asocio al café abonos verdes, no es recomendable la fertilización química con potasio debido a

	que son suelos muy arcillosos por lo tanto existe una considerable tendencia a la fijación del potasio por parte de las arcillas.
	Hacer labranza solamente con machete
	Fertilizaciones con grandes cantidades de vermicompost
	Enmiendas al suelo con cal dolomítica o carbonato de calcio
Unidad productiva VI	Enfatizarse en la fertilización orgánica ya que año con año los estudiantes optan por la fertilización química en esta área y por ende con el tiempo se puede formar un colchón de sales que propicie conjunto con el bajo porcentaje de pendiente condiciones hidromorficas que imposibiliten o dificulten cada vez más el flujo del agua en el suelo.
	Fomentar el reciclaje de nutrientes por medio de la rotación de cultivos.
	Enmiendas solamente con carbonato de calcio
Unidad productiva VII	Aprovechar el suelo alternando el aguacate con otros cultivos como el frijol e utilizar este como un abono verde.
	Fertilizaciones con vermicompost
	Enmiendas solamente con carbonato de calcio
Unidad productiva VIII	Fertilizaciones con vermicompost
	Sembrar cultivos de cobertura densa en alternancia con el cultivo o establecer un mulch de paja de preferencia quikuyo para evaluar la factibilidad y eficiencia de esta práctica

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012.

Debido a que en la mayoría de unidades productivas predominan situaciones generalizadas, se hacen las siguientes consideraciones:

Debido a los niveles de potasio muy bajos se recomienda la fertilización con muriato de potasio, sulfato de potasio y nitrato de

potasio ya que estas formulaciones según –SAGARPA-⁵³ no tienden a acidificar el suelo.

En los suelos analizados existen bajos niveles de microelementos especialmente de manganeso y hierro a excepción del cobre que se encuentra en niveles relativamente adecuados por lo cual se recomienda la incorporación de estos elementos al cultivo ya sea vía foliar o directamente al suelo.

Se recomienda que las fertilizaciones con vermicompost sean como mínimo de 20 quintales por hectárea, por lo menos una vez al año. Entonces a sabiendas que el área total de las unidades productivas es de 1.4 hectáreas y suponiendo un precio de mercado de Q 70, 00 el quintal de lombricompost, se necesita un total de Q 1 960, 00 para cada aplicación de lombricompost en todas las unidades productivas.

⁵³ Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación – SAGARPA- . *Uso de fertilizantes* <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Uso%20de%20Fertilizantes.pdf> (30 de octubre de 2 012)

CONCLUSIONES

En todas las unidades productivas la fertilidad de los suelos se encuentra en un nivel bajo, principalmente aquellas unidades en las cuales prevalecen cultivos perennes con más de 20 años de edad (unidad productiva III), por lo cual es necesario planificar las fertilizaciones en función de los niveles nutricionales de los suelos de las unidades productivas.

En los primeros 75 centímetros de profundidad de suelo en todas las unidades productivas a excepción de la unidad productiva V, tienen adecuadas condiciones de plasticidad, estructura y penetrabilidad de raíces, por lo cual el medio físico de enraizamiento para los cultivos no es una variable limitante para la producción.

Los suelos más pesados o arcillosos fueron encontrados en la unidad productiva V por lo cual se hace necesaria la intervención inmediata en dicha unidad por medio de la incorporación al suelo de viruta y enmiendas orgánicas para favorecer las buenas condiciones físicas en combinación con encalados ya que en dicha unidad se encuentra la mayor cantidad de acidez.

El pH predominante en todas las unidades de estudio fue de fue de 5.6 a 6 correspondiente a la evaluación agronómica de ligeramente ácido, en este rango se presenta una adecuada, mas no máxima, absorción de nutrientes por parte de la planta, dicha absorción máxima se logra con un pH de 7 o muy cercano al mismo, por ende se recomienda la aplicación periódica de cal como una fuente de enmienda para las unidades productivas.

Es de necesidad inmediata la incorporación de carbonato de calcio en las unidades productivas I, y III Y VIII, ya que los valores de pH en dichas unidades (horizonte A) están cercanas a 5.5, con este pH se hace relevante la absorción del aluminio y una reducción considerable de la actividad microbiana por lo tanto se potencializa el riesgo de una intoxicación por aluminio y la pérdida de los microorganismos benéficos en la rizosfera.

Todas las unidades de estudio no presentan riesgo de salinización, debido a que la conductividad eléctrica encontrada esta en niveles muy bajos, por lo tanto las fertilizaciones químicas al suelo no representan una condicionante en la salinidad de los suelos; mas sin embargo es importante combinar esta actividad con la fertilización orgánica, para que en largo plazo no se corra el riesgo de la formación de un colchón de sales que propicie condiciones hidromorficas en los suelos.

En los suelos analizados existen bajos niveles de microelementos especialmente de manganeso y hierro a excepción del cobre que se encuentra en niveles relativamente adecuados por lo cual se recomienda la incorporación de estos elementos a los diferentes cultivos en las unidades productivas ya sea vía foliar o directamente al suelo.

No utilizar en las unidades productivas sulfato de amonio o algún otro fertilizante a base de amonio que tienda a acidificar el suelo, a excepción de la unidad productiva VII, ya que el nivel de Ph en el horizonte A de esta unidad se encuentra dentro de una clasificación agronómica de neutral.

Los niveles de magnesio en las unidades productivas II IV y V, se encuentran en un nivel adecuado mas sin embargo en las unidades productivas VI y VII se encuentran en niveles muy altos por lo cual no es recomendable la aplicación de cal dolomítica en estas unidades para realizar las enmiendas ya

que el exceso de magnesio puede provocar un antagonismo con el calcio y potasio.

La unidad productiva V necesita un periodo de descanso de por lo menos 10 años, pudiendo implementar en dicha unidad un banco de abonos verdes que desempeñe la función de un jardín clonal.

Según las potencialidades físicas y químicas (a excepción de la fertilidad) encontradas en los suelos de las unidades productivas se hacen las siguientes recomendaciones de cultivos: Mora (*Rubus sp*), para la Unidad productiva VII. Persimón (*Diospyros Kaki*) para unidad productiva I, II Y VIII. Arándano para la unidad productiva III. Nuez de macadamia para Las unidades productivas IV Y VI respectivamente. Y como una última recomendación aplicable a cualquiera de las unidades productivas, el cultivo de tomate de árbol (*Cyphomandra sp.*).

RECOMENDACIONES

La incorporación de enmiendas a base de calcio es una de las prácticas indispensables considerando el complejo de acidez prevalecientes en los suelos de las unidades de estudio, para lo cual se adjuntan en la serie de resultados las cantidades necesarias de carbonato de calcio para corregir dicha acidez, con el fin de potencializar la absorción de los elementos nutritivos previo a una fertilización.

Que los parámetros físicos y químicos encontrados sean un marco referencial para la aplicación de prácticas agronómicas adecuadas y orientadas a vincular dichos parámetros con una actividad eficiente productiva y de conservación de suelos.

Utilizar los análisis de fertilidad como una herramienta para la determinación de programas de fertilización

No utilizar cal dolomítica para las enmiendas en las unidades productivas VI Y VII ya que esta cal posee magnesio y dichas unidades tienen niveles muy altos de este elemento en el suelo, por lo cual esto puede potencializar el antagonismo con el potasio y el calcio inhibiendo la absorción de estos elementos por parte de la planta.

Llevar un monitoreo constante en todas las unidades productivas del PH con el objetivo de evitar que los niveles no se acerquen a 5.5.

Llevar control de PH cuando se haga una fertilización con fertilizantes nitrogenados como el amoniaco anhídrido, sulfato de amonio y el superfosfato triple que tiendan a acidificar aún más los suelos de todas las unidades de estudio, por lo cual se recomienda el uso de fertilizantes como el nitrato de sodio y potasio que tienen un índice básico.

La unidad productiva V, presentó los suelos más pesados, por lo que se recomienda la utilización de vermicompost como enmienda para mejorar las características físicas de dichos suelos , ya que dicho material es altamente bioestable y contiene mejor contenido nutricional que el compost generado a partir del estiércol bovino.

Para las unidades de estudio con cultivos perennes como el café aguacate y cardamomo se recomienda la implementación de calles de cobertura densa, pudiendo usar maní forrajero o alguna otra planta leguminosa, con el fin de eficientizar los costos de mano de obra en el manejo de arvenses o malezas.

Evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos efectivos sobre la fertilidad de los suelos en las unidades productivas de la Granja Agrícola.

Dentro de la unidad VI se recomienda Enfatizarse en la fertilización orgánica ya que año con año los estudiantes optan por la fertilización química en esta área y por ende con el tiempo se puede formar un colchón de sales que propicie conjunto con el bajo porcentaje de pendiente condiciones hidromorficas que imposibiliten o dificulten cada vez más el flujo del agua en el suelo.

BIBLIOGRAFIA

- Asociación Nacional del Café -ANACAFE-. *El Cultivo de aguacate*. <http://www.anacafe.net/Portal/Documents/Documents/200412/33/5/Cultivo%20de%20Aguacate.pdf> (11 de noviembre de 2 014).
- . *El cultivo de la nuez de macadamia*. <http://www.anacafe.net/Portal/Documents/Documents/200412/33/16/Cultivo%20de%20la%20Nuez%20de%20Macadamia.pdf> (09 de noviembre de 2 014).
- Brack, Antonio y Cecilia, Mendiola. *Propiedades físicas del suelo*. http://www.peru.ecologico.com.pe/lib_c18_t03.htm (16 de octubre de 2 012).
- Calvo Villegas, Iván. *Cultivo de tomate árbol*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00168.pdf> (09 de noviembre de 2 014).
- Color del suelo*. <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%202.pdf> (17 de octubre de 2 012).
- Compactación y sedimentación de suelos*. <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/2057/lecciones/subleccion34.html> (30 de octubre de 2 012).
- Conductividad eléctrica: Salinidad en cultivos agrícolas*. http://www.gatfertilizadores.com/salinidad_cultivos.pdf (30 de septiembre de 2 012).
- Cruz Mus, Edgar René. *Caracterización del cultivo del persimón en el departamento de Alta Verapaz*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1796.pdf (09 de noviembre de 2 014).
- Del pino, Ambella. *Acidez del suelo y encalado*. http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/acidez_encalado_impr.pdf (30 de octubre de 2 012).
- El pH en el suelo: las propiedades químicas del suelo*. <http://www.slideshare.net/suelos09/propiedades-químicas> (30 de septiembre de 2 012).
- Fassbender, Hans W. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1 982.

Footh, Henry D. *Fundamentos de la ciencia del suelo*. México: Editorial continental, 1 997.

Forsythe, Warren. *Física de suelos*. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1 975.

García Rubio, Juan Carlos y Guillermo García Gonzales. *Orientaciones para el cultivo del arándano*. http://www.naviaporcia.com/images/documentos/documento_173.pdf (09 de noviembre de 2 014).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO- *Propiedades químicas de los suelos*. ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s06.htm (03 de octubre de 2 012).

Navarro García, Gines. Et. Al. *Química agrícola*. Madrid España: Ediciones Mundi-Prensa, 2 003.

Secretaría de agricultura, ganadería, pesca, desarrollo rural y alimentación de México -SAGARPA-. *Uso de fertilizantes*. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Uso%20de%20Fertilizantes.pdf> (30 de octubre de 2 012).

Ugarte, Alexandra. *Clases de textura: Propiedades y textura de los suelos*. <http://suelooh.blogspot.es/1196728320/> (03 de octubre de 2 012).

Zapata, Raúl. *El origen de la acidez del suelo*. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1735/3/9583367125.3.pdf> (30 de octubre de 2 012).



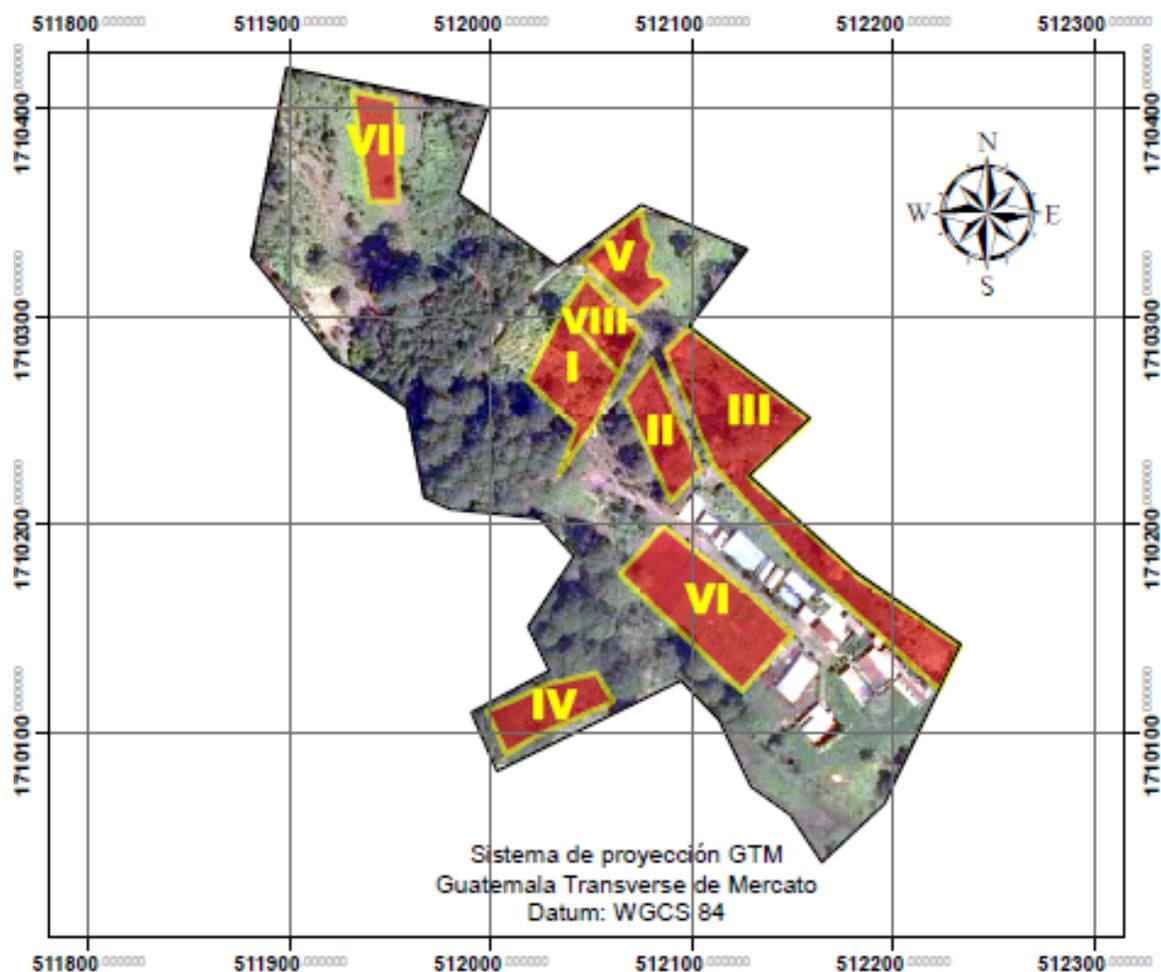
V.O.B.

Adán García Véliz
 Licenciado en pedagogía e investigación educativa
 Bibliotecario

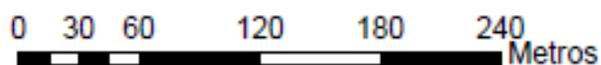


ANEXOS

MAPA 2



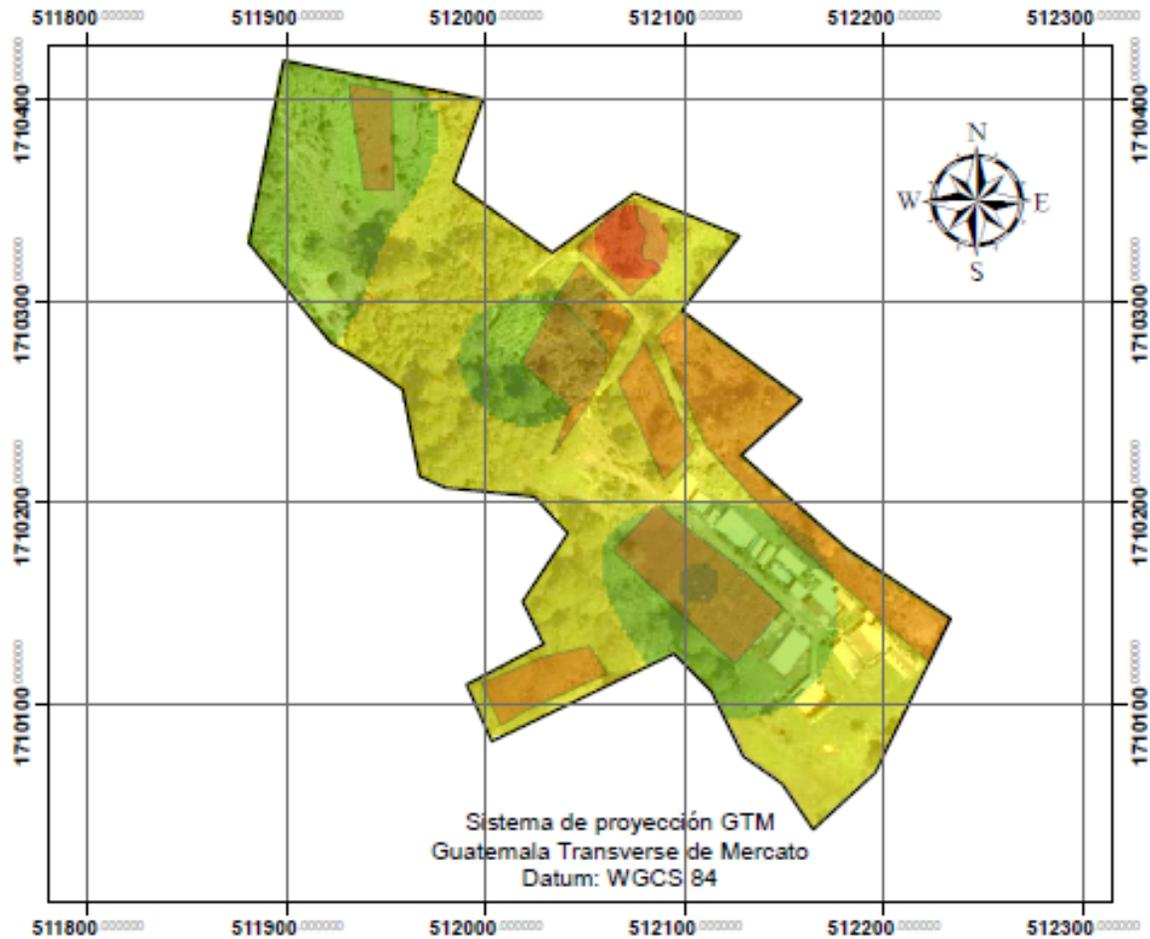
LEYENDA	
Nomenclatura de las unidades de estudio	Área (m ²)
I	1 494, 6147
II	1 146, 2371
III	4 653, 2823
IV	1 149, 809
V	951, 7013
VI	2 913, 7795
VII	919, 768
VIII	803, 0321



Escala 1:3,500

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012

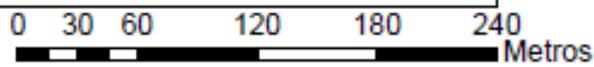
MAPA 3 PENDIENTES



LEYENDA

 Unidades de estudio

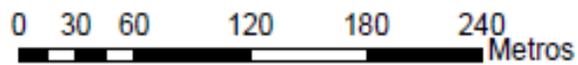
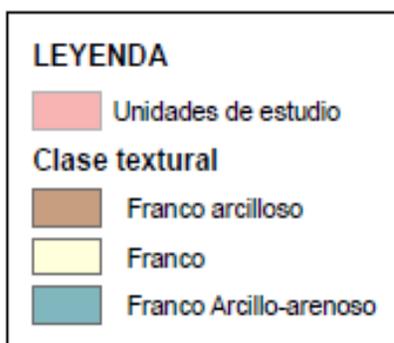
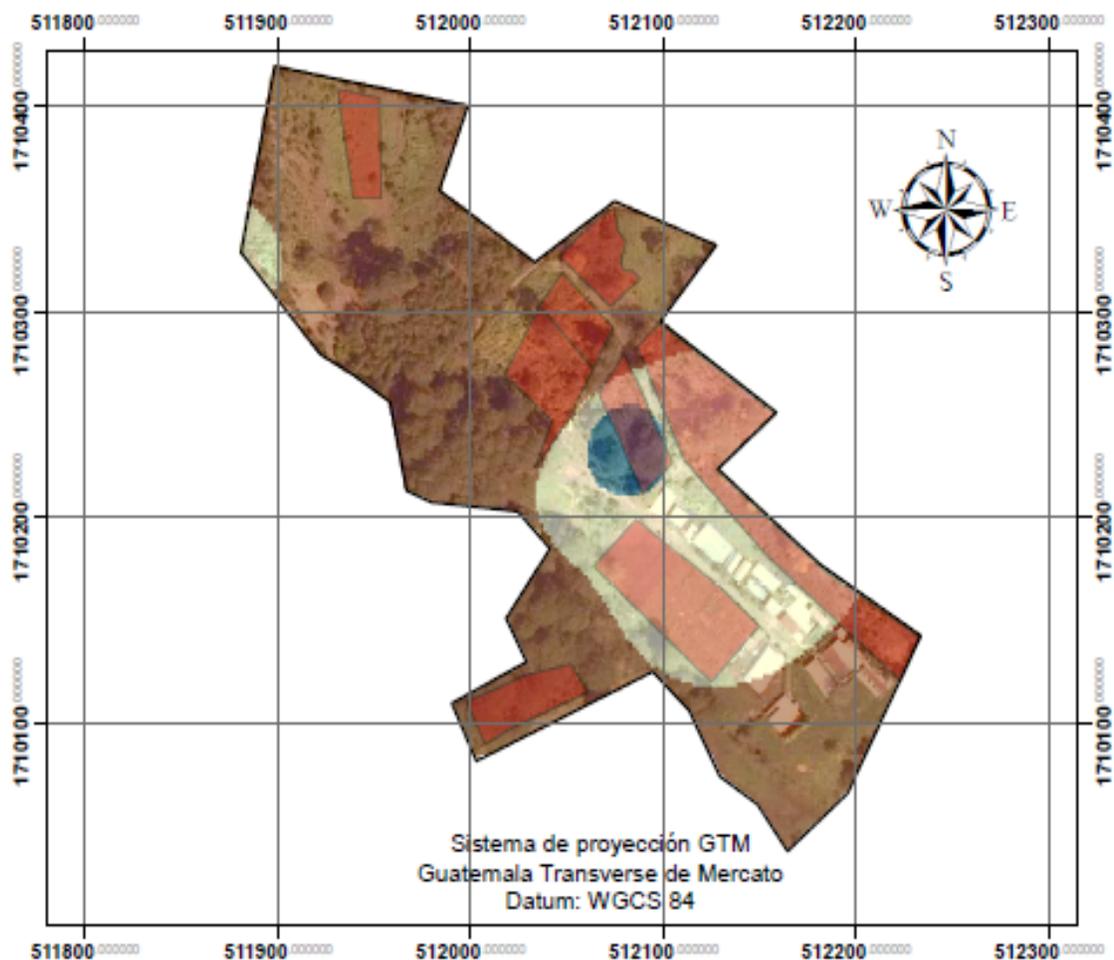
Rango de pendientes	Porcentajes
	0 - 10
	10 - 20
	20 - 30
	30 - 40
	40 - 50



Escala 1:3,500

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012

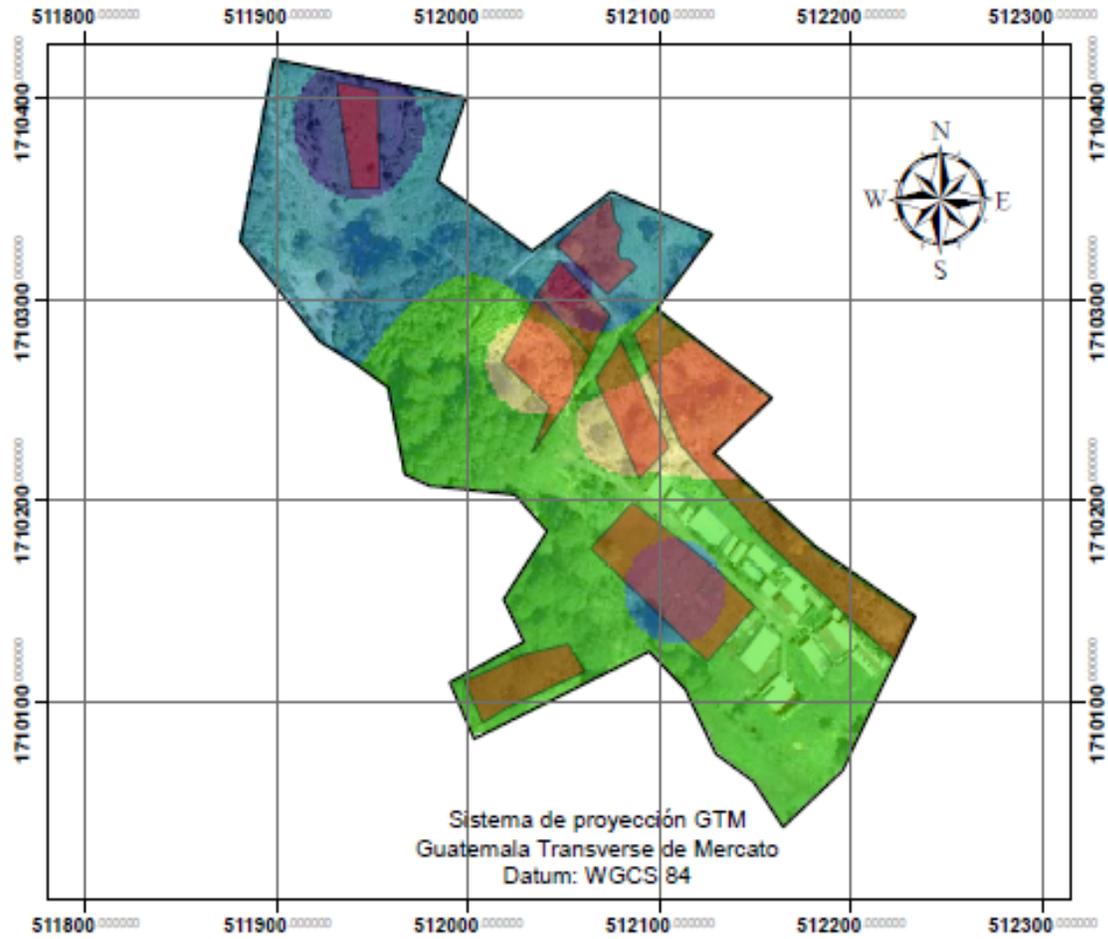
MAPA 4 TEXTURA EN EL HORIZONTE A



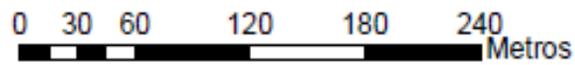
Escala 1:3,500

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012

MAPA 5 PH EN EL HORIZONTE A



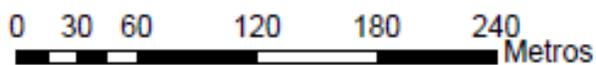
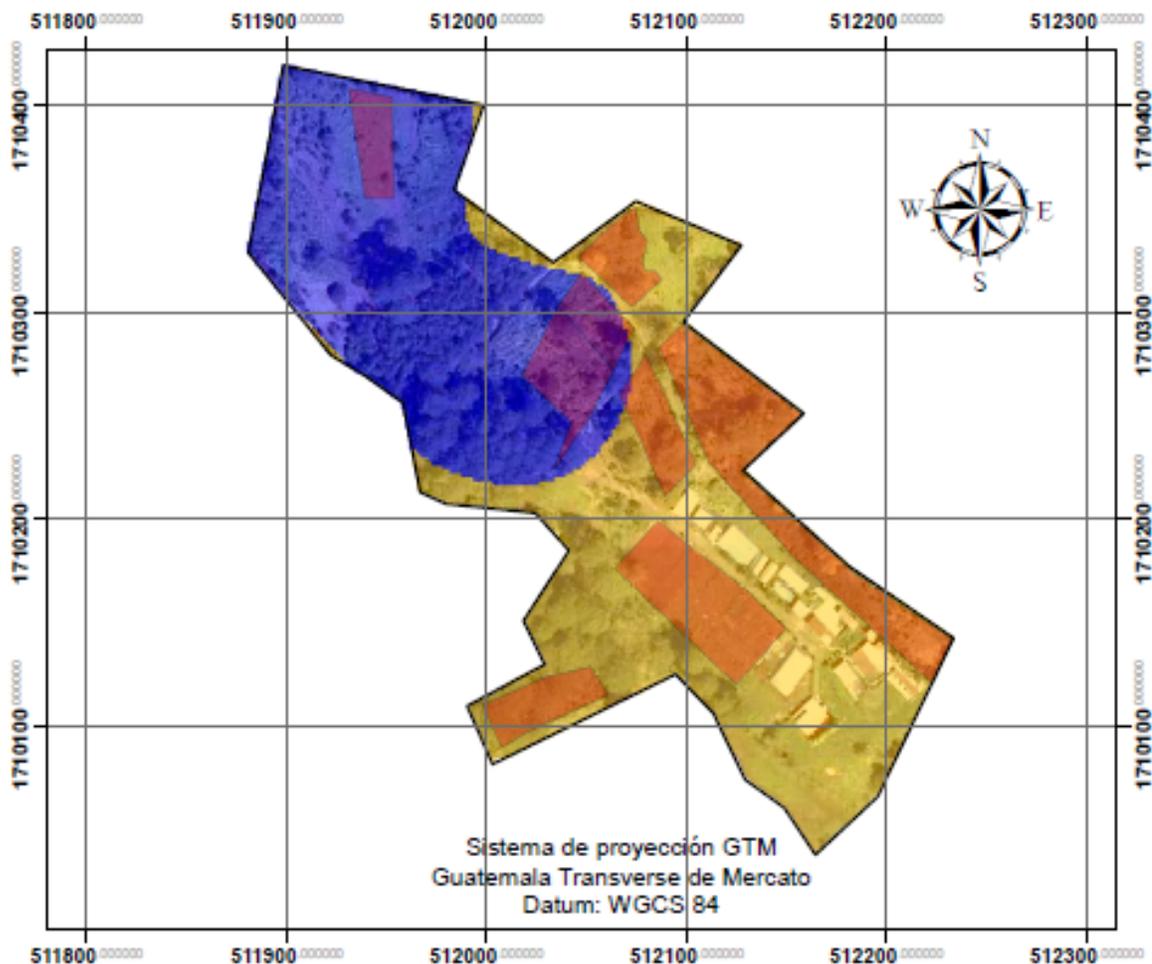
LEYENDA	
	Unidades de estudio
PH	Rango
	5.60 - 5.90
	5.91 - 6.20
	6.21 - 6.50
	6.51 - 6.80



Escala 1:3,500

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012

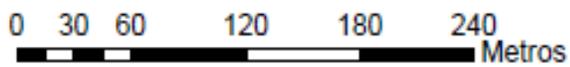
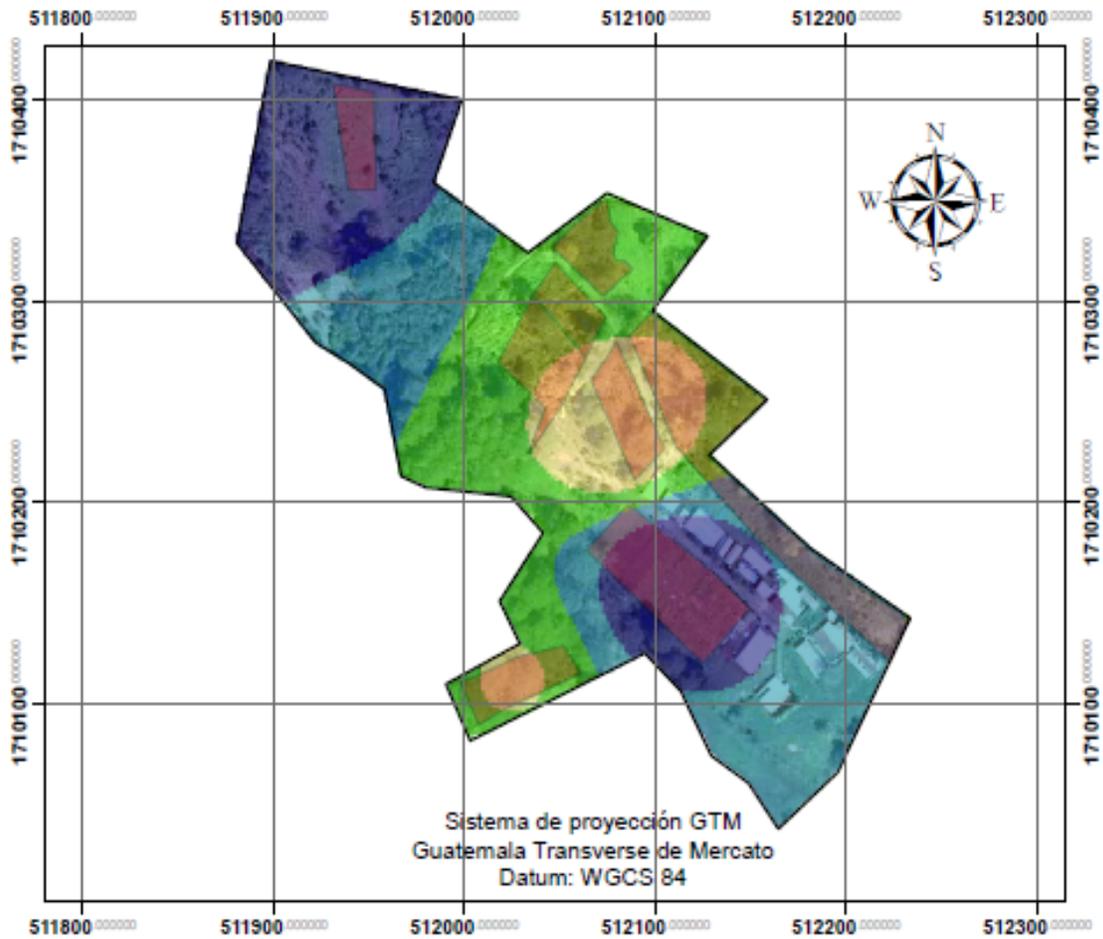
MAPA 6 PROFUNDIDAD EFECTIVA



Escala 1:3,500

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012

MAPA 3 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO



Escala 1:3,500

Fuente: Investigación de campo. Año 2 012

FOTOGRAFÍA 2
MOTEADO ESFÉRICO DENTRO DEL ESTRATO
B.1 EN LA UNIDAD PRODUCTIVA IV.



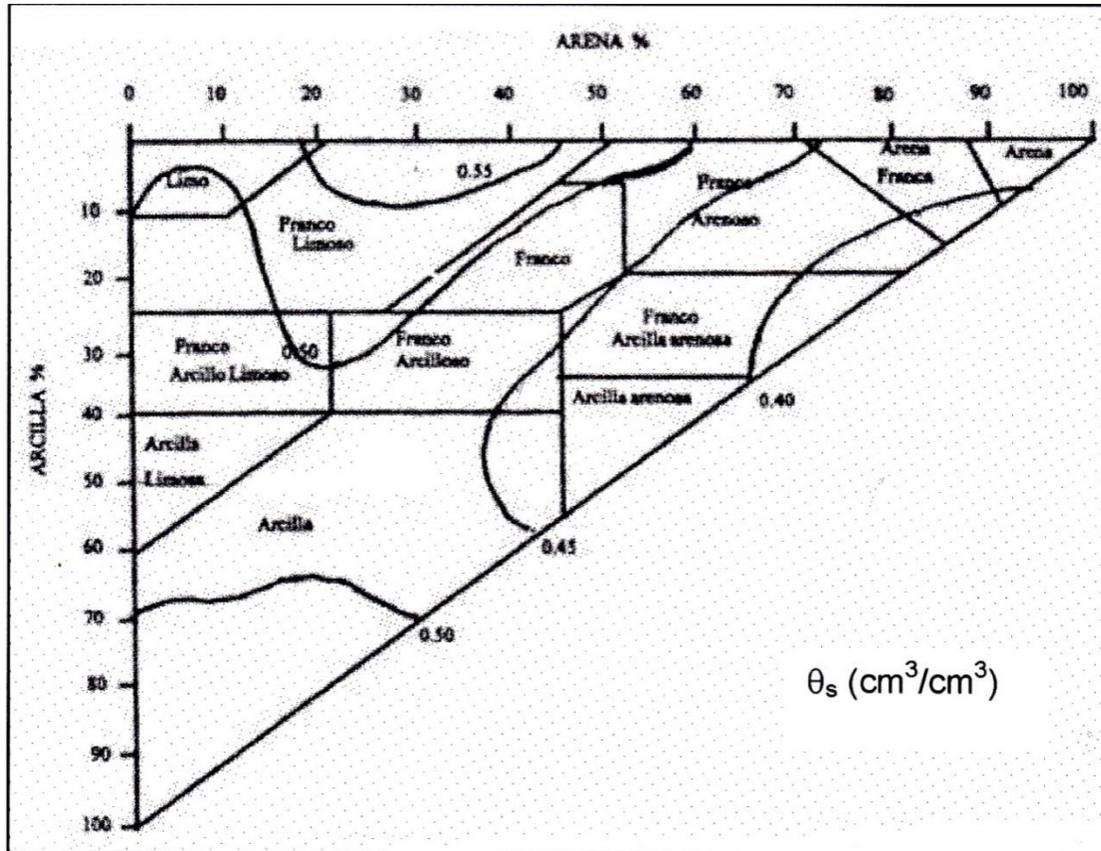
Tomada por: Eddy J. Zuleta Ax. Año 2 012

FOTOGRAFÍA 3
CAJUELA EN LA UNIDAD PRODUCTIVA VIII



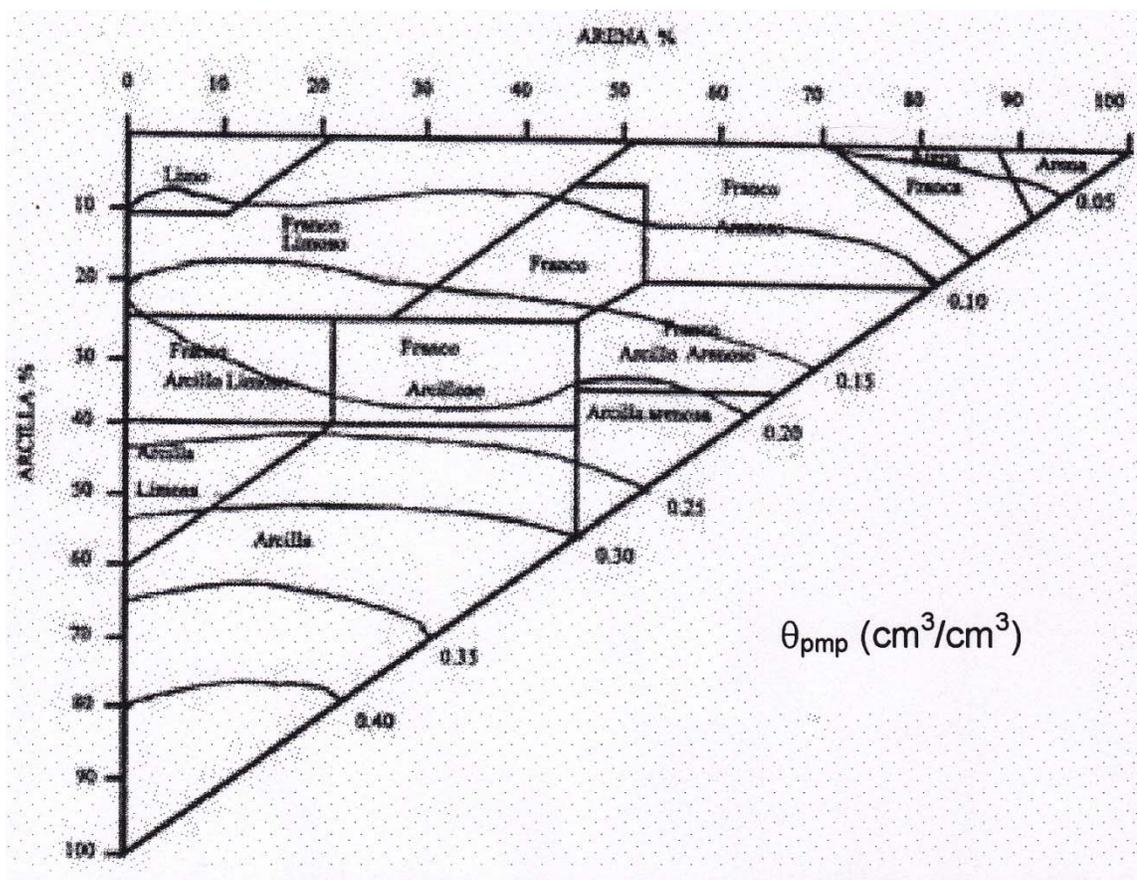
Tomada por: Eddy J. Zuleta Ax. Año 2 012

FIGURA 1
TRIÁNGULO PARA DETERMINAR LA POROSIDAD DEL SUELO



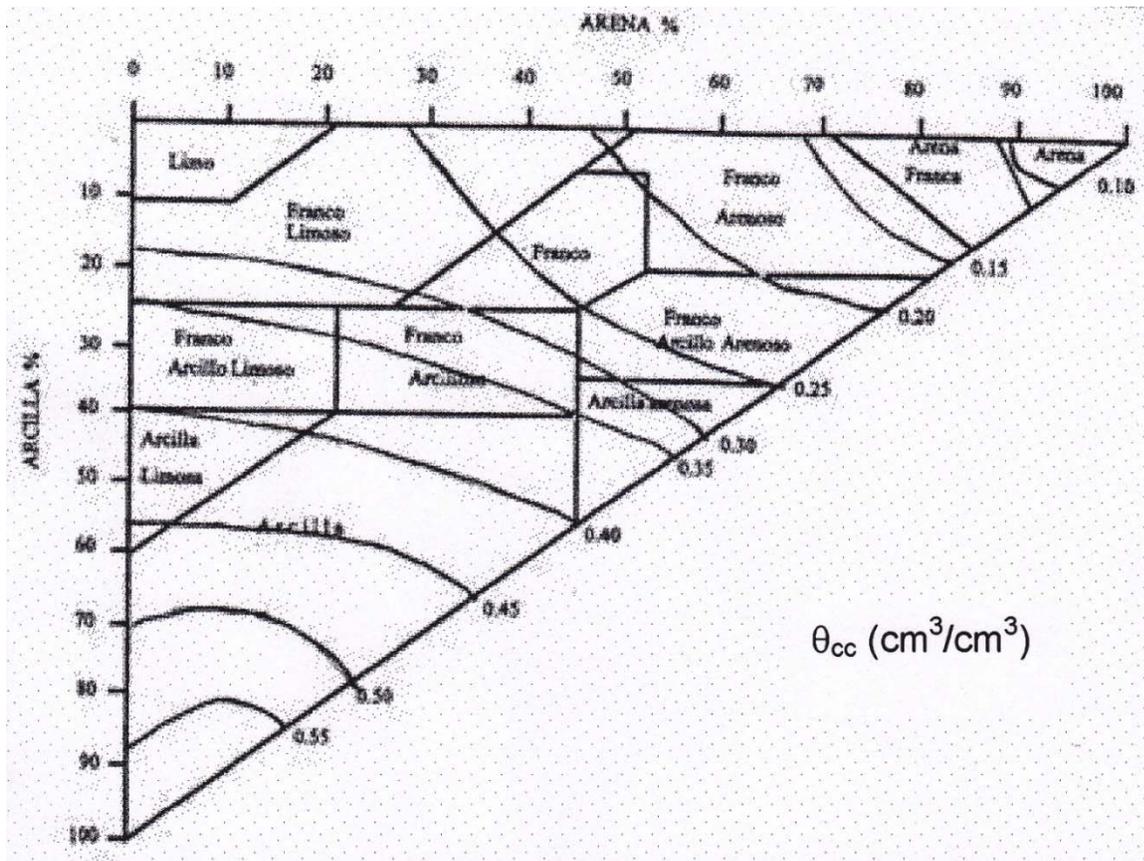
Fuente: disponible en: http://calificaciones.weebly.com/uploads/1/0/6/5/10652/triangulo_cfr.pdf
 (15 de octubre de 2 012)

FIGURA 2
TRIÁNGULO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE



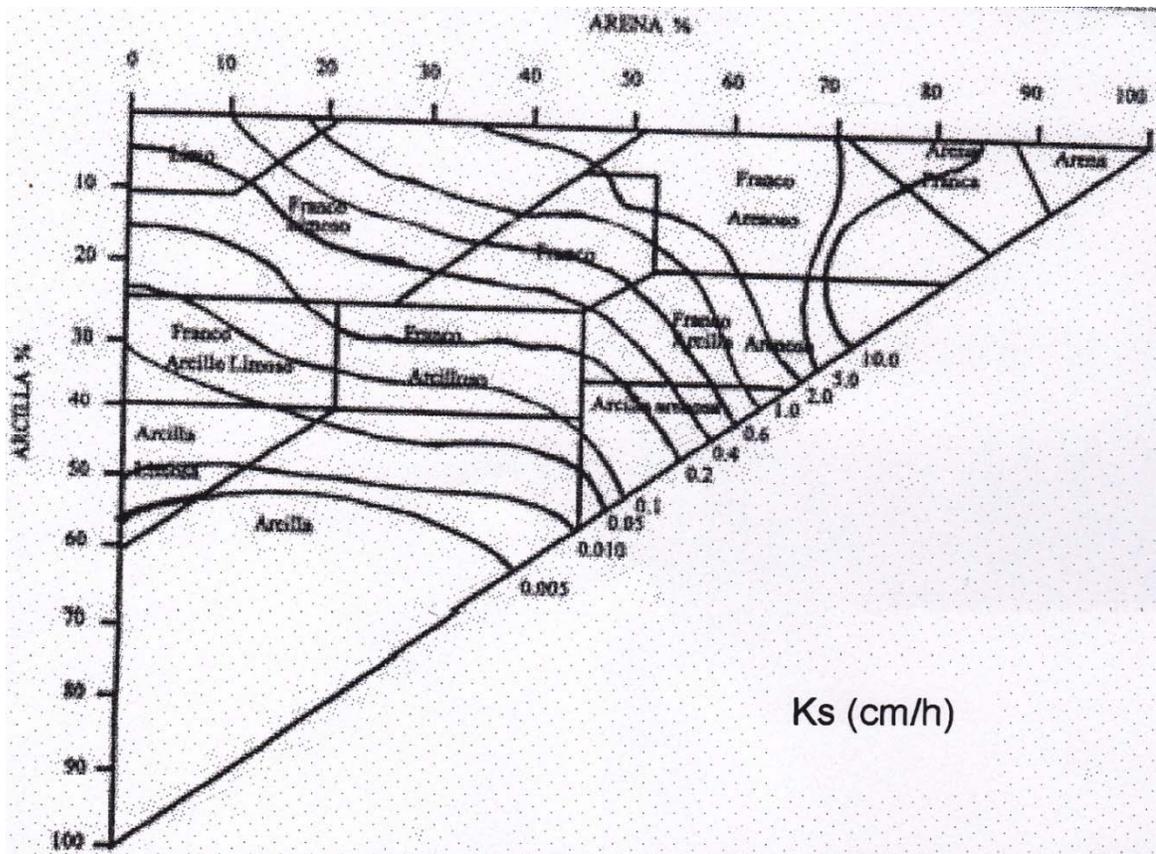
Fuente: disponible en: http://calificaciones.weebly.com/uploads/1/0/6/5/10652/triangulo_s_cfr.pdf
 (15 de octubre de 2 012)

FIGURA 3
TRIÁNGULO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CAMPO



Fuente: disponible en: http://calificaciones.weebly.com/uploads/1/0/6/5/10652/triangu_los_cfr.pdf
 (15 de octubre de 2 012)

FIGURA 4 TRIÁNGULO PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA



Fuente: disponible en: http://calificaciones.weebly.com/uploads/1/0/6/5/10652/triangu_los_cfr.pdf
(15 de octubre de 2 012)

(Metodologías y cálculos)

3.1 Medición de pendientes

El instrumento utilizado para esta determinación fue el clinómetro o nivel Abney y un jalón (vara) marcado a la altura de los ojos (sobre un nivel de referencia) del observador para medir la pendiente en cada segmento, el procedimiento para la toma de lecturas para cada una de las unidades de estudio fue la siguiente: primeramente se procedió a elegir los puntos de variación de cotas dentro de la unidad de estudio, con el fin de hacer las lecturas tomando en consideración todas las variaciones posibles, para poder de esta manera determinar el porcentaje de pendiente máximo y mínimo dentro de la unidad de estudio.

posteriormente después de establecidos los puntos de lectura, se procedió a la medición de las mismas haciendo uso necesario de un jalón o vara recta con el propósito de hacer una marca a la altura de los ojos más 25 cm necesarios para que el jalón se pudiera sostener enterrándolo a dicha profundidad, luego de esto se hizo la lectura del ángulo vertical, manteniendo coherencia entre la marca del jalón y el ajuste del nivel de burbuja en el clinómetro, teniendo en consideración que la distancia entre el observador y el jalón no fuera mayor de 25 m, para evitar errores de apreciación. El número de lecturas promedio para cada unidad de estudio fue de 6.

3.2 Abertura y descripción de la calicata

Primero se seleccionó el sitio de de la abertura de la calicata, procurando encontrar áreas uniformes en cuanto a relieve, niveles de humedad o saturación de agua, entre otras características que permitieron determinar áreas homogéneas.

Luego de haber seleccionado el área de muestreo se procedió a realizar la apertura del a calicata, las cuales contaban con las dimensiones mínimas de 0.75 metros de ancho, por 1.5 metros de largo por 1.5 metros de profundidad.

3.2.1 Orientación de la calicata

La parte de la calicata con la dimensión de 1.5 metros fue orientada en la dirección norte sur, para que los rayos solares penetraran en las secciones largas de las calicatas.

3.2.2 Criterios de identificación y nomenclatura de los estratos

Después de haber hecho las calicatas se realizó la identificación y nomenclatura de los estratos, los cuales fueron hechos con base a los cambios de color en el perfil.

Se identificó los cambios de características en las cuales se midió con cinta métrica empezando desde la superficie en el cual se fue refiriendo el rango de profundidad para cada uno de los estratos

Se identificaron y se tipificaron todas las características físicas y morfológicas presentes en cada estrato: Color, textura al tacto, estructura, presencia de raíces y límites de los horizontes, y por

último Se sacaron muestras de la calicata para ponerlas a secar al aire para hacer los análisis de laboratorio correspondientes tales como: color con la escala Munsell, textura por medio de la metodología bouyoucos, consistencia, potencial de hidrogeno, conductividad eléctrica y reacción al ácido clorhídrico

3.3 Consistencia del suelo.

Se determinó por medio de una metodología propuesta por el laboratorio de edafología I de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3.1 Procedimiento

Se determinó dicho parámetro con una muestra secada al aire y otra humedecida (no saturada).

Por lo cual los parámetros de decisión se describen a continuación

a. Consistencia en seco

Suelto: Sin coherencia.

Blando: La masa del suelo tiene débil coherencia y friabilidad, se deshace en polvo o granos sueltos bajo muy ligera presión.

Ligeramente Duro: Débilmente resistente a la presión, se puede romper en la mano sin dificultad, pero difícilmente se rompe entre pulgar e índice.

Muy Duro: Muy Resistente a la presión, se puede romper en la mano solamente con dificultad. No se rompe entre pulgar e índice.

Extremadamente duro: extremadamente resistente a la presión, no se puede romper en la mano.

b. Consistencia en húmedo

Se determina con un contenido de humedad aproximadamente intermedio entre el suelo seco y su capacidad de campo, intentando desmenuzar en la mano, una masa de suelo que se encuentra ligeramente humedecida.

Suelto: sin coherencia

Muy friable: el material se desmenuza fácilmente bajo presión pero se une cuando se le comprime.

Friable: el material se desmenuza fácilmente bajo ligera o moderada presión entre pulgar e índice.

Firme: el material se desmenuza bajo fuerte presión entre pulgar e índice, pero se nota una clara resistencia

Muy firme: el material se desmenuza bajo fuerte presión, apenas desmenuzables entre pulgar e índice.

Extremadamente firme: El material se desmenuza solamente bajo una presión muy fuerte; no se puede desmenuzar entre pulgar e índice y se debe romper pedazo a pedazo.

3.4 Textura al tacto

Se determinó por medio de una metodología propuesta por el CYMIT, la cual consiste en lo siguiente:

Se colocó aproximadamente 1 cucharada de tierra fina y seca en la palma de la mano luego se dejó caer lentamente unas gotas de agua sobre la tierra con el propósito de que se empiece a pegar en la mano. Luego formar una bola de unos 2.5 cm de diámetro. La medida en que la tierra húmeda se puede moldear, se puede llegar a hacer una inferencia sobre su clase textural. Por lo cual los criterios de decisión son presentados a continuación:

Arenoso (A): La tierra permanece suelta con granos separados: solo se puede amontonar en una pirámide.

Franco arenoso (B): La tierra contiene suficiente limo y arcilla para tener cierta cohesión; se puede moldear para formar una bola que se desmorona fácilmente.

Franco limoso (C): Lo mismo que el franco arenoso, pero se puede moldear la tierra rodándola con la mano para formar un cilindro grueso y corto.

Franco (D): Cantidades casi iguales de arena, limo y arcilla, hacen que la tierra se pueda rodar con la mano para formar un cilindro de 15 cm de largo, que se quiebra al doblarlo.

Franco arcilloso (E): Igual que el suelo franco, aunque el cilindro se puede doblar en U (pero no más allá) sin que se rompa

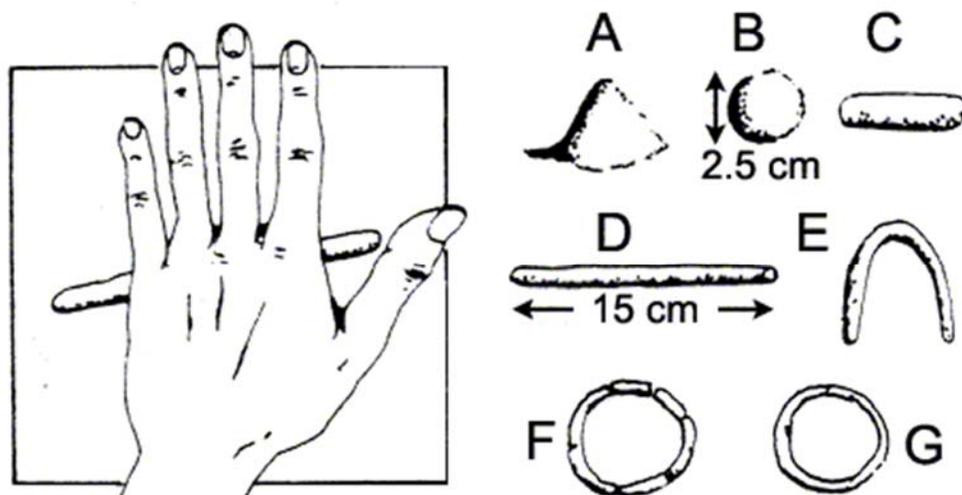
Arcilloso ligero (F): Al doblarse en un círculo se agrieta un poco.⁵⁴

Arcilloso pesado (G): Se puede formar un círculo con la tierra sin que se agriete.

⁵⁴ Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo –CYMIT-. Textura al tacto <http://maizedoctor.org/es/component/content/article/157-espanol/metodos-de-medicion/229-identificar-la-clase-de-textura-del-suelo> (25 de marzo de 2012)

Las formas anteriores se encuentran resumidas en la siguiente figura.

FIGURA 5
FORMAS DEL SUELO PARA INFERIR EN LA TEXTURA AL TACTO



Fuente: Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo -CYMIT-.
Disponible en: <http://maizedoctor.org/es/component/content/article/157-espanol/metodos-de-medicion/229-identificar-la-clase-de-textura-del-suelo> (25 de marzo de 2012)

3.5 Determinación del color del suelo por medio de la escala de Munsell

3.5.1 Materiales

Tabla de Munsell.

Placas de porcelanas.

Pizeta

Agua destilada

3.5.2 Procedimiento.

Se llenó las cavidades de la placa de porcelana con suelo secado al aire y tamizado por malla de 2 mm para comparar el color del suelo con la escala de colores de Munsell y determinar dicho color agregándole unas cuantas gotas de agua hasta saturación y para luego volver a determinar el color de la misma forma.

En dicha comparación se realizó la determinación de las tres propiedades básicas del color descritas en la escala Munsell las cuales son:

Matiz: Longitud de onda dominante o color de la luz.

Valor: (Intensidad), a veces llamado brillantez, cantidad total de luz y aumenta en magnitud de los colores oscuros o claros.

Croma: Indica la pureza relativa de la longitud de onda de la luz dominante, aumenta al disminuir las proporciones de la luz blanca.

3.6 Determinación de agua gravimétrica

3.6.1 Materiales y Equipo

Balanza analítica

Horno de convección.

Cajas de aluminio con tapadera.

3.6.2 Procedimiento

Se midió el peso de una caja de aluminio.

Se agregó una porción de suelo húmedo a la caja de aluminio (10g.).

Se colocó al horno la caja con el suelo, encendiendo y calibrando a una temperatura de 105 a 110 °C. luego se procedió a colocar las muestras en el horno hasta que alcanzaran un tiempo de 24 horas.

Y por último se midió el peso de la caja más el suelo en base seca.

3.6.3 Cálculos

(Peso de la caja más muestra húmeda) – (Peso de la caja más muestra seca) = Peso del agua

(Peso de la caja más muestra seca) – ((Peso de la caja) = Peso de la muestra seca

Fórmula utilizada % de agua = $\frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$

3.7 Textura por medio del hidrómetro de bouyoucos.

3.7.1 Materiales y Equipo

Balanza analítica

Beakers de 250ml.

Agitadores eléctricos con sus copas metálicas.

Cilindros de sedimentación.

Hidrómetros y termómetros.

Agua destilada

NaOH 10% P/V

Alcohol isoamílico.

3.7.2 Procedimiento

Se tamizó la muestra de suelo de cada uno de los estratos a 2 mm.

Luego se pesó 55 gramos de suelo, debido a que ninguna muestra presentaba una textura aproximada arenosa, caso contrario se procede a tomar una muestra de 100 gramos de suelo.

Se colocó la muestra en un beaker de 250 ml. (previamente numerado). Luego se aforó el beaker hasta la mitad con agua destilada y se adicionó 10 ml de hidróxido de sodio al 10% P/V

Se agitó la muestra con una varilla de vidrio y se dejó en reposo por lo menos durante 16 horas. Este tiempo de humedecimiento del suelo con el agente dispersante sirve para eliminar los problemas de floculación ó cementación que pudieran presentarse por la presencia de materia orgánica en un suelo mineral promedio.

Con ayuda de una pizeta se trasladó la muestra remojada al vaso de agitación. Se lleno hasta 2/3 con agua destilada, luego se agitó durante 5 minutos.

Se trasladó la suspensión a un cilindro de sedimentación, luego se agregó agua destilada a temperatura ambiente hasta la marca inferior del cilindro (1130 ml).

En otro cilindro se agregó agua destilada y 10 ml de hidróxido de sodio al 10% P/V, para hacer las correcciones posteriores de los gramos en suspensión atribuidos al agente dispersante.

Se movió el hidrómetro con la suspensión de suelo y se colocó un tapón de hule en la boca del cilindro.

Se agitó la suspensión volteando hacia arriba y hacia abajo durante un minuto, haciendo de 20 a 30 movimientos durante ese minuto.

Inmediatamente después de la última vuelta del cilindro hacia arriba, se colocó en un superficie firme y se tomó el tiempo.

A los 20 segundos se introdujo cuidadosamente el hidrómetro, se libero en la suspensión y a los 40 segundos exactos se tomo la primera lectura (gramos en suspensión de arcilla y limo)

Cuidadosamente se introdujo el termómetro en la suspensión, se observó y se anotó la temperatura, para hacer las correcciones posteriores; ya que el hidrómetro está calibrado para medir a una temperatura de 20°C, y por cada grado arriba de los 20°C se le suma a la lectura 0.36, caso contrario por cada grado debajo de 20°C se le resta a la lectura 0.36

A las dos horas se tomo la segunda lectura (gramos en suspensión de arcilla) del hidrómetro así como la temperatura de la suspensión para hacer la respectiva corrección.

Una vez determinados los porcentajes de las diferentes partículas, se usó el triangulo textural para determinar la clase textural de la muestra

3.7.3 Cálculos

$$\text{Peso suelo seco} = \frac{\text{Peso suelo húmedo}}{1 + \% \text{ de agua (con decimales)}}$$

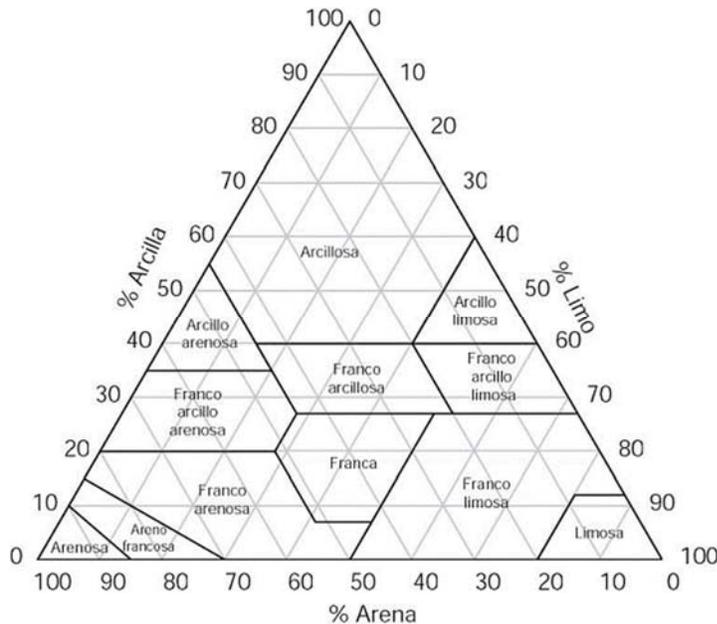
Gramos del material corregidos = lectura suspensión – lectura agente dispersante (+,-) corrección por temperatura

$$\% \text{ de arena} = \frac{\text{gramos de arena} \times 100}{\text{gr. de suelo seco}}$$

$$\% \text{ de limo} = \frac{\text{gramos de limo} \times 100}{\text{gr suelo seco}}$$

$$\% \text{ de arcilla} = \frac{\text{gramos de arcilla} \times 100}{\text{gr suelo seco}}$$

**FIGURA 6
TRIANGULO TEXTURAL (U.S.D.A)**



3.8 Determinación de pH y conductividad eléctrica

3.8.1 Equipo y Reactivos:

Multi-parámetro marca comercial Hach.

Buffers de pH conocido (4, 7 y 10).

Beakers

Agua destilada

3.8.2 Procedimiento:

Se pesó 20 g de suelo tamizado y secado al aire y luego se le agregó 20 ml de agua destilada en un beaker de 100 ml (relación 1:1).

Se mezcló con un agitador de vidrio por 30 minutos.

Se realizó la lectura de pH y conductividad eléctrica en las sondas respectivas del multi-parámetro, (previa estandarización con las soluciones buffers)

3.9 Determinación de la cantidad de acidez intercambiable

3.9.1 Materiales Reactivos:

KCl 1 N.

NaOH 0.05 N.

Fenofaleina como indicador.

Papel filtro

3.9.2 Procedimiento

Se pesó 10 gramos de suelo.

Se procedió a medir 50 ml de KCl 1 N.

Luego de haber pesado y medido los 10 gramos de suelo se procedió a realizar la mezcla de ambos agitando durante 30 minutos.

Se Filtra la mezcla anterior para después lavar con 50 ml de KCl 1 N, agregándolo en incrementos de 10 ml.

La solución filtrada fue titulada con NaOH.

3.9.3 Cálculos

Para determinar la acidez intercambiable expresada como miniequivalentes por 100 gramos de suelo, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez intercambiable} = \text{normalidad de base} \times \text{ml. de base} \times \frac{100}{\text{Peso del suelo}}$$

$$\text{meq de calcio para neutralizar el Aluminio} = \text{Acidez intercambiable} \times 1.5$$

3.10 Análisis de fertilidad

Para la determinación de elementos nutritivos en las muestras de suelo de cada una de las unidades de estudio, se procedió a hacer uso del

espectrofotometro, de absorción atómica usando los siguientes reactivos y procedimientos:

3.10.1 Reactivos:

Reactivo de Extracción, Carolina del Norte (0.05N HCl en 0.025 N H₂SO₄)

Oxido de Lantano al 0.25%

Estándares de calcio, magnesio y potasio 1,000 ppm

3.10.2 Procedimiento

a. Preparación de la muestra

Se pesó 5 g de suelo y se le agregó 25 ml de solución extractora (carolina del Norte), se agitó durante 5 minutos y se filtró la muestra (extracto)

Del extracto se tomó 1 ml y se le adicionó 19 ml de La₂O₃ (óxido de Lantano 0.25%) para el caso del magnesio y calcio, a diferencia del potasio se utilizo 24 ml de agua destilada en sustitución del oxido de lantano.

b. Preparación de los estándares para calibrar el espectrofotómetro.

Para la elaboración de estos estándares se extrajo un volumen determinado que varía según el elemento, de las

soluciones a 1000 ppm de calcio, magnesio y potasio, como muestra el cuadro siguiente:

CUADRO 21
VOLUMEN EXTRAÍDO DE LAS SOLUCIONES
MADRES DE Ca, Mg y K

	Alícuota extraída de la solución 1000 ppm (ml)
K	
Estándar 1	5
Estándar 2	15
Estándar 3	30
Ca	
Estándar 1	1
Estándar 2	2
Estándar 3	6
Mg	
Estándar 1	10
Estándar 2	30
Estándar 3	60

Fuente: investigación de campo. 2 012

Después de ello se procedió a aforar con 100 ml de agua destila cada uno de los estándares.

De cada uno de los estándares se toma 1ml y se le agrega 24 ml de agua destilada para el potasio y 19 ml de oxido de lantano para el calcio y magnesio (mismo procedimiento que se hizo con el extracto), con el fin de que

queden las siguientes concentraciones mostradas en la siguiente pagina.

CUADRO 22
CONCENTRACIÓN EN PARTES POR MILLON DE
LOS ESTANDARES

Concentración en ppm de los estándares	
K	
Estándar 1	2
Estándar 2	6
Estándar 3	12
Ca	
Estándar 1	5
Estándar 2	15
Estándar 3	30
Mg	
Estándar 1	0.5
Estándar 2	30
Estándar 3	60

Fuente: Investigación de campo. Año 2012.

Después de obtenidas las concentraciones anteriores se calibró el espectrofotometro elaborando una curva patrón en función de la concentración en ppm de los estándares (1,2,3).

c. Determinación de los elementos

Por último se colocó los extractos de suelo en el succionador del espectrofotómetro para sus respectivas lecturas.

La lectura obtenida fue en ppm por lo cual se tuvo que multiplicar por su correspondiente factor de dilución (100 para el calcio y magnesio y 125 para el potasio), para saber la concentración de ppm en la muestra de 5g de suelo, y para saber la concentración en meq/100g de suelo se procedió a dividir el dato de ppm entre la multiplicación del peso equivalente del elemento por 10.

Para el caso de los demás elementos analizados se utilizó el extracto del potasio y las lámparas correspondientes para la determinación de Mn, Zn, Fe, Cu.



CUNOR

CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Universidad de San Carlos de Guatemala



15088

El Director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos, luego de conocer el dictamen de la Comisión de Trabajos de Graduación de la carrera de:

Agronomía

Al trabajo titulado:

Caracterización física y química de los suelos de las áreas productivas del Centro Universitario del Norte

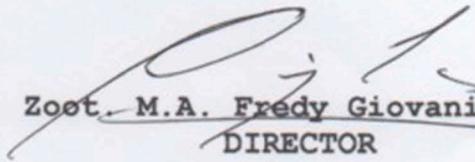
Presentado por el (la) estudiante:

Eddy Josué Zuleta Ax

Autoriza el

IMPRIMASE

"Id y enseñad a todos"


Lic. Zoot. M.A. Fredy Giovanni Macz Choc
DIRECTOR



Cobán, Alta Verapaz agosto del 2015