

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN



**CALIDAD DEL SUELO Y MACROFAUNA, DE LOS SISTEMAS
AGROFORESTALES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.), EN EL
MUNICIPIO DE CAHABÓN DEL DEPARTAMENTO DE ALTA
VERAPAZ**

WILLY ESTUARDO MÓ COY

COBÁN, ALTA VERAPAZ, JULIO DE 2015

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**CALIDAD DEL SUELO Y MACROFAUNA, DE LOS SISTEMAS
AGROFORESTALES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.), EN EL
MUNICIPIO DE CAHABÓN DEL DEPARTAMENTO DE ALTA
VERAPAZ**

**PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE**

POR

**WILLY ESTUARDO MÓ COY
CARNÉ 200340011**

**COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

COBÁN, ALTA VERAPAZ, JULIO DE 2015

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

CONSEJO DIRECTIVO

PRESIDENTE:	Lic. Zoot. M.A. Fredy Giovani Macz Choc
SECRETARIA:	Licda. T.S. Floricelda Chiquín Yoj
REPRESENTANTE DOCENTE:	Ing. Geol. César Fernando Monterroso Rey
REPRESENTANTE DE EGRESADOS:	Ing. Agr. Julio Oswaldo Méndez Morales
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES:	Br. Fredy Enrique Gereda Milian PEM. César Oswaldo Bol Cu

COORDINADOR ACADÉMICO

Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales

COORDINADOR DE LA CARRERA

Ing. Agr. MAE. David Salomón Fuentes Guillermo

COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

COORDINADOR:	Ing. Agr. Ángel Arce Canahuí
SECRETARIO:	Ing. Agr. M.A. Edgar Armando Ruíz Cruz
VOCAL:	Ing. Agr. MAE. David Salomón Fuentes Guillermo

REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO

Ing. Civil MSc. Julio Enrique Reynosa Mejía.

REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. Agr. Marcos Rafael Flores Delgado

ASESOR

Ing. Agr. M.A. Edgar Armando Ruíz Cruz



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

Cobán, A.V., 24 de abril de 2015
Ref.: 15-A-088/2015

Señores:
Miembros de la Comisión de Trabajos de Graduación
Carrera de Agronomía
Centro Universitario del Norte -CUNOR-

Me dirijo a ustedes para informarles que he revisado el trabajo de graduación titulado **“Calidad del suelo y macrofauna, de los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*), en el Municipio de Cahabón del Departamento de Alta Verapaz”**, elaborado por el estudiante T.U. **Willy Estuardo Mó Coy**.

A mi criterio dicho trabajo cumple con las observaciones realizadas por la terna en la presentación oral de Seminario II, lo indicado en el acta que levantó la terna, así como las sugerencias y anotaciones que le hacen en los documentos que presentó.

En tal sentido, por este medio doy el aval al trabajo que he asesorado, para que continúe con el trámite respectivo.

Atentamente,



Id y enseñad a todos

Ing. Agr. Edgar Armando Ruiz Cruz
Asesor Principal.



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

Cobán, A.V., 23 de abril 2015
Ref. 15-A-087/2015

Señores Miembros
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Agronomía –CUNOR-

Señores:

Por este medio me permito informar que el **T.U. Willy Estuardo Mó Coy**, sí incorporó a su informe final de Trabajo de Graduación las correcciones y sugerencias que se le mandaron hacer en el documento y en la presentación del Seminario II.

Con base a lo anterior, se recomienda que dicho trabajo continúe con el trámite respectivo.

Atentamente,



Id y enseñad a todos

Agr. Marcos Rafael Flores Delgado
Revisor del Informe Final de Trabajos de Graduación y
Presidente Terna Evaluadora Seminario II
Carrera Agronomía

c.c. archivo



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

Ref. 15-A-156/2015
Cobán, A.V., 14 de julio de 2015

Señores
Comisión de Trabajos de Graduación
Carrera Agronomía
CUNOR

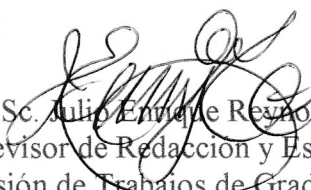
Señor Director:

Por este medio me permito informar que he revisado el trabajo de graduación presentado por el **T.U. Willy Estuardo Mó Coy**, titulado **“Calidad del suelo y macrofauna, de los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*), en el Municipio de Cahabón del Departamento de Alta Verapaz”**, y después de corroborar que se hicieron las observaciones formuladas, me permito dictaminar que dicho trabajo es satisfactorio en cuanto a las normas de redacción y estilo y puede continuar con el trámite respectivo.

Atentamente,



Id y enseñad a todos


Ing. M.Sc. Julio Enrique Reynosa Mejía
Revisor de Redacción y Estilo
Comisión de Trabajos de Graduación
Carrera de Agronomía - CUNOR

c.c. archivo



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

Ref. 15-A-157/2015.
15 de julio de 2015

Licenciado:
Fredy Giovani Macz Choc
Director del CUNOR

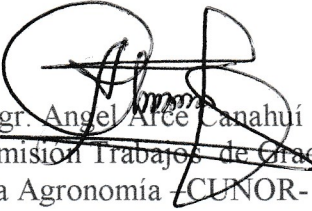
Señor Director:

Por este medio me permito informar que después de haber sido revisado y evaluado por el Asesor, el Revisor de Informes Finales y el Revisor de Redacción y Estilo, la Comisión de Trabajos de Graduación, emite su dictamen favorable para que el trabajo de graduación de el T.U. **Willy Estuardo Mó Coy**, titulado: **“Calidad del suelo y macrofauna, de los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*), en el Municipio de Cahabón del Departamento de Alta Verapaz”**, siga el trámite correspondiente a efecto se autorice el Imprimase.

Atentamente,



Id y enseñad a todos


Ing. Agr. Angel Arce Canahú
Presidente Comisión Trabajos de Graduación
Carrera 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 trabajo de graduación titulado: **“Calidad del suelo y macrofauna, de los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.), en el municipio de Cahabón del departamento de Alta Verapaz.”**, como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo en grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.



Willy Estuardo Mó Coy

Carné: 200340011

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 cada carrera, es la responsable de la estructura y la forma”.

Aprobado 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.

DEDICATORIA A:

- DIOS** Por iluminar y guiar mis pasos en mi formación académica, por darme fortaleza en momentos difíciles y superar obstáculos. Gracias Dios por la vida y por mi familia que comparte conmigo.
- MIS PADRES** Oscar Daniel Mó Cu y María Elena Coy, esta es la recompensa y el fruto de los sacrificios que han realizado por mí, son para mí un ejemplo de superación, el sudor derramado con el esfuerzo de trabajo. El cansancio no fue obstáculo para salir adelante, aun en momentos difíciles que la vida nos da. Gracias papá y mamá pues desde que era un niño los he visto luchar por nuestra familia, hemos compartido alegrías y tristezas pero siempre han estado conmigo.
- MIS HERMANOS** Marwin, Alida, por ser solidarios con mi persona, por sus consejos, experiencias y por brindarme siempre su apoyo y cariño en todo momento de mi vida.
- MI ESPOSA** María Lucrecia, por su amor, cariño y confianza quien ha sabido comprenderme y ha formado parte fundamental para lograr este objetivo.
- A MI HIJA** Jenifer Liliana, el regalo de dios que ha dado alegría a mi familia y que este logro sea para ella un ejemplo de sacrificio, pues ha sido fuente de inspiración para seguir luchando.
- A MIS SOBRINOS** Brayan, Laura, Yonathan, Evelin y Daniel, que sea para ellos un ejemplo, aprecien los consejos de sus padres y propónganse sus objetivos pues nada es imposible si tenemos fe en dios.
- MIS ABUELOS Y TIOS** Por el apoyo que me han brindado, por sus consejos.
- A MIS AMIGOS** Con quienes compartimos los momentos de desvelos, siempre solidarios y el apoyo para que pudiéramos salir adelante.

AGRADECIMIENTO A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala

En especial al Centro Universitario de Norte (CUNOR) y Carrera de Agronomía.

Mis Catedráticos

Quienes compartieron sus conocimientos y con el compromiso de educar; pues son quienes devuelven profesionales útiles a la sociedad.

Mi Asesor

Ing. Armando Ruiz, por su apoyo, orientación y su tiempo dedicado en la elaboración del presente trabajo.

Ing. Eduardo Say

Quien me dio la oportunidad de realizar la presente investigación en el CATIE y de orientarme en la elaboración del presente documento.

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE),

Por las experiencias obtenidas en la institución y por el financiamiento del presente trabajo.

La Fundación Fray Domingo de Vico

Por darme el espacio y el apoyo de los amigos quienes laboran en la fundación.

Las comunidades de Santa María Cahabón

A todas las personas de las comunidades que me acompañaron en campo, quienes me brindaron hospedaje y alimentación.

Todas las personas

Quienes me brindaron su amistad y apoyo, de quienes recibí consejos motivadores.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	5

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes	7
1.2 Revisión de literatura	10
1.2.1 Origen del cacao	10
1.2.2 Clasificación botánica	10
1.2.3 Descripción botánica	10
1.2.4 Fisiología	13
1.2.5 Requerimientos climáticos	13
1.2.6 Requerimientos edáficos	14
1.2.7 Propagación del cacao	15
1.2.8 Enfermedades de importancia para la región de Guatemala	15
1.2.9 Variedades o tipos principales de cacao	16
1.2.10 Requerimientos nutricionales	17
1.3 Suelo	18
1.4 Calidad de suelo	18
1.5 Indicadores de la calidad de suelo	19
1.6 Propiedades físicas indicadoras de calidad de suelo	20

1.6.1	Textura del suelo	20
1.6.2	Densidad aparente	22
1.6.3	Porosidad	23
1.6.4	Humedad gravimétrica	24
1.6.5	Humedad volumétrica	24
1.6.6	Porcentaje de saturación	25
1.7	Composición química de los suelos	25
1.7.1	Meteorización de minerales primarios	26
1.7.2	Meteorización física	27
1.7.3	Meteorización química	27
1.7.4	Meteorización biológica	28
1.7.5	Bioquímica del proceso de mineralización	28
1.8	Intercambio de cationes y aniones en los suelos	30
1.9	El pH del suelo	30
1.10	Macronutrientes	32
1.11	Micronutrientes	33
1.12	Carbono	34
1.13	Relación C / N	35
1.14	Relación N / P	36
1.15	Ecología del suelo	37
1.15.1	Importancia de los microorganismos como consumidores y descomponedores	37
1.15.2	Las lombrices como consumidoras y mezcladoras del suelo	38
1.15.3	Artrópodos consumidores y descomponedores	39
1.16	Macrofauna del suelo	40
1.17	Grupos funcionales de macrofauna	42

CAPÍTULO 2

MARCO METODOLÓGICO

2.1	Ubicación geográfica	49
-----	----------------------	----

2.2	Distancias y vías de acceso	49
2.3	Características climáticas	50
2.4	Suelo	50
2.5	Principio de muestreo	50
2.5.1	Condiciones de macro – paisaje	51
2.5.2	Condiciones ambientales, a nivel del micro – paisaje	51
2.6	Metodología del muestreo	52
2.6.1	Descripción del paisaje e identificación de la red experimental establecida por el CATIE	52
2.6.2	Muestreo y codificación de los cacaotales (plantación)	54
2.6.3	Metodología de muestreo de cada cacaotal	54
2.6.4	Tamaño del cuadro de muestreo	55
2.6.5	Topografía del cuadro de muestreo	56
2.7	Fase de campo	56
2.7.1	Reconocimiento de la red de parcela	56
2.7.2	Coordinación para muestreo	57
2.7.3	Extracción de muestras de suelo	57
2.7.4	Extracción de muestras para macrofauna	58
2.8	Fase de laboratorio	60
2.8.1	Preparación de muestras para secado en horno	60
2.8.2	Secado de suelo en horno	60
2.8.3	Análisis químico del suelo	60
2.8.4	Identificación de macroinvertebrados	61
2.9	Variables	61
2.9.1	Física del suelo	61
2.9.2	Datos químicos del suelo	62
2.9.3	Macrofauna	63
2.10	Descripción de fincas de la red experimental	64
2.11	Recursos	65
2.10.1	Humanos	65
2.10.2	Físicos	65

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1	Resultados	67
3.1.1	Análisis de componentes principales con 23 variables físico-químicas	68
3.1.2	Análisis de componentes principales con 7 variables	72
3.1.3	Análisis de conglomerados	74
3.1.4	Macrofauna y sus relaciones con las variables físico-químicas del suelo	84
3.2	Discusión de resultados	86
3.2.1	Indicadores de la calidad de suelos	86
3.2.2	Elementos del cacao y bosques	89
3.2.3	Macrofauna y sus correlaciones con las variables físico-químicas del suelo	94
	CONCLUSIONES	97
	RECOMENDACIONES	99
	BIBLIOGRAFÍA	101
	ANEXO	105

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. TIPOS DE SUELOS DE SANTA MARÍA CAHABÓN	50
2. VARIABLES DE MACROFAUNA	63
3. RED EXPERIMENTAL Y PROPIETARIOS DE PARCELAS MUESTREADAS	64
4. RANGOS ÓPTIMOS EN LOS SUELOS	68
5. RESUMEN DE GRUPOS FUNCIONALES	84

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA	PÁGINA
1. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES CON 23 VARIABLES FÍSICO –QUÍMICAS	71
2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES CON 7 VARIABLES	73
3. DENDOGRAMA DEL ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS	75
4. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)	77
5. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN CALCIO (Ca)	78
6. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE HIERRO (Fe)	79
7. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE PORCENTAJE DE POROSIDAD	80
8. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE PORCENTAJE DE SATURACIÓN	81
9. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE PORCENTAJE DE ARENA	82
10. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE PORCENTAJE DE ARCILLA	83
11. RELACIÓN MACROFAUNA Y VARIABLES INDICADORAS FÍSICO-QUÍMICAS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. UBICACIÓN DE CUADRO DE MUESTREO	55
2. DIMENSIONES DEL CUADRO DE MUESTREO	55
3. CELDAS DE MUESTREO PARA LA EXTRACCIÓN DE SUELO	56

RESUMEN

En el municipio de Santa María Cahabón, A.V., la producción del cacao es uno de los cultivos de importancia económica y consumo para las familias, además su bebida está relacionada especialmente a la cultura maya Q'eqchi'.

En este municipio seleccionaron 13 comunidades productoras de cacao, las cuales se encuentran en altitudes que van desde los 212 msnm a 543 msnm. Donde se estableció una red de 40 parcelas; 36 sistemas agroforestales de cacao y 4 bosques sin cacao. Dentro de cada sistema agroforestal de cacao y bosque, se establecieron las áreas de muestreo para la extracción de suelo, para su análisis en laboratorio para conocer las propiedades físicas – químicas, además de la captura de macrofauna existente en los suelos de estos sistemas agroforestales de cacao.

Se evaluaron un total de 23 variables físico-químicas para conocer la calidad de suelo en cada uno de los 36 sistemas agroforestales y 4 bosques. Para su análisis estadístico se realizó un análisis de componentes principales (ACP), donde se evaluaron todas las variables y dio como resultado un grupo de 7 variables; pH, Calcio (Ca), Hierro (Fe), Porosidad, % Saturación de agua, Arena y Arcilla, variables que mejor se correlacionaron. Éstas 7 variables fueron sometidas a un análisis de conglomerados con la finalidad de relacionar las variables mencionadas con los 36 sistemas agroforestales y 4 bosques, se logró agrupar los sistemas agroforestales y bosques en 6 grupos, cada grupo de parcelas se relacionó con una de las 7 variables físico-químicas, esto permitió conocer que parcelas tienen disponibilidad o carecen de elementos nutricionales. Las propiedades físico-químicas del suelo de los sistemas

agroforestales de cacao y bosques son similares debido a que quedaron agrupados en diferentes sistemas agroforestales, no hubo diferencia en la calidad de los suelos con respecto a las variables evaluadas.

Dentro de las 7 variables evaluadas el pH, es una variable importante en los suelos, debido a que de ella depende la disponibilidad de nutrientes, por lo que el pH en los suelos de Santa María Cahabón se mantiene en un promedio de 6 esto indica que la disponibilidad y concentración de fósforo es bajo en los suelos de la región, pero además existe una buena disponibilidad de Fe pues en rangos menores a 6 en suelos ácidos aumenta la disponibilidad de la misma.

Se determinó que los suelos de los sistemas agroforestales son franco-arcillosos, al considerar su textura; se relaciona con un alto porcentaje de saturación de agua por la capacidad de retención de agua que tienen los suelos arcillosos.

La macrofauna encontrada en los sistemas agroforestales de cacao se clasificó en 25 grupos funcionales, donde las *Formicidae* fueron las más abundantes con un 44,3 % y seguidos de las *Oligochaeta* con un 18,2 %, los suelos tienen una diversidad de macrofauna que realizan procesos biológicos en la descomposición de la materia orgánica.

INTRODUCCIÓN

La región norte de Guatemala se caracteriza por su diversidad de recursos que permiten una actividad agrícola diversificada para las Verapaces. Dentro de los cultivos de importancia se encuentran: Café, cardamomo, hortalizas, hule, granos básicos y cacao, entre otros. Por su importancia económica y cultural, en el municipio de Santa María Cahabón, del departamento de Alta Verapaz, se cultiva el cacao (*Theobroma cacao* L).

Este cultivo ha existido por años y se conservan materiales criollos. En la actualidad, la mayoría de las plantaciones son con material genético mejorado, con variedades introducidas en los años 80 por la Dirección General de Servicios Agrícolas (DIGESA). Dentro de las prácticas agrícolas se conservan las labores culturales convencionales, sin uso de agroquímicos para una producción orgánica de los sistemas agroforestales, lo que ayuda a conservar el medio ambiente.

Como parte del programa de investigación, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), cuenta con el Proyecto Cacao Centroamérica (PCC), debido a la importancia del cultivo para los agricultores en la región. La investigación permitió realizar un estudio de calidad de suelo y macrofauna de los sistemas agroforestales de cacao, para generar información sobre la diversidad de macrofauna existente, además de su relación con las propiedades físico - químicas de los sistemas agroforestales.

La recolección y extracción de muestras se realizó en 36 fincas que se dedican a la producción de Cacao y 4 bosques que conforman la red experimental distribuida en 13 comunidades del municipio de Santa María Cahabón del departamento de Alta Verapaz.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los productores de cacao en Cahabón y Lanquín, dentro de sus labores culturales para el cuidado y mantenimiento de sus cultivos, mantienen una producción orgánica, solo realizan podas de mantenimiento además de limpias. Sin embargo, descuidan uno de los recursos importantes como lo es el suelo, que brinda las condiciones adecuadas para el anclaje de la zona radicular y pone a disposición de las plantas los nutrientes necesarios para su desarrollo fisiológico.

El desgaste y pérdida de fertilidad de los suelos, se han ocasionado por la extracción de elementos de los sistemas agroforestales de cacao y por erosiones en algunas fincas debido a la pendiente muy pronunciada que presentan alterando las propiedades físico-químicas, al perder además la poca materia orgánica que la macrofauna del suelo transforma para su integración al mismo; estos grupos funcionales y su actividad permite suplir algunas necesidades de las plantas pues dado que en estas fincas cacaoteras no existe un plan de manejo orgánico, no se da una fertilización para suplir los requerimientos nutricionales de las plantas.

Después de varios años de producción los agricultores observan un cambio en las producciones y se dan por diversos factores como poca nutrición de la planta, lo que las debilita y las convierte en más propensas a las infecciones de enfermedades.

Los agricultores del municipio no cuentan con información relacionada con los macro invertebrados existentes y de los efectos de la misma sobre la calidad de suelo en las áreas cultivadas de cacao (*Theobroma cacao L.*)

JUSTIFICACIÓN

En la región norte de Guatemala, especialmente en el municipio de Cahabón, los agricultores dentro de sus actividades agrícolas se han dedicado a la producción orgánica de cacao, estos sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) generan varios servicios ambientales, entre ellos: la fijación ó captura de carbono, contribuyen a la conservación de la biodiversidad – polinizadores del cacao, herpetofauna y la calidad del suelo.

Durante los años de producción, el suelo se ha descuidado puesto que los nutrientes cedidos no son retribuidos y los agricultores desconocen de la calidad de sus suelos, así como la disponibilidad de nutrientes además de las funciones y diversidad de macro invertebrados existentes que ayudan a modificar las propiedades físicas del suelo.

Con el propósito de generar conocimiento técnico, se realizó la investigación sobre la calidad del suelo y la macro fauna de los sistemas agroforestales en una red de 36 parcelas con características biofísica heterogéneas y 4 bosques como testigos, para beneficiar con ello a familias productoras de 13 comunidades que forman parte de asociaciones de cacaoteros del municipio de Santa María Cahabón.

Bases teóricas indican que la diversidad y abundancia de las comunidades de macro-invertebrados, puede ser usada como indicadora de la calidad de suelo; esto influye sobre la dinámica de los procesos químicos y mejora las propiedades físicas de la misma.¹

En el municipio sujeto de estudio no se tiene información relacionada con los macro invertebrados existentes en el suelo, por lo que se desconoce la importancia y beneficios que aportan en la calidad de suelo, específicamente de las áreas cultivadas de cacao (*Theobroma cacao L.*).

Con el apoyo del CATIE, se realizó la investigación y las conclusiones se dieron conocer a los productores y forman parte de la información de los sistemas agroforestales de cacao en Centroamérica.

¹ Beto Pasan. *Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana*. <http://www.iiap.org.pe/publicaciones/folias12/articulo%205%20folia%2012pdf> (8 de febrero de 2 010).

OBJETIVOS

GENERAL

Contribuir a la generación de conocimiento técnico sobre los suelos de los sistemas agroforestales de cacao en el municipio de Santa María Cahabón, del departamento de Alta Verapaz, Guatemala.

ESPECÍFICOS

- a) Determinar la calidad de los suelos, según sus características físicas y químicas en 36 fincas agroforestales de cacao (*Theobroma Cacao L.*).
- b) Determinar diferentes órdenes existentes de la macrofauna invertebrada del suelo, en 36 fincas agroforestales de cacao.
- c) Diferenciar la calidad del suelo respecto a su densidad y diversidad de macro-invertebrados presentes por finca.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Entre las instituciones comprometidas en generar información y conocimientos sobre el cultivo de cacao se encuentra el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), que se ha dedicado a la investigación y enseñanza de postgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales.

El CATIE tiene presencia en: Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana y Brasil.²

Dentro de las investigaciones que se realizan en Guatemala, se involucra al Centro Universitario del Norte (CUNOR) con la oportunidad de incursionar conjuntamente con la misión de mejorar el bienestar humano y reducir la pobreza rural mediante la educación, investigación y cooperación técnica, promoviendo la gestión sostenible de la agricultura y los recursos naturales.

² *Proyecto Cacao Centroamérica*. <http://www.catie.ac.cr/guatemala> (08 febrero de 2 010)

La visión es que los territorios y las comunidades rurales de América Latina y el Caribe alcancen un mayor desarrollo humano al proveer de forma competitiva y sostenible bienes y servicios eco sistemáticos.³

El CATIE trabaja con el Proyecto Cacao Centroamericano (PCC), que forma parte del Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP).

El PCC se ejecuta en Guatemala, Belice, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, en alianza con asociaciones y cooperativas de pequeños productores de cacao, ONG'S e instituciones de investigación y educación.⁴

Cerda Bustillos,⁵ en Talamanca Costa Rica comparó la calidad de suelos en los sistemas agroforestales de cacao – laurel (*Cordia alliodora*) y banano-Laurel, cacao monocultivo, plátano monocultivo convencional y barbecho que es un área sin uso agrícola. En cada sistema se evaluó el manejo agrícola y convencional para conocer las condiciones de los suelos. En los suelos del cultivo de plátano las prácticas agrícolas son convencionales mantienen con más prácticas culturales y la aplicación de fertilizantes y plaguicidas.

El mismo autor indica que en los demás sistemas muestreados tales como cacao-laurel, banano-laurel. Cacao monocultivo y barbecho, fueron considerados como sistemas orgánicos y tienen un manejo agrícola menos frecuente y no existe aplicación de pesticidas y fertilizantes sintéticos.

³ Ibíd.

⁴ Ibíd.,

⁵ Rolando H. Cerdas B. *Calidad de suelo en plantaciones de cacao (Theobroma cacao), banano (Musa AAA) y plátano ((Musa AAB) en el valle de Talamanca, (Turrialba, Costa Rica; 2 008). 1.*

En los sistemas muestreados se evaluaron indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de suelos. De acuerdo al Índice de calidad de suelo, el barbecho tiene mejor calidad de suelos que los demás sistemas. Los suelos del monocultivo de plátano convencional es igual a los sistemas agroforestales, esto se debe a la aplicación de fertilizantes que existe en este cultivo y se registró mayor contenido de P, K, Ca y Mg y mejor pH. En los demás sistemas hubo deficiencia de P y K. Recomienda la respiración microbiana, biomasa microbiana, lombrices, micoparásitos, actinomicetos, nemátodos fitopatógenos, pH, C total, N total, K, DA y porcentaje de agregación, como indicadores de calidad de suelos.⁶

Linares E. V. Et. Al.⁷, en Huánuco Perú, evaluaron en los sistemas agroforestales y forestales, la diversidad y cantidad de macro invertebrados catalogados como la macrofauna del suelo, los sistemas agroforestales y forestales fueron comparados con los bosques primarios y secundarios. Concluye que los estratos bajo, medio y alto combinado con la diversidad y riqueza de especies vegetales existentes en los sistemas agroforestales de café y otros sistemas agroforestales de muestreo, contribuyen a crear nichos ecológicos con condiciones adecuadas de temperatura y humedad que aumentan la reproducción de diferentes especies de macroinvertebrados, por lo que se logró encontrar una mayor diversidad y densidad de macroinvertebrados en los sistemas agroforestales y forestales.

⁶ *Ibíd.*

⁷ Dalia E. Linares V. *Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en el parque nacional Tingo María, Huanuco, Peru*, http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadeSolo/pdf/resumos/Poster_DaliaL.pdf (10 de marzo de 2010)

1.2 Revisión de literatura

1.2.1 Origen del cacao

“El cacao (*Theobroma cacao*), es una especie originaria de bosques tropicales de América del sur, donde se encuentra además una variedad genética, su propagación era de forma espontánea es decir de forma natural con ayuda de animales y se fue extendiendo en otras regiones como en la zona del caribe y la de pacifico centroamericano en tiempos anteriores al descubrimiento, los nativos lo propagaron hacia el sur de México y Centroamérica”.⁸

1.2.2 Clasificación botánica

Reino: *Plantae*
División: *Magnoliophyta*
Clase: *Magnoliosida*
Orden: *Malvales*
Familia: *Sterculiáceae*
Género: *Theobroma*
Especie: *T. cacao*⁹

1.2.3 Descripción botánica

a) Planta

Altura aproximada de cacao no injertado con promedio de 4 m a 5 m, cuando no están manejadas las plantaciones pueden encontrarse alturas mayores.

⁸ Jaime Nosti N., *Cacao, Café, Té*. (Barcelona Madrid, España: Salvat Editores, 1 963): 806.

⁹ *Ibíd.*, 60.

Requiere de suficiente sombra para su desarrollo inicial en campo.

b) Sistema radicular

Mendoza y Navarro¹⁰, describen una raíz principal pivotante que crece a más de un metro de profundidad y las secundarias son superficiales y se mantienen aproximadamente entre los 30 cm de suelo.

c) Hojas

Estas son simples, de peciolo corto con un abultamiento conocido como yema, se encuentran en la unión de las hojas con el tallo, las cuales son las encargadas del crecimiento del mismo. Las yemas son las partes vegetativas de plantas que se usan para su propagación asexual con la técnica de injertación. Los colores varían de acuerdo a la genética del cacao algunos pueden ser verde pálido u oscuras, en hojas jóvenes se pueden observar un color café claro.¹¹

d) Flores

Son hermafroditas, pentámeras (5 sépalos, 5 pétalos, 5 estaminodios, 5 estambres y 5 lóculos o

¹⁰ Isidro Mendoza y Melba Navarro. *Cultivo del cacao en sistemas agroforestales*. (Nicaragua: snt., 2 006): 12.

¹¹ *Ibíd.*

cavidades por ovario), completas (todos sus verticilos florales) y perfectas (con androceo y gineceo). Son de color rojizas o rosadas en cacao mejorados genéticamente, pero en cacao criollo son de color blanco, se sitúan en grupos de entre 14 a 48 flores y son llamados cojín floral, en lugares o cicatrices donde antes hubo una hoja.¹²

e) Fruto

Mendoza y Navarro¹³, describen el fruto con forma característica de una baya, los frutos difieren en de color, formas y texturas de la cascara por la genética del cacao, con un tamaño que puede ser de 15 cm a 35 cm de largo y de 10 cm de diámetro.

f) Semilla

La forma de la semilla o almendra varía en forma y tamaño y por lo que recibe el nombre de poliformas, pueden ir desde elipsoides, ovoides, redondeadas, planas, etc. El color de la semilla puede ser morado o blanco. Las semillas se encuentran ordenadas en cinco hileras.¹⁴

¹² Ibíd., 12.

¹³ Ibíd., 13.

¹⁴ Ibíd.

1.2.4 Fisiología

Un árbol de cacao normalmente por semilla inicia sus ensayos o producción de frutos a los 6 ó 7 años, con rendimientos más estables de entre 7 qq/Mz a 15 qq/Mz aproximadamente para el año 9. Hoy en día con plantaciones con el uso de clones se han reducido los tiempos de inicio de producción.¹⁵

1.2.5 Requerimientos climáticos

a) Clima

Según Mendoza y Navarro,¹⁶ la adaptación del cultivo de cacao, requiere de climas tropicales y subtropicales, que se caracteriza por tener lluvias, calor y humedad durante el año. El cultivo de cacao no soporta climas fríos ni secos debido a que afectan el desarrollo de las plantas y la producción. En climas con temperaturas altas en el caso de municipio de Santa María Cahabón, A.V., el cultivo debe estar bajo sombra ya que en plantas pequeñas requiere de mayor porcentaje de sombra para evitar los daños que le pueda ocasionar el sol y mantener el cultivo a una temperatura adecuada.

¹⁵ Ibíd.

¹⁶ Nosti, *Cacao, Café, Té*.

b) Precipitación

Benito¹⁷, menciona que el cacao se cultiva en zonas donde la precipitación se encuentra por encima de los 1 200 mm, llegando en algunos casos hasta los 4 000 mm; pero más importante que el volumen total de lluvias, es una buena distribución del agua durante el año, ya que el cacao es muy sensible a la falta de humedad en el suelo.

c) Temperatura

La media anual debe estar alrededor de 24 °C y 30 °C. La Temperatura media diaria no debe ser inferior a 15 °C.

d) Altitud

Es una planta que se siembra desde los 1 000 msnm.¹⁸

1.2.6 Requerimientos edáficos

Mendoza y Navarro,¹⁹ mencionan que el cultivo de cacao requiere de suelos profundos y con abundante materia orgánica, que no sean pedregosos ni endurecidos, con buen drenaje durante el invierno y que conserve la humedad durante el verano.

Los suelos más apropiados son francos y los profundos con subsuelo permeable.

¹⁷José Benito. *Paquete tecnológico de manejo integrado del cacao*. <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/9.pdf>, 2014.

¹⁸ Ibíd.

¹⁹ Mendoza, *Cultivo del cacao en sistemas agroforestales*, 15.

Suelos profundos y con abundante materia orgánica, que no sean pedregosos ni endurecidos, con buen drenaje durante el invierno y que conserve la humedad durante el verano. Si el suelo no es tan bueno, puede mejorarse con abonos orgánicos.²⁰

1.2.7 Propagación del cacao

La reproducción del cacao se realiza en su mayoría por injerto, donde se usan como patrones materiales criollos de la región y se seleccionan los arboles superiores, los mejores productores y tolerantes a enfermedades de donde se extrae el material vegetativo para su injertación.

1.2.8 Enfermedades de importancia para la región de Guatemala

En la región de Guatemala en el norte del país se encuentra las enfermedades siguientes en frutos:

a) Moniliasis

“Causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, este hongo ataca solo a los frutos del cacao y de otras especies cercanas como el pataste (*T. bicolor*) entre otros. Los efectos son en los frutos parecieran estar sanos pero internamente están dañados se pueden reconocer por las deformaciones llamadas gibas, maduración prematura y puntos aceitosos, manchas irregulares de color café, micelio en mancha color café, micelio del hongo sobre la mancha café, la etapa más contagiosa y un fruto momificado.”²¹

²⁰ Ibíd.

²¹ Wilberth Philips y Rolando Cerda. *Enfermedades del cacao en Centro América*. Turrialba (Costa Rica: snt., 2 010.): 24.

b) Mazorca negra o fitóftora

“Causada por *Phytophthora palmivora*, los daños más importantes se dan en los frutos, especialmente en los frutos que ya alcanzan su madurez. Estos se caracterizan por producir una mancha café de borde regular y de crecimiento rápido el cual llega a cubrir al fruto completamente en pocos días. Este hongo causa la pudrición interna de los frutos.”²²

“Para el control de estos hongos se recomienda la recolección de frutos dañados para evitar que se cumplan los ciclos de vida de cada hongo en los frutos y que puedan ser en las primeras horas a bajas temperaturas para que las esporas de los hongos no sean transportadas por el viento. Otra de las prácticas es el manejo de la sombra y las podas de los árboles de cacao.”²³

1.2.9 Variedades o tipos principales de cacao

a) Cacao criollo o dulce

Mendoza y Navarro,²⁴ distinguen el cacao criollo por tener frutos de cáscara suave, las semillas redondas y dulces, de color blanco a violeta. De esta variedad se produce el cacao fino o de mejor calidad.

²² Ibíd.

²³ Ibíd.

²⁴ Mendoza, *Cultivo del cacao en sistemas agroforestales*, 14.

b) Cacao amargo o forastero

Mendoza y Navarro,²⁵ hacen referencia que el cacao forastero, es originario de América del sur y es el más cultivado en las regiones cacaoteras de África y Brasil. Se distingue porque tiene frutos de cascara dura y más o menos lisa. Sus semillas o almendras son aplanadas de color morado y de sabor amargo.

c) Trinitario variedad trinitaria

Surge del cruce del cacao Criollo y Forastero. Las mazorcas pueden ser de muchas formas y colores; las semillas son más grandes que las del cacao criollo y forastero.²⁶

1.2.10 Requerimientos nutricionales

La remoción de nutrientes por el cultivo de cacao se incrementa rápidamente durante los primeros 5 años después de la siembra y luego establecerse manteniendo esa tasa de absorción por el resto de vida útil de la plantación.

El K es el nutriente más absorbido por el cacao, seguido por N, Ca y Mg. La cantidad exacta de nutrientes removidos por un cultivo en particular depende del estado nutricional del árbol. En promedio, 1 000 kg, de semilla de cacao extraen 30 kg de N, 8 kg de P₂O₅, 40 kg de K₂O, 13 kg de CaO y 10 kg de MgO.²⁷

²⁵ Ibíd.14.

²⁶ Ibíd. 15

²⁷ *Cultivo del cacao*. www.infocafes.com/descargas/biblioteca/157.pdf. (10 de octubre 2

1.3 Suelo

Es un sistema natural y Fassbender,²⁸ describe que se ha formado a partir de una mezcla variable de minerales no consolidados, producidos por la intemperización de la roca madre y de materia orgánica en transformación bajo la influencia del clima, del medio biológico y de la dinámica constante en la que existen procesos tanto físicos, químicos como biológicos.

Los suelos son diferentes de acuerdo al lugar, así las diferentes propiedades tales como la química y la estructura física de los suelos, se encuentran determinados por el material geológico del que se origina y por la cubierta vegetal, es decir, los principales grupos de suelos pueden estar definidos según los tipos de vegetación que existan sobre la superficie de la misma, además de la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, también difieren por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas.²⁹

1.4 Calidad de suelo

Término que se ha expresado como la utilidad del suelo para un propósito específico. La calidad del suelo se debe basar en la capacidad de éste para proporcionar los elementos esenciales, pues estos pueden o no estar disponibles para la nutrición de las plantas, por lo tanto puede limitar la productividad potencial.³⁰

²⁸ Hans Fassbender. *Química de suelos* (San José, Costa Rica: IICA,, 1 982).

²⁹ "Suelos", *El suelo*, noviembre 2000, <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/suelos.html>, (1 de abril de 2 010)

³⁰ *Qué es la calidad de suelo: Calidad del suelo y sus indicadores*, mayo 2004. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149> (5 de marzo de 2 010)

La calidad del suelo resulta de definiciones recientes basadas en la multifuncionalidad y no solo en uso específico, lo anterior indica que es un instrumento para comprender la utilidad y salud de la misma, debido a que puede tener la capacidad de funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o manejar la calidad del aire libre, del agua, de sostener la salud humana y el hábitat.³¹

Dentro del contexto de la producción agrícola Marcelo,³² define en términos de productividad, específicamente en relación a la capacidad de sostener el crecimiento de la cobertura vegetal, en este caso el de los cultivos agrícolas o forestales, que el hombre siembra para el aprovechamiento y subsistencia o para efectos positivos como el cuidado de reservas naturales. De forma que la definición se refiere a la capacidad del suelo en soportar el crecimiento de los cultivos y la calidad dinámica influenciada por el uso o manejo, sin que esto de cómo resultado la degradación del suelo o en un daño ambiental.

La depredación de cobertura vegetal y el uso excesivo de los suelos en la producción agrícola, han provocado la degradación de los mismos, de la disminución de su utilidad y salud, por lo tanto es necesario contar con variables que ayuden a evaluar la condición del suelo.³³

1.5 Indicadores de la calidad de suelo

“Para evaluar la calidad del suelo se han propuesto un conjunto de propiedades del suelo, que a la vez son tomadas como variables e

³¹ Ibíd

³² Marcelo G.Wilson, Et. Al. *Calidad del suelo: Indicadores de calidad del suelo*. 2007, [http:// www.inta.gov.ar/.../suelos/.../30222_051019_indi.htm](http://www.inta.gov.ar/.../suelos/.../30222_051019_indi.htm) (01 de abril de 2 010).

³³ Ibíd.

indicadores de cambios que ocurren en el suelo a través del tiempo.”³⁴

“Para medir la calidad de suelo es importante evaluar las propiedades físicas, químicas, biológicas y sus interacciones. Para esta medición se sugiere medir todos los parámetros de cada propiedad sin embargo no todos los parámetros son de importancia, por lo que son seleccionados un grupo mínimo de propiedades del suelo o indicadores, sobre la cualidad o funcionalidad que nos indique la capacidad del suelo para determinados usos. Los indicadores del equipo de suelo son seleccionados primariamente para evaluar la calidad agrícola del suelo.”³⁵

1.6 Propiedades físicas indicadoras de calidad de suelo

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos que se le pueda dar. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y retención de nutrientes.³⁶

1.6.1 Textura del suelo

La textura es una de las propiedades más importantes debido a que se refiere al tamaño de las partículas, por medio de esta se puede determinar el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo, la proporción relativa de arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla.³⁷

³⁴ *Qué es la calidad de suelo*, <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149> (5 de marzo de 2 010).

³⁵ *Ibíd.*

³⁶ Henry D. Foth, *Fundamentos de la ciencia del suelo*. (México; Editorial Continental, 1 987): 37.

³⁷ *Ibíd.*

Un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos dan la posibilidad de ser un medio de soporte adecuado para el anclaje del sistema radicular de las plantas y suministrar elementos indispensables para la nutrición de la misma.³⁸

Según Foth,³⁹ la importancia de la textura es debida a que muchas de las reacciones físicas y químicas de importancia en el desarrollo de las plantas, están determinadas por el porcentaje de las proporciones de arena, arcilla y limo. Lo anterior debido a que está determina la extensión (cantidad) de la superficie en que pueden ocurrir las reacciones.

Los suelos de mayor capacidad para retención del agua contra la fuerza de gravedad se caracterizan por su riqueza en arcilla además de retener en estas partículas de arcilla algunos nutrientes que puedan estar disponibles. Los suelos limosos tienen gran capacidad para retener agua disponible para el crecimiento de las plantas.⁴⁰

a) Análisis del tamaño de las partículas con el método del hidrómetro

Bouyucos desarrolló el método del hidrómetro para determinar el contenido de arena, limo y arcilla sin separarlas.

³⁸ *Textura del suelo: Propiedades físicas del suelo*, 2004, <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/FISICAS/fisicas.pdf> (5 de marzo de 2 010).

³⁹ Foth, *Fundamentos de la ciencia del suelo*, 37.

⁴⁰ *Ibíd.*

Forsythe,⁴¹ describe que el hidrómetro indica los gramos de sólidos suspendidos por litro de suspensión a una temperatura dada. La densidad de la fase líquida se afectará con las variaciones de temperatura y con la presencia de los agentes reactivos agregados para dispersar el suelo, si la temperatura varía durante la sedimentación, se debe aplicar una corrección para el cambio de densidad del agua, con lo que se obtiene una lectura corregida para R_L (Lectura del Hidrómetro).

1.6.2 Densidad aparente

Forsythe,⁴² indica que la densidad aparente del suelo es la relación entre la masa (secada al horno) de las partículas del suelo y el volumen total, incluyendo el espacio poroso que ocupan, esta medida tiene los siguientes usos:

- a. Transforma los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica y consecuentemente calcula la lámina de agua en el suelo.
- b. Calcula la porosidad total de un suelo cuando se conoce la densidad de las partículas.
- c. Estima el grado de compactación del suelo por medio del cálculo de la porosidad.
- d. Estima la masa de la capa arable.⁴³

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso del suelo secado al horno}}{\text{Volumen del suelo secado en horno}}$$

⁴¹ Warren Forsythe, *Física de suelos*, (San José de Costa Rica: Matilde de la Cruz M. 1975): 46.

⁴² *Ibíd.*, 39.

⁴³ *Ibíd.*

Frederick Troeh,⁴⁴ indica que la densidad real de los suelos minerales varía mucho menos que la densidad aparente. La mayor parte oscilan entre 2,6 g/cm³ y 2,7 g/cm³. Cuando se requieren de datos muy precisos, suele suponerse que la densidad real de las partículas de los suelos minerales es de 2,65 g/cm³.

1.6.3 Porosidad

Foth,⁴⁵ menciona que a medida que aumenta la densidad del suelo, el espacio poroso disminuye y cuando la densidad disminuye existe mayor espacio poroso, este espacio es donde se almacenan y se mueve el aire y el agua.

Foth,⁴⁶ dice que en suelos superficiales arenosos establece que tienen una densidad aparente mayor que los arcillosos, por lo que en suelos arenosos existe menos volumen ocupado por espacios porosos, una parte de estos ocupados por poros grandes, en los cuales se mueven con mucha facilidad el agua y el aire. En los suelos de textura fina hay más espacio poroso total y una proporción relativa ocupada por poros pequeños teniendo la dificultad de moverse a través del suelo el agua y el aire.

Los espacios porosos grandes están llenos de aire por lo que se les ha llamado poros de aireación o macroporos. Los poros

⁴⁴ Louis Thompson, Frederick Troeh, *Los suelos y su fertilidad*. (España: Reverte, S.A., 1980): 82.

⁴⁵ Foth, *Fundamentos de la ciencia del suelo*, 53.

⁴⁶ *Ibíd.*, 54

pequeños llamados poros capilares o microporos se encuentran llenos de agua.

$$\text{Porosidad} = \left(1 - \frac{\text{densidad aparente}}{2,65 \text{ g/cm}^3}\right) * 100$$

1.6.4 Humedad gravimétrica

Es la forma de expresar la humedad del suelo, Forsythe⁴⁷ explica que es la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo, esta humedad suele representarse como un porcentaje.

$$\% \text{ de la humedad gravimétrica} = \frac{M(\text{suelo}) - M(\text{suelo secado al horno})}{M(\text{suelo secado al horno})} \times 100$$

1.6.5 Humedad volumétrica

Forsythe,⁴⁸ considera que la humedad volumétrica es la lámina de agua contenida en un estrato de suelo y determinada profundidad, expresa además la humedad del suelo, facilitando comparar el almacenaje de agua en varios suelos de diferentes densidades aparentes.

Para expresar en base volumétrica la humedad del suelo se obtiene de la siguiente formula

$$\% \text{ Humedad volumétrica} = \frac{\text{Volumen de agua en el suelo}}{\text{Volumen total del suelo}} \times 100$$

⁴⁷ Forsythe, *Física de suelos*, 17.

⁴⁸ *Ibíd.*

1.6.6 Porcentaje de saturación

Es la cantidad máxima de agua que un suelo puede tener. Forsythe,⁴⁹ dice que es el porcentaje que varía de acuerdo a la textura del suelo, debido a que los suelos arcillosos son capaces de retener mayor cantidad de agua que los suelos arenosos. Además el porcentaje de saturación puede aumentar cuando se tenga un mayor contenido de materia orgánica debido a que las partículas de suelo son de menor tamaño.

$$\%S = \frac{\%Hv}{P} * 100$$

%S = porcentaje de saturación

%Hv = porcentaje de humedad volumétrica = %agua/volumen.

P = porosidad

1.7 Composición química de los suelos

El análisis químico de los suelos ha sido uno de los criterios mas importantes que se ha utilizado para clasificarlos.

A través de los procesos de formación del suelo, la composición química elemental de las rocas madres ha cambiado lentamente, Fassbender⁵⁰, dice que se produce una acumulación de la materia orgánica con enriquecimiento de C y N, la disolución de las sales con la pérdida de los elementos que la constituyen y una diferenciación de minerales estables, en especial minerales de arcilla (caolinita, óxidos de Fe y Al), los anteriores aumentan el contenido de SiO₂ y Al₂O₃ en los suelos.

⁴⁹ Ibíd.

⁵⁰ Fassbender, *Química de Suelos*.

Fassbender,⁵¹ hace una clasificación de los minerales del suelo en primarios y secundarios. Los primarios se forman a altas temperaturas propias de rocas ígneas o metamórficas y que aún no se han meteorizado. Los secundarios lo hacen a bajas temperaturas y a través de los procesos de meteorización debido a que estos son rocas expuestas en la superficie.

Por medio de la meteorización se acumulan minerales de gran resistencia a la misma tales como, cuarzo, ortoclasa, óxido de hierro y aluminio. El contenido es mayor en proporciones de arena y limo; en las arcillas contienen minerales secundarios.⁵²

1.7.1 Meteorización de minerales primarios

Según Fassbender⁵³, la formación de los suelos comprende dos procesos:

- a. La meteorización de material parental.
- b. El desarrollo del perfil del suelo: este se desarrolla a partir del material meteorizado. Estos procesos ocurren en suelos desarrollados sobre sedimentos, el material meteorizado es transportado por agua, aire o hielo y al ser depositado, empieza el proceso de formación del perfil.

El proceso de meteorización tiene una serie de procesos de desintegración y descomposición de los minerales, los mismos

⁵¹ Ibíd.

⁵² Ibíd.

⁵³ Fassbender, *Química de Suelos*.

interaccionan con la atmósfera, la hidrósfera y la biosfera. Los procesos se dividen en físicos y químicos y biológicos.⁵⁴

1.7.2 Meteorización física

Fassbender,⁵⁵ menciona que es una fase o proceso donde se produce desintegración, reduce las partículas de la roca madre con ello la meteorización química es más rápida y da origen a la transformación de la composición de los materiales. Los procesos de transformación física se dan por:

- a. El efecto de temperaturas altas.
- b. El efecto de temperaturas bajas que congelan el agua del suelo.
- c. Las variaciones de volumen al cristalizar algunas sales.
- d. Las presiones del sistema radicular.

1.7.3 Meteorización química

Fassbender,⁵⁶ distingue dos fases:

- a. Descomposición química de los minerales primarios de las rocas ígneas y metamórficas con tamaño de partículas relativamente grandes (arena y limo).
- b. Síntesis de minerales secundarios con partículas de tamaño coloidal (arcillas y óxidos).

⁵⁴ Ibíd.

⁵⁵ Ibíd.

⁵⁶ Ibíd.

La descomposición se puede dar por acción separada o de forma simultánea de los siguientes procesos químicos: disolución, hidrólisis, oxidación, hidratación y acidificación. El agua es el agente meteorizante más importante, este se intensifica al aumentar su contenido de ácidos o de bases.⁵⁷

1.7.4 Meteorización biológica

Estos procesos de descomposición de rocas se dan por la acción de microorganismos, su acción puede ser de carácter físico o químico.

Las plantas inferiores, tales como hongos, algas, líquenes, se fijan o colonizan las superficies de las rocas, penetran en las grietas y descomponen lentamente las rocas. Fassbender⁵⁸ dice que se extraen nutrientes de absorción de Si, de excreción de H⁺ y de excreción de ácidos orgánicos formadores de complejos de Al y Fe los que resultan con la propiedad de ser solubles y pueden ser lavados.

1.7.5 Bioquímica del proceso de mineralización

Las transformaciones más importantes en el proceso de mineralización y la unificación son de naturaleza bioquímica. Luego de la destrucción mecánica y física de los restos vegetales y animales se produce el ataque por microorganismos que a base de sus jugos digestivos y enzimas llevan a la destrucción de los

⁵⁷ Ibíd.

⁵⁸ Fassbender, *Química de Suelos*.

compuestos orgánicos y a la liberación de minerales. Fassbender,⁵⁹ describe los grupos de microorganismos que participan en los procesos de mineralización:

a) Microflora

1. Bacterias

Micrococcus sp.; *Bacterium* sp.; *Bacillus* sp.;
Azotobacter sp.; *Clostridium* sp.

2. Actinomicetes

Ascomicetes; *Aspergillus* sp. *Penicillium* sp.;
Hipomicetes: *dematiacem* sp.; *Fusarium* sp.; *Cladosporium*
sp.; *Hormodendrum* sp.; *Neospura* sp.; Bacidiomicetes.

b) Microfauna

Rizópodos, Flagelados, ciliados.

c) Macrofauna

Nemátodos, lombrices, hormigas, termitas y
colembolas.⁶⁰

⁵⁹ Fassbender, *Química de Suelos*.

⁶⁰ *Ibíd.*

1.8 Intercambio de cationes y aniones en los suelos

La arcilla y el humus en el suelo, según Foth,⁶¹ se encuentran en estado coloidal, los cuales exponen un área superficial relativamente grande para la absorción de agua y de iones. Cuando son liberados nutrientes durante la intemperización estos son adsorbidos en las superficies del humus y las arcillas.

Foth,⁶² indica que intercambio de cationes se le denomina a la absorción de un catión por un núcleo o micela coloidal y la liberación acompañante de uno o más iones retenidos por la micela. La eficiencia con que un ion reemplaza a otro está determinada por factores como: a) la concentración relativa o número de iones, b) el número de cargas de los iones, y c) la velocidad de movimiento o actividad de los diferentes iones.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, las arcillas contienen coloides y están cargadas negativamente. Los suelos con mayores concentraciones de arcillas muestran mayor capacidad de intercambio catiónico. La capacidad de intercambio de cationes en los suelos con textura como el limo y arena es poca.⁶³

1.9 El pH del suelo

El pH es un factor que ayuda a diagnosticar los problemas de crecimiento de las plantas. Foth,⁶⁴ menciona que en los suelos ácidos se

⁶¹ Foth, *Fundamentos de la ciencia del suelo*.

⁶² *Ibíd.*

⁶³ *Ibíd.*

⁶⁴ *Ibíd.*

tienen más iones de hidrógeno (H^+) que hidroxilos (OH^-), mientras que en suelos alcalinos la solución de suelo contiene más OH^- que H^+ . El agua tiene un pH neutro, esto se debe a que las concentraciones de H^+ y OH^- son iguales habiendo un pH de 7.

El efecto principal del pH en el suelo es biológico. Esto indica que ciertos organismos pueden tolerar variaciones muy pequeñas de pH, en cambio otros pueden soportar variaciones diversas.

La función principal del pH en el desarrollo de las plantas es la disponibilidad de nutrientes, según Foth,⁶⁵ esto se debe a que el pH está relacionado con el porcentaje de saturación de bases. Si la saturación de bases es menor del 100 %, un incremento del pH aumenta las proporciones de Ca y de Mg en la solución del suelo, los mismos son bases intercambiables dominantes.

Con un pH bajo, el Fe y Mo forman un compuesto insoluble y se vuelve no disponible. Por lo que plantas susceptibles muestran una respuesta del pH. El P y Bo también tienden a volverse no disponibles en suelos calcáreos como resultado de reacciones de Ca. Un pH de 6,5 es favorable para la disponibilidad de nutrientes de las plantas.⁶⁶

Cuando el pH del suelo es de alrededor de 4,5 o menor, Foth⁶⁷ dice que existe toxicidad del Mg. El elevado contenido de Al intercambiable restringe el crecimiento de las raíces en muchos de los subsuelos.

⁶⁵ Foth, *Fundamentos de la ciencia del suelo*.

⁶⁶ *Ibíd.*

⁶⁷ *Ibíd.*

1.10 Macronutrientes

a) Nitrógeno (N)

Foth,⁶⁸ indica que los compuestos orgánicos vegetales están compuestos por N, entre los compuestos nitrogenados se tienen los aminoácidos, ácidos nucleicos, coenzimas, además de materiales transportadores de energía como la clorofila, ADP (adenosín difosfato), ATP (adenosín trifosfato). Las plantas superiores como los microorganismos asimilan e inmovilizan los iones NO_3^- (amoníaco) y NH_4^+ (amonio).

b) Fósforo (P)

Constituyente de muchas proteínas, coenzimas ácidos nucleicos, tiene capacidad para formar enlaces con más de un nivel de energía, permitiendo el almacenamiento, transferencia y liberación de energía en el interior de la planta por medio de materiales tales como el adenosín difosfato y el adenosín trifosfato. La falta de este elemento dificulta procesos metabólicos como la conversión del azúcar en almidón y celulosa. Sus formas iónicas H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} .⁶⁹

c) Potasio (K)

Las plantas absorben K en forma de K^+ , funciona en mecanismos de regulación como la fotosíntesis, translocación de carbohidratos y

⁶⁸ Ibíd.

⁶⁹ Ibíd., 340.

síntesis de proteínas. Este elemento es de importancia en los procesos metabólicos que llevan a transformar hidratos de carbono y proteínas.⁷⁰

d) Calcio (Ca)

En el suelo y en las plantas, se encuentran en forma de catión divalente Ca^{++} . Es un componente estructural de la pared celular, siendo vital para la formación de nuevas células.⁷¹

e) Magnesio (Mg)

La molécula de la clorofila contiene un ion Mg en el núcleo de su compleja estructura. Este elemento es vital para la producción de clorofila y realización de la función fotosintética.⁷²

f) Azufre (S)

Componente esencial de todas las proteínas de las plantas y de algunas hormonas vegetales.⁷³

1.11 Micronutrientes

a) Cobre (Cu)

En la mayoría de los suelos lo poseen en forma de iones Cu^{++} , o de iones Cu^{+} .

⁷⁰ *Ibíd.*, 375.

⁷¹ *Ibíd.*, 392.

⁷² *Ibíd.*, 396.

⁷³ Thompson, *Los suelos y su fertilidad*, 401.

Catalizador para respiración, el Cu es importante como coenzima para activar diversos enzimas vegetales.⁷⁴

b) Hierro (Fe)

El hierro es absorbido por las plantas en forma de ion ferroso. El hierro es necesario para la formación de la clorofila e interviene en algunos enzimas del sistema respiratorio.⁷⁵

c) Manganeso (Mn)

Controla varios sistemas de oxidación – reducción, en la formación de oxígeno en la fotosíntesis. Además interviene en el desarrollo de la clorofila y los sistemas enzimáticos vegetales.⁷⁶

d) Zinc (Zn)

Es necesario para el metabolismo de las proteínas y está implicado en la formación de la clorofila.⁷⁷

1.12 Carbono (C)

Elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos por lo que todos los organismos vivos están constituidos por éste, este elemento circula por océanos, la atmósfera, el suelo y el subsuelo (considerados

⁷⁴ *Ibíd.*, 417.

⁷⁵ *Ibíd.*

⁷⁶ *Ibíd.*, 424.

⁷⁷ *Ibíd.*

depósito de C). Debido a los procesos físicos, químicos y biológicos, el carbono pasa de un reservorio a otro.⁷⁸

Según Marcos Rüginitz, Et.Al,⁷⁹ los procesos naturales tal como la fotosíntesis, la respiración y la emisión de gases provocados por la humanidad dan como resultado el intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y el atmosférico.

La captura de C en la fotosíntesis se da cuando las plantas absorben energía solar y CO₂ de la atmósfera, en este proceso se produce oxígeno e hidratos de carbono tal como azúcares y glucosa, estos son indispensables en el crecimiento de las plantas. Así es como se da la fijación de C hacia la biomasa de la vegetación por lo que consecuentemente constituyen, junto con sus residuos (madera muerta y hojarasca). De este proceso ocurre lo contrario puesto que se emite C por medio de la respiración de plantas y animales. En la descomposición de la materia orgánica por bacterias y hongos el C se oxida en CO₂ devolviéndola a la atmosfera.

El C presente en el suelo se relaciona al proceso de descomposición de la biomasa por las actividades que realizan las bacterias. El proceso de mineralización del carbono orgánico en el suelo devuelve a la atmósfera parte del C.⁸⁰

1.13 Relación C / N

El C y N como otros elementos son requeridos para descomposición microbiana de la materia orgánica, son parámetros utilizados en la

⁷⁸ Marcos Rüginitz, Et.Al., *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales* (Brasil, 2008), 63.

⁷⁹ *Ibíd.*

⁸⁰ *Ibíd.*

caracterización del N y sus relaciones con la descomposición de la materia orgánica del suelo. Foth,⁸¹ indica que si el contenido de N de la materia orgánica en descomposición es bajo, existe el problema de que los microbios puedan quedar privados de N y competir con las plantas superiores por las existencias que haya del mismo en el suelo.

Foth,⁸² indica que los materiales que tienen proporciones pequeñas o relativamente estrechas son ricos en N, mientras aquellos con proporciones mayores o más amplias son más bien pobres en él. Durante la descomposición ocurren en forma simultánea la mineralización y la inmovilización de los nutrientes.

Cuando las proporciones C/N son mayores de 30, la inmovilización excede a la mineralización del N. En el rango de 15 a 30 la inmovilización y la mineralización son casi iguales. Cuando el material en descomposición la proporción C/N es menor de 15 la mineralización excede a la inmovilización.⁸³

1.14 Relación N / P

Foth,⁸⁴ hace mención si existe poca disponibilidad de P en las plantas impide la utilización del N. El P presenta limitaciones en su absorción en el suelo por las plantas esto por su baja solubilidad de la mayoría de sus compuestos, la cual hace que en un momento dado sea muy baja la concentración de ese elemento en la solución del suelo. La relación N/P de la vegetación indica directamente la naturaleza de la limitación de nutrientes.

⁸¹ Foth, *Fundamentos de la ciencia del suelo*

⁸² *Ibíd.*

⁸³ *Ibíd.*

⁸⁴ Foth, *Fundamentos de la ciencia del suelo.*

1.15 Ecología del suelo

En el suelo se encuentra diversidad de vida, estos pueden ser desde organismos microscópicos y unicelulares, hasta individuos grandes capaces de construir galerías. Dentro de la diversidad de vida encontrada en el suelo existen las cadenas alimenticias bien definidas las cuales compiten por sobrevivir.⁸⁵

Foth,⁸⁶ indica que la transformación de la materia vegetal en biomasa animal, se devuelve a la atmósfera un porcentaje de C convertida en CO₂ como producto de la respiración y la poca energía se desvanece como calor, de no haber consumidores y descomponedores que liberen el C no fijado, se agotaría el CO₂ de la atmósfera y el ciclo del C terminaría.

1.15.1 Importancia de los microorganismos como consumidores y descomponedores

Dentro del suelo se encuentran productores primarios representados por las raíces, tubérculos y otras plantas subterráneas, éstas son consumidas por descomponedores, los que se relacionan dentro de la cadena alimenticia. La ecología del suelo y la zona de contacto suelo-atmósfera difiere en que los animales desempeñan el papel de consumidores y en el interior del suelo los microorganismos son los descomponedores (siendo estos organismos unicelulares y microscópicos tales como bacterias y hongos). Foth,⁸⁷ “Estos microorganismos secretan enzimas que digieren la materia orgánica fuera de la célula y absorben los productos finales solubles de la digestión.”

⁸⁵ *Ibíd.*

⁸⁶ *Ibíd.*

⁸⁷ *Ibíd.*, 136.

Los animales desempeñan un papel importante en la descomposición de la materia orgánica. Se consideran consumidores primarios a los nemátodos y los gusanos blancos debido a que se alimentan de raíces de productores primarios (plantas vasculares). Dentro de los consumidores secundarios y terciarios se incluyen a los animales predadores tales como los ácaros, ciempiés, miriápodos, arañas, hormigas y topos.⁸⁸

Los animales del suelo en su mayoría son consumidores que se alimentan de desperdicios muertos y en descomposición incluyendo a las tijerillas, cochinillas, miriápodos, ácaros, babosas, lombrices y otros. Los animales del suelo pueden ser considerados como consumidores y a la vez descomponedores, esto porque al comer se ingiere materia orgánica llevando consigo bacterias y estas continúan su función en el tracto digestivo de los animales pequeños.⁸⁹

1.15.2 Las lombrices como consumidoras y mezcladoras del suelo

Organismos que necesitan de condiciones húmedas y de materia orgánica con contenido de calcio, las lombrices son más abundantes en suelos con textura fina, suelo no muy ácidos y con alto contenido de materia orgánica, de no darse estas condiciones se presentan menor número tal como en los suelos arenosos, ácidos y pobres en materia orgánica.

Dentro de las actividades como la mezcla de los materiales del suelo, formación de galerías y su producción de excrementos el

⁸⁸ *Ibíd.*, 141.

⁸⁹ Foth, *Fundamentos de la ciencia del suelo*.141.

suelo se vuelve más abierto y poroso trayendo consigo el aumento de infiltración del agua.⁹⁰

1.15.3 Artrópodos consumidores y descomponedores

a) Tijerillas

Son consumidores, viven en los macro poros de las capas de hojarasca y se alimentan principalmente de tejidos muertos de animales y vegetales, de excrementos, humus (materia orgánica en descomposición) y de micelio fungoso.⁹¹

b) Ácaros

Son consumidores predadores y se alimentan de nemátodos, huevos de insectos y otros animales pequeños como tijerillas. Su función es la de fragmentación y descomposición de materia orgánica.⁹²

c) Miriápodos

Los miriápodos tienen muchos pares de patas y son vegetarianos o descomponedores, se alimentan de materia orgánica. Los cien pies son carnívoros.⁹³

⁹⁰ *Ibíd.*, 142.

⁹¹ *Ibíd.*, 143.

⁹² *Ibíd.*, 143.

⁹³ *Ibíd.*, 144.

d) Gusanos blancos

Los consumidores de raíces, son larvas de insectos.⁹⁴

e) Hormigas

Estas transportan grandes cantidades de material del interior del suelo y los depositan en la superficie.⁹⁵

1.16 Macrofauna del suelo

La fauna del suelo está constituida por organismos que pasan todo el ciclo de su vida o parte de ella sobre la superficie del suelo, se puede encontrar en troncos podridos, en la hojarasca superficial y bajo la superficie de la tierra.⁹⁶

La fauna del suelo de acuerdo a su tamaño del cuerpo se clasifican en micro, meso y macrofauna, términos que de una manera un tanto arbitraria corresponden con invertebrados de > 0,2 mm, 0,2 mm - 2,0 mm y < 2.0 mm de diámetro.

La macrofauna incluye invertebrados con un diámetro mayor de 2 mm y fácilmente visibles sobre la tierra o cuando se remueve el interior del suelo, dentro de los mismos se incluyen los termes, las lombrices de tierra,

⁹⁴ Ibíd.

⁹⁵ Ibíd., 145.

⁹⁶ *Diversidad y rol Funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos*.http://www3.inecol.edu.mx/csmbgbd/images/stories/resultados_articulos_archivos/6%20DIVERSIDAD%20Y%20ROL%20FUNCIONAL%20DE%20LA%20MACROFAUNA%20EDAFIC A.pdf (5 de abril de 2010)

los escarabajos, las arañas, las larvas de mosca y de mariposa, los caracoles, los mil pies, los ciempiés y las hormigas.⁹⁷

La macrofauna puede subdividirse en organismos epigeos, encogeos y anélidos, cada uno con características especiales; así su funcionamiento varia en el ecosistema edáfico, los encogeos tienen efectos de compactar y descompactar el suelo. Los epigeos viven y comen sobre la superficie del suelo; la mayor parte de ellos se alimentan de hojarasca (macro artrópodos detritívoros, pequeñas lombrices de tierra geófagas y los termes, viven en el suelo y se alimentan de materia orgánica o de raíces.⁹⁸ Los anélidos (representados por las lombrices de tierra), los termes y las hormigas, se alimentan principalmente de la hojarasca de la superficie (estos pueden ingerir estiércol de ganado o excretas de otros invertebrados).⁹⁹

Las actividades de la macrofauna, se relacionan con las características edáficas. Características que brindan condiciones óptimas para que exista productividad vegetal, pero las actividades de la macrofauna puede ser afectado por factores bióticos y abióticos.¹⁰⁰

⁹⁷ Ibíd.

⁹⁸ Ibíd.

⁹⁹ Ibíd.

¹⁰⁰ Ibíd.

1.17 Grupos funcionales de macrofauna

a) Aranea (arañas)

Tienen en cuerpo dividido en 2 partes, cefalotórax y abdomen; la primera región cuenta con 3 ó 4 pares de patas.¹⁰¹

b) Blattaria (cucarachas)

Insectos aplanados y de forma ovalada, aparato bucal masticador, cabeza oculta debajo de la placa del protorax, alas terminas, antenas filiformes.¹⁰²

c) Chilopoda (ciempiés)

Su cuerpo es alargado y de muchos segmentos y en cada uno sólo existe un par de patas. La cabeza cuenta con un par de antenas y ojos compuestos formados de facetas simples. Un par de apéndices como uñas venenosas llamados forcípulas.¹⁰³

d) Coleóptera (escarabajos)

En insectos adultos el aparato bucal es masticador, antenas y patas de diferentes tipos. El primer par de alas endurecidas llamadas élitros y funciona como estuche que protege el segundo par de alas de consistencia membranosa. Las larvas son organismos diversos y se caracterizan por tener 3 pares de patas torácicas y cabeza bien

¹⁰¹ Rousseau Guillaume, *Evaluación de la calidad del suelo y de la diversidad de su macrofauna en cacaotales de Centroamérica*.35

¹⁰² *Ibíd.*, 3

¹⁰³ Rousseau, 3.

desarrollada. Son insectos de metamorfosis completa, se alimentan de materia vegetal y animal viva o muerta.¹⁰⁴

e) Diplopoda (milpiés)

Viven en lugares húmedos. Son de cuerpo alargado, cilíndricos, dividido en dos regiones cabeza (convexa) y abdomen segmentado, por cada segmento poseen 2 pares de patas.¹⁰⁵

f) Díptera (moscas)

Larvas son gusanos blancos, cabeza ausente o poco visible, distinguiéndose por un par de garras negras.¹⁰⁶

g) Enchytreidae

Son gusanos bien delgados con diámetro menor a 1 mm, son de color blanco casi transparentes por lo que es posible ver el sistema digestivo.¹⁰⁷

h) Formicidae (hormigas)

Insectos de color negro, café rojizo o amarillento, antena acodada con el primer segmento muy largo. Los dos primeros

¹⁰⁴ Ibíd.

¹⁰⁵ Ibíd.

¹⁰⁶ Ibíd.

¹⁰⁷ Rousseau, 3.

segmentos abdominales delgados y con proyecciones o jorobas características en el dorso.¹⁰⁸

i) Gasterapoda (conchas, caracoles, babosas)

Son individuos acuáticos en su mayoría, aunque existen especies terrestres y necesitan de mucha humedad para sobrevivir y poder desarrollarse.¹⁰⁹

j) Hemíptera ó Heteroptera (chinchas)

Cuerpo cilíndrico, alargado, oval, aplanado o en forma de escudo, aparato bucal picador chupador, dos pares de alas bien desarrolladas, en casos pueden estar endurecidos o faltar; alas superiores mitad duras mitad membranosas llamadas hemélitros, poseen glándulas odoríficas.¹¹⁰

k) Hirudinea (sanguijuela)

Parecido a lombriz con segmentos poco visibles, a diferencia que la parte bucal es una estructura en forma de ventosa.¹¹¹

l) Homóptera (cigarras, toritos, chicharritas)

Suelen ser de cuerpo suave o duro, ojos bien desarrollados, aparato bucal picador chupador, sus alas pueden ser membranosas o

¹⁰⁸ Ibíd.

¹⁰⁹ Ibíd.

¹¹⁰ Ibíd.

¹¹¹ Rousseau, 3.

tegminas, tórax con patas de tarsos, antenas parecen un pelo corto, en algunas especies poseen órganos productoras de sonido.¹¹²

m) Himenóptera (abejas, avispas y hormigas)

Cuerpo robusto o alargado, en ocasiones cubierto de pelos, cabeza bien desarrollada, aparato bucal masticador con adaptaciones para morder, lamer y chupar; antenas de diferentes formas, alas membranosas.¹¹³

n) Isópoda (cochinillas de humedad)

Crustáceos frecuente en suelos húmedos, tienen dos pares de antenas, tórax segmentado y por cada segmento 1 par de patas, abdomen más estrecho que el tórax.¹¹⁴

o) Isóptera (termitas)

Viven en nidos que hacen en el suelo, tronco, ramas de árboles y otros lugares. Ojos compuestos bien desarrollados, antenas moniliformes o filiformes, aparato bucal masticador, en formas aladas, las alas tienen igual forma y venación, son del mismo tamaño.¹¹⁵

¹¹² Ibíd.

¹¹³ Ibíd.

¹¹⁴ Ibíd.

¹¹⁵ Rousseau, 3.

p) Lepidóptera (mariposas)

Las larvas son de tipo cruciforme, cilíndricas, con cabeza desarrollada provista de ocelos laterales; poseen 3 pares de patas torácicas, abdomen con falsas patas o pseudopatas.¹¹⁶

q) Neuróptera (hormigas león)

En estado larval, poseen una cabeza alargada con cuerpo aplanado poseen un aparato bucal masticador.¹¹⁷

r) Oligochaeta (lombrices)

Tiene un cuerpo cilíndrico ahusado y segmentado, viven en suelo húmedo alimentándose de materia orgánica se difiere de otros por el cóitelo.¹¹⁸

s) Opilionidae (viejitos, papaítos piernas largas)

Cuerpo oval, corto, es similar a las arañas verdaderas, tienen el abdomen segmentado con patas largas y delgadas. Se alimentan de pequeños insectos.¹¹⁹

¹¹⁶ Rousseau, 3.

¹¹⁷ Ibíd.

¹¹⁸ Ibíd.

¹¹⁹ Ibíd.

t) Orthoptera (grillos y saltamontes)

Su cuerpo es alargado, cilíndrico, aparato bucal masticador, ojos compuestos y dos o tres ocelos, antenas filiformes cortas o largas. Poseen dos pares de alas: el primero recibe el nombre de terminas o élitros, y el segundo es membranoso. Patas traseras desarrolladas en la parte del fémur.¹²⁰

u) Pseudoescorpionidae (falso escorpión)

Son pequeños, parecidos a los escorpiones se difiere por no tener cola.¹²¹

v) Schizomidae

Arácnidos muy pequeños de diferencian por tener el primer par de patas delgadas y no las utilizan para caminar y tienen un cuarto par de patas que son modificadas y las usa para saltar.¹²²

w) Symphyla (sínfilos)

Son organismos pequeños de tamaño menor a 2 mm, blancos, con cabeza bien desarrollado.¹²³

¹²⁰ Rousseau, 3.

¹²¹ Ibíd.

¹²² Ibíd.

¹²³ Ibíd.

x) Thelastomatidae

Forman parte de un tipo de nemátodos, abundantes en el suelo, son parecidos a hilos blancos.¹²⁴

y) Thysanura (pescaditos de plata, trips)

Poseen cuerpo alargado, pequeño y generalmente cilíndrico. Cabeza libre sin cuello y con ojos compuestos grandes y redondos, aparato bucal asimétrico del tipo raspador chupador.¹²⁵

¹²⁴ *Ibíd.*

¹²⁵ *Ibíd.*

CAPÍTULO 2

MARCO METODOLÓGICO

2.1 Ubicación geográfica

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Santa María Cahabón del departamento de Alta Verapaz, se encuentra ubicado en las coordenadas siguientes, 15°36'20" latitud norte y 89°48'45", longitud oeste. El centro del municipio se encuentra ubicado a 250 msnm.

2.2 Distancias y vías de acceso

Se recorren desde la cabecera departamental de Alta Verapaz, 7 km al este por la carretera departamental al municipio de San Pedro Carchá, 34 km hacia el noreste siguiendo por la carretera departamental a la finca El Pajal donde termina el asfalto e inicia la vía de acceso de terracería con dirección al este, al municipio de San Agustín Lanquín 12 km y 39 km en dirección sureste a la cabecera municipal. El municipio se encuentra a 310 km de la ciudad capital.

Los centros poblados (comunidades), se encuentran a distancias que no superan los 50 km de la cabecera municipal. En épocas lluviosas es de poca accesibilidad esto debido a que la mayoría de las vías de acceso son de terracería.

2.3 Características climáticas

De la Cruz, basado en el sistema Holdridge de clasificación de zonas de vida para Guatemala, indica que Santa María Cahabón está localizado en la zona de vida: Bosque muy húmedo subtropical (Cálido) BHSC, que posee las siguientes características: la precipitación pluvial varía de 1 160 mm a 1 700 mm, con temperatura máxima de 42 °C, temperatura mínima de 16 °C y temperatura promedio de 29 °C.

La estación meteorológica más cercana está ubicada en la cabecera municipal, la cual se identifica como la estación número 1,02,02 reporta para el año 2 007, una precipitación pluvial anual de 2 164,6 mm y 82% de humedad relativa anual.

2.4 Suelo

Según Simmons, 1 959, establece que en el municipio, existen varios tipos de suelos los cuales se muestran en el siguiente cuadro:

CUADRO 1
TIPOS DE SUELOS DE SANTA MARÍA CAHABÓN

Código	Serie de Suelo	Clasificación Taxonómica
Sb	Sebol	<i>Udults-Humults-Udepts</i>
Gp	Guapaca	<i>Udalfs-Udepts</i>
Cha	Chacalte	<i>Udepts-Udults-Orthents</i>
Tm	Tamahú	<i>Orthents-Rendolls</i>

Fuente: Primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la república de Guatemala a escala 1:2 5000. 2 000.

2.5 Principio de muestreo

La investigación se realizó en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), las ubicaciones de las fincas a muestrear fueron seleccionadas por

la diversidad de su estructura vegetal, con base en las siguientes características:¹²⁶

2.5.1 Condiciones de macro – paisaje

El macro – paisaje fue definido por su diversidad de usos de la tierra y la importancia de su cobertura boscosa. Se identificaron 2 tipos de paisajes:

a) Paisaje abierto

Paisaje con cobertura boscosa muy escasa y/o esparcida, representa menos del 30 % de la cobertura del suelo.¹²⁷

b) Paisaje cerrado

Paisaje con cobertura boscosa densa y/o continua, representa más del 60 % de la cobertura del suelo.¹²⁸

2.5.2 Condiciones ambientales, a nivel del micro – paisaje

a) Fragmentado

Sistema de cultivo de cacao, en su alrededor del área de muestreo se encuentra rodeado con un porcentaje menos del 10 % de cacao.¹²⁹

¹²⁶ Olivier Deheuvels, Et. Al., *Protocolos de investigaciones* (Costa Rica: 2009), 2.

¹²⁷ *Ibíd.*

¹²⁸ *Ibíd.*

¹²⁹ *Ibíd.*

b) Poco – fragmentado

Sistema de cultivo de cacao, en su alrededor el área de muestreo se encuentra rodeado con un porcentaje de 11 % a 89 % de cacao.¹³⁰

c) No fragmentado

Sistema de cultivo de cacao, en su alrededor el área de muestreo se encuentra rodeado con un porcentaje mayor del 90 % de cacao.¹³¹

2.6 Metodología del muestreo**2.6.1 Descripción del paisaje e identificación de la red experimental establecida por el CATIE**

a) Técnicos del CATIE establecieron las de áreas con elementos de paisaje en dos tipos: elementos topográficos (cerros, llanuras, montañas, lomas, ríos y quebradas) y los elementos vegetales (grandes usos de la tierra: bosques, SAF (Sistemas Agroforestales) café y cardamomo, milpa, suelo desnudo/rocas).¹³²

b) Los cacaotales en las comunidades de muestreo se caracterizan por poseer la homogeneidad según el tipo de paisaje en los sistemas evaluados.¹³³

¹³⁰ Ibíd.

¹³¹ Ibíd.

¹³² Deheuvels,4.

¹³³ Ibíd.

- c) La diversidad de paisaje en comunidades donde se estableció la red de parcelas fue determinada de la siguiente manera por técnicos de CATIE:¹³⁴

1. Zonas altas

Comunidades de: Tzalamtun, Agrícola San Juan, Chiacté, Chaslau Nueva Esperanza, San Cristóbal Sactá, Santa María Rubeltzul;¹³⁵ todas del municipio de Santa María Cahabón.

2. Zonas bajas

Comunidades de: Santa Rosa Chivite, Chipoc, Chicanuz, Belén y Champerico;¹³⁶ todas del municipio de Santa María Cahabón.

3. Paisaje semicerrado

Comunidades de: Chiacté, Chaslau Nueva Esperanza, Cooperativa Agrícola San Juan, Chipoc;¹³⁷ todas del municipio de Santa María Cahabón.

¹³⁴ *Ibíd.*

¹³⁵ *Ibíd.*

¹³⁶ *Ibíd.*

¹³⁷ *Ibíd.*

4. Paisaje abierto

Comunidades de Santa Rosa Chivite, Tzalamtum, Santa María Rubeltzul, Champerico;¹³⁸ todas del municipio de Santa María Cahabón.

2.6.2 Muestreo y codificación de los cacaotales (plantación)

De acuerdo al plan de muestreo, con los respectivos criterios, se identificaron los cacaotales en el campo. Se describe la estructura vegetal (estratos, especies arbóreas dominantes) y de su ambiente (pendiente, orientación, sistemas colindantes), para ubicarlo en el plan de muestreo.

A medida que se identificaron los 36 cacaotales de la red de muestreo y 4 bosques testigo, se les colocó un código en orden numérico con dos cifras, (01 hasta 40), se toman datos de propietario, punto *GPS* y comunidad (Ver cuadro 3).¹³⁹

2.6.3 Metodología de muestreo de cada cacaotal

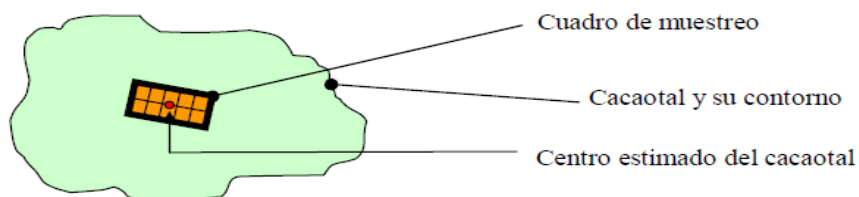
En el centro de cada cacaotal, se diseñó un cuadro de muestreo. El centro fue ubicado al ojo desde la imagen generada en la pantalla del *GPS*, una vez realizado del contorno del cacaotal. Por este centro, paso una recta de 50 m que correspondió al eje de división central del cuadro de muestreo. Esta recta fue orientada de

¹³⁸ *Ibíd.*

¹³⁹ Deheuvels, 5.

acuerdo a la forma de cada cacaotal, siguiendo siempre la dirección de la distancia mas larga que ofrece el cacaotal.¹⁴⁰

FIGURA 1 UBICACIÓN DE CUADRO DE MUESTREO

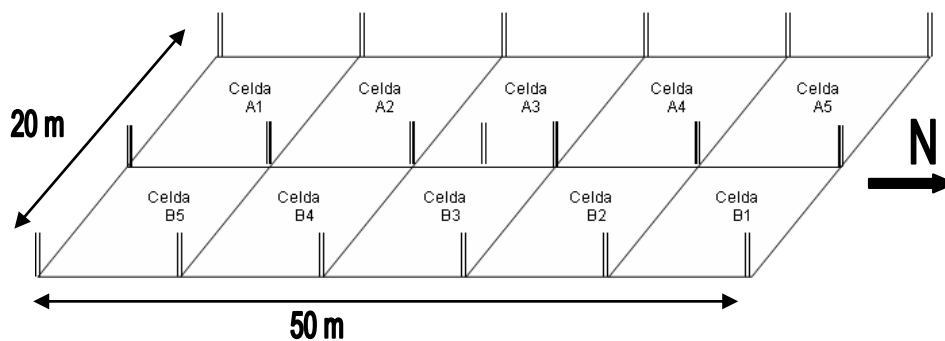


Fuente: Protocolo de investigación CATIE

2.6.4 Tamaño del cuadro de muestreo

El cuadro de muestreo tiene 50 m x 20 m (1 000 m²), fue dividida en 10 subparcelas o celdas de 10 m X 10 m, se procedió a marcar el centro de cuadro de muestreo, a cada cruce de subdivisión se le introdujo una estaca, por lo que se usó un total de 19 estacas.¹⁴¹

FIGURA 2 DIMENSIONES DEL CUADRO DE MUESTREO



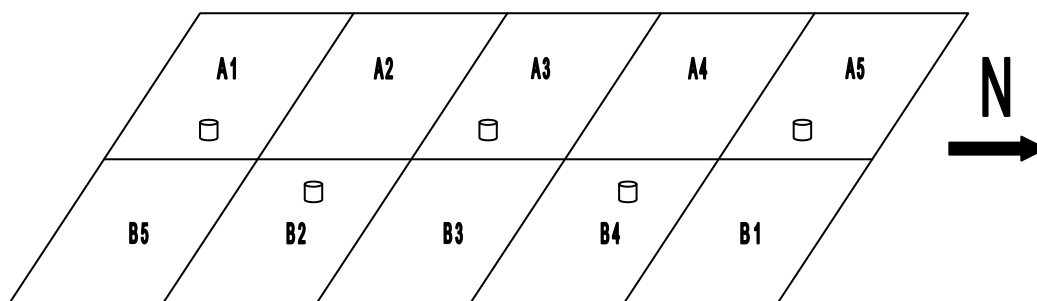
Fuente: Elaboración propia.

¹⁴⁰ Ibíd.

¹⁴¹ Ibíd.

Las celdas dentro del cuadro del muestreo quedan identificadas de la siguiente forma:

FIGURA 3
CELDAS DE MUESTREO PARA LA EXTRACCIÓN DE SUELO



Fuente: Elaboración propia.

2.6.5 Topografía del cuadro de muestreo

Se procedió a tomar la orientación del eje, la altitud del centro del cuadro, así como la orientación de la pendiente (en porcentaje) más importante en el cuadro. Se usó una brújula y un clinómetro para estas mediciones.¹⁴²

2.7 Fase de campo

2.7.1 Reconocimiento de la red de parcela

Previo al muestreo, la investigación se inició con el reconocimiento de las 36 parcelas de cacao y 4 áreas de bosque que conforman la red experimental, distribuidas en 12 comunidades. En los reconocimientos se coordinaba con los guías conocedores de

¹⁴² *Ibíd.*, 5.

las parcelas para la siguiente visita para su muestreo correspondiente.

2.7.2 Coordinación para muestreo

En la llegada a las comunidades para el muestreo se coordinaba la búsqueda de 3 hombres para el acompañamiento en la extracción de las muestras, además del apoyo de 7 mujeres quienes se encargaban de la recolección de macroinvertebrados. Las personas que participaban en esta actividad recibían un incentivo económico.

2.7.3 Extracción de muestras de suelo

Al llegar a cada parcela, con la ayuda de una brújula orientaba el norte para observar la distribución de las celdas a muestrear.

Se extrajeron muestras de suelo en 5 puntos por cada cacaotal de los 40 que conformaron la red experimental, estos puntos fueron en las celdas identificadas como (celdas A1, B4, A3, B4, A5). A continuación se hace referencia al esquema del cuadro de muestreo y los puntos de las celdas muestreadas.

Las muestras de suelo por cada celda se extrajeron aproximadamente en el centro y a un metro de distancia del eje de la parcela que divide las celdas A y B. En el paralelo de la línea media, se tomaron las muestras en dos horizontes, la primera muestra de 0 cm – 10 cm y la segunda de 10 cm – 20 cm, con la ayuda de un cilindro de metal (6 cm X 10 cm). Se introdujo al suelo en los horizontes mencionados con la ayuda de un mazo de metal y un

trozo de madera, se tuvo el cuidado de mantener el volumen del cilindro lleno al momento de retirar el cilindro del suelo. El suelo extraído se guardó en bolsas de plástico gruesas y bien cerradas para no perder la humedad, e identificadas con los códigos correspondientes.

Luego de hacer los muestreos en cada comunidad, las muestras fueron trasladadas al instituto Fray Domingo de Vico (IFDV), ubicado en el municipio de Santa María Cahabón, donde se disponía espacio para guardar las muestras. Al llegar al IFDV, las muestras se pesaron con balanza de sensibilidad 0,1 g y fueron abiertas para secar al aire dentro del cuarto, este era un lugar seco, con buena ventilación y no permitía que la luz solar diera directo a las muestras.

Las muestras se mezclaron cada 2 días (mínimo) para proveer un secado rápido. Este secado al aire libre duro aproximadamente 15 días.

Después de secado el suelo al aire libre se volvieron a pesar para establecer el peso seco.

2.7.4 Extracción de muestras para macrofauna

Para la extracción de suelo en búsqueda de macrofauna, se identificaron 3 puntos dentro del cuadro de muestreo por cada cacaotal en estudio, estos se establecieron con el método *TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility)* (Anderson e Ingram 1993) modificado. Los muestreos fueron en las celdas A1, A3 y A5 por cada parcela de los 40 que conforman la red experimental.

Los muestreos se realizaron en las celdas antes mencionadas y sobre el eje de la misma. En cada celda se extrajeron muestras de hojarasca y suelo, aproximadamente a un metro de distancia del eje.

Para extraer las muestras de suelo y hojarasca se usó un marco de metal con dimensiones de 25 cm x 25 cm.

Se extraía toda la hojarasca que quedaba dentro del marco de metal hasta quedar el suelo al descubierto, seguidamente con la ayuda de una macana se extrajo el suelo en un cuadro de 25 cm x 25 cm y hasta una profundidad de 10 cm.

Las muestras extraídas de hojarasca y suelo fueron colocadas en bolsas plásticas gruesas, bien amarradas con la identificación correspondiente a la parcela.

Las muestras extraídas se trasladaron a una casa cercana a las parcelas donde se reunían las mujeres, para la recolección de macroinvertebrados, para esta actividad, a cada persona se le daba una tina (palangana), pinza y pequeños frascos con alcohol; las cantidades de hojarasca y suelo fueron dosificadas hasta concluir la muestra.

Todos los macroinvertebrados recolectados al ojo fueron colectados y conservados en alcohol al 70 %, aunque todos los oligoquetos fueron separados y recolectados en un solo recipiente.

2.8 Fase de laboratorio

Previo al traslado de las muestras al laboratorio del CUNOR fueron pesadas para llenar la base de datos sobre peso húmedo y peso seco al aire.

2.8.1 Preparación de muestras para secado en horno

Todas las bolsas se homogenizaron antes de abrirlas, por cada muestra se peso una alícuota de 40 g, por cada finca se prepararon 10 alícuotas para secar al horno (5 muestras obtenidas en profundidad 0 cm – 10 cm y 5 muestras de 10 cm – 20 cm).

2.8.2 Secado de suelo en horno

Las alícuotas preparadas fueron secadas en horno a una temperatura de 105 °C por 48 horas, pasado el tiempo de secado se sacaron las alícuotas del horno y se pesaron nuevamente.

A partir del suelo seco en horno de las alícuotas se determinó; humedad del suelo, densidad, porosidad, porcentaje de saturación, datos que formaron parte de la física del suelo.

2.8.3 Análisis químico del suelo

Las muestras de suelos fueron enviadas al laboratorio de análisis de suelos, tejido vegetal y aguas en CATIE Costa Rica para el análisis químico y de textura.

Se prepararon 40 muestras compuestas con el siguiente procedimiento, por cada finca se mezclaron todas las muestras de

suelo (0 cm – 20 cm), se tamizaron las muestras compuestas a 2 mm. Con el suelo tamizado por finca se pesó 500 g, se empacó y etiquetó con los datos correspondientes al código de parcela, fecha y lugar de muestreo, nombre del técnico y el proyecto al que pertenece.

Este análisis químico determinó los siguientes datos: pH, acidez extraíble, Ca, Mg, K, P, Cu, Mn, Zn, Fe, C y N total. Además de la textura (Arcilla, Limo y Arena).

2.8.4 Identificación de macroinvertebrados

Los macroinvertebrados recolectados en las 40 parcelas se trasladaron al laboratorio del CUNOR, donde se realizó el conteo con la ayuda de un estereoscopio, todo el registro se contabilizó una base de datos.

2.9 Variables

En cada unidad de muestreo se registraron las siguientes variables:

2.9.1 Física del suelo

- Textura (arcilla, limo y arena)
- Densidad aparente
- Porosidad
- Porcentaje de saturación
- Humedad del suelo (porcentaje en peso y en volumen)

2.9.2 Datos químicos del suelo

- pH
- Suma de bases KCaMg
- Relación N/P
- Relación C/N
- Relación Mg/K

a) Elementos mayores

- Carbono (C)
- Nitrógeno (N)
- Potasio(K)
- Fosforo (P)
- Calcio(Ca)
- Magnesio (Mg)

b) Elementos menores

- Cobre (Cu)
- Hierro (Fe)
- Zinc (Zn)
- Manganeso (Mn)

2.9.3 Macrofauna

CUADRO 2
VARIABLES DE MACROFAUNA

Filo	Clase	Subclase	Orden	Familia	Nombre común	No.	
Artrópodo	Arácnidos		<i>Araneae</i>		Arañas	1	
			<i>Opiliones</i>		Viejitos	2	
			<i>Seudoescorpión</i>		Falso escorpión	3	
			<i>Schizomida</i>		arañas	4	
		Crustáceos		<i>Isópoda</i>		Cochinilla	5
	Insectos			<i>Coleóptera</i>		Escarabajos	6
				<i>coleóptera</i>		Larva	7
				<i>Díptera</i>		Moscas	8
				<i>Blattaria</i>		Cucarachas	9
				<i>Lepidóptera</i>		Mariposa	10
				<i>Ortóptera</i>		Grillos y Saltamontes	11
				<i>Formícida</i>		Hormigas	12
				<i>Isóptera</i>		Termitas	13
				<i>Dermáptera</i>		tijeretas	14
				<i>Hemíptera</i>		Chinchas	15
				<i>Homóptera</i>		Cigarras, toritos, chicharritas	16
			Miriápodos		<i>Diplopoda</i>		
	<i>Symphyla</i>					sínfilos	18
		<i>Geophilomorpha</i>				Otros cien pies	19
	<i>Chilopoda</i>					Cien pies	20
Anélidos		<i>Oligochaeta</i>			Lombrices	21	
				<i>Enchitreidae</i>	Lombrices	22	
		Hirudinea			Sanguijuelas	23	
Moluscos	Gasterópodos				Conchas, Caracoles, babosas	24	
Nemátodos				<i>Thelastomatidae</i>	Gusanos microscópicos	25	

Fuente: Introducción a la entomología morfología y taxonomía de los insectos. 2 015.

2. 10 Descripción de fincas de la red experimental

CUADRO 3
RED EXPERIMENTAL Y PROPIETARIOS DE PARCELAS
MUESTREADAS

CODIGO	Propietario	Comunidad
GAV01	Lucas Cho Xol	Caserio Santa Rita
GAV02	Domingo Quim	Agrícola San Juan
GAV03	Eduardo Tox Choc	Agrícola San Juan
GAV04	José Chub	Agrícola San Juan
GAV05	Santos Choc	Agrícola San Juan
GAV06	Santos Choc	Agrícola San Juan BOSQUE
GAV07	Pablo Chub	Chiacté
GAV08	Crisanto Choc Choc	Chiacté
GAV09	Mateo Che choc	Chiacté
GAV10	Nicolas Tec Pan	Chipoc
GAV11	Nicolas Tec	Chipoc
GAV12	Ricardo Choc Tec	Chipoc
GAV13	Martín pop Cuc	Chipoc
GAV14	Domingo Choc Tiul	Tzalamtun
GAV15	Alberto Tiul Sub	Tzalamtun
GAV16	Jacinto Caha	Tzalamtun
GAV17	Sebastián Tiul Choc	Tzalamtun
GAV18	Pedro Ico	Tzalamtun
GAV19	Carlos Ical Chub	Santa María Rubel Tzul
GAV20	Carlos Sacul	Santa María Rubel Tzul
GAV21	Tomas Coc Caal	Belén
GAV22	Francisco Choc Maquim	Belén
GAV23	Marcos Choc Chub	Belén
GAV24	Martin Tzalam Coy	San Cristóbal Sactá
GAV25	Roberto Tzalam Coy	San Cristóbal Sactá
GAV26	Juan Pojoc Cucul	San Cristóbal Sactá
GAV27	Crisanto Chub Sub	San Cristóbal Sactá
GAV28	Eugenio Bolom sacul	Champerico
GAV29	Vicente Bolom Rax	Champerico
GAV30	Andres Bolom Rax	Champerico BOSQUE
GAV31	Rafael Paau Choc	Chaslau Nueva Esperanza
GAV32	Rafael Paau Choc	Chaslau Nueva Esperanza
GAV33	Alfredo Cucul Mo	Chaslau Nueva Esperanza
GAV34	Ramiro Irán	Salac - BOSQUE
GAV35	Francisco Caal Coc	Santa Rosa Chivité
GAV36	Pedro Cucul Xoc	Santa Rosa Chivité
GAV37	Javier Asig Caal	Santa Rosa Chivité
GAV38	Luciano Choc Isem	Santa Rosa Chivité
GAV39	Instituto Fray domingo de Vico IFDV	Cahabón BOSQUE
GAV40	Instituto Fray domingo de Vico IFDV	Cahabón

Fuente, Elaboración propia en base a datos de campo. 2010.
GAV = Guatemala Alta Verapaz

2.11 Recursos

2.9.4 Humanos

- Tesista, asesores del CUNOR y CATIE
- Mujeres y hombres para la búsqueda de macroorganismos.

2.9.5 Físicos

- Bolsas plásticas
12" x 18" x 5"
- Marco de metal
de 25 cm X 25 cm
- Cilindro de metal
6 cm X 10 cm
- Mazo de goma
- Mazo de metal
- Sacos o costal de
prolpropileno
- Palanganas
(tinajas)
- Pinzas
- Alcohol 70 %
- Formol
- Recipientes
herméticos
- Balanza digital
- Cajas de petri
- Laboratorio
- Horno
- Moldes de aluminio tipo
muffin (forma de
cubilete)
- Estereoscopio
- Tamices 2 mm
- Libreta de campo
- Brújula
- Geoposicionador Global
Satelital (*GPS*)
- Cámara digital
- Equipo de computo

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las propiedades de los suelos, son características que dan las condiciones adecuadas para tener vida en ella y el buen funcionamiento dentro de un ecosistema. Propiedades como el contenido de materia orgánica y la diversidad de organismos: mejoran la productividad biológica, la calidad ambiental, la salud de las plantas. Propiedades físicas, químicas y la dinámica biológica en los suelos, son indicadores de su calidad.

En la región de Santa María Cahabón, A.V., se seleccionaron 36 parcelas de cacaoales y 4 áreas boscosas sin cultivos, para evaluar la calidad de suelos con que se cuenta en la red de parcelas de las diferentes comunidades del municipio. Los datos obtenidos en campo y laboratorio corresponden a 23 variables físico-químicas (Ver página 60 y 61), con los que se estableció una base de datos para el análisis estadístico.

3.1 Resultados

Como base para la comparación de los datos obtenidos, se anota en el siguiente cuadro los rangos adecuados de las principales propiedades químicas evaluadas, las cuales se discuten más adelante.

CUADRO 4

RANGOS ÓPTIMOS EN LOS SUELOS

Propiedades	Suelo de Santa María Cahabón A.V.	Óptimo
pH	6,0	6 a 7
% Materia orgánica	4	5
% Nitrógeno	0,3	0,2
Fósforo (mg/kg)	3,7	10 a 20
Potasio (cmol(+)/kg)	0,4	0,3 a 0,6
Calcio (cmol(+)/kg)	19,1	4 a 20
Magnesio (cmol(+)/kg)	5,4	1 a 5
Zinc (mg/kg)	3,9	2 a 10
Hierro (mg/kg)	73,0	10-100

Fuente: Resultados Laboratorio CATIE. 2 010.

3.1.1 Análisis de componentes principales con 23 variables físico-químicas

Para el análisis estadístico, se tomaron como base los resultados obtenidos en laboratorio de las 23 variables físico-químicas que representan el estado actual y disponibilidad de nutrientes en los suelos de las 36 áreas con cacao y 4 bosques. El arreglo de los datos fue una matriz en términos de matemática con filas y columnas, donde se tienen 40 filas representadas por la red de parcelas y las columnas se identifican con las 23 variables, finalmente se tiene un arreglo matricial con 920 datos.

Para el análisis del conjunto de variables y por la cantidad de datos, fue necesario el uso del análisis de componentes principales, técnica estadística de multivariantes que permitió sintetizar un gran conjunto de datos y crear unas variables que fueron construidas como combinación lineal de las originales y así reducir la dimensión de un conjunto de variables a un conjunto de menor número para mejorar la interpretabilidad de los datos, con un número grande de

variables, las correlaciones entre las mismas pueden ser tan similares que a veces miden lo mismo.

Debido a lo anterior se realizó el primer análisis de componentes principales (ACP), este análisis permitió explorar las correlaciones entre las 23 variables físico-químicas, tipología original de referencia representada con un diagrama de correlaciones y además se realizó una exploración de similitudes entre parcelas por un diagrama de distancias (Gráfica 1).

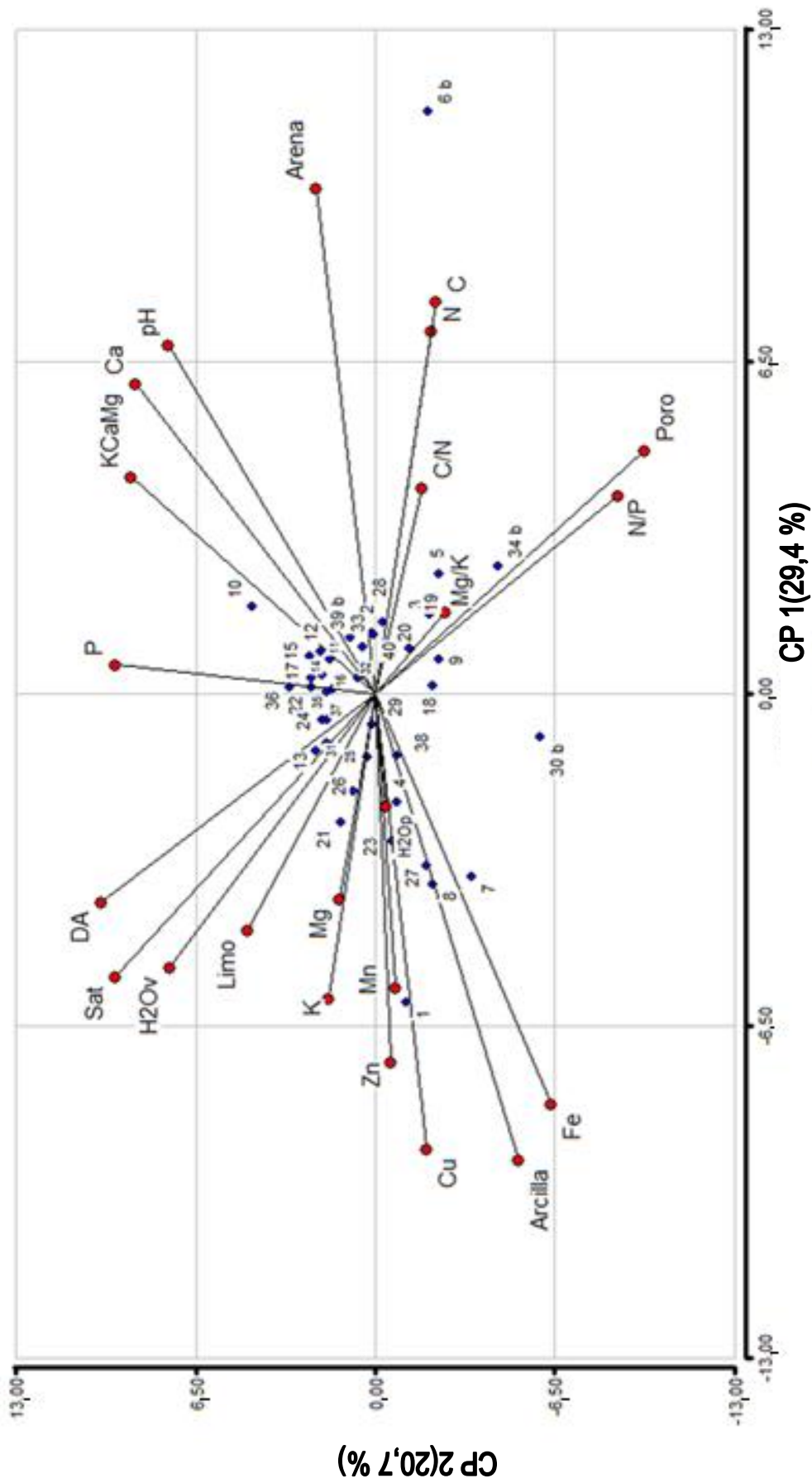
Con el ACP se compararon los datos físicos y químicos de la red de parcelas, 36 cacaotales y 4 bosques, con los datos obtenidos en laboratorio, el ACP da como resultado, que la proporción acumulada de los dos primeros auto valores llamados lambda 1 y 2 (Ver anexo 3), explican el mayor porcentaje de variabilidad acercándose a 1. Para explicar en dos dimensiones y en un plano cartesiano, a los dos primeros auto valores se identifican como componentes principales y son representados por los ejes X y Y, de esta forma la sumatoria de los valores de los dos ejes explican el 50,1 % de la varianza de las 23 variables.

El primer eje X explica la mayor cantidad de variabilidad con un valor propio de 29,4 %, se relaciona con el Cu, Zn, Fe y Arcilla, todas estas variables se encuentran en el eje negativo, mientras que la Arena y C en el cuadrante positivo. El segundo factor o componente principal tiene un valor propio del 20,7 %, este componente principal explica la máxima variabilidad posible no explicada por el primer CP, se relaciona con el pH, sumatoria de las bases KCaMg, Densidad Aparente (DA), Ca, P, saturación y humedad volumétrica H₂OV, todas estas variables se encuentran en el eje positivo y son opuestos negativamente con la porosidad y la relación N/P.

Por lo tanto los valores propios de cada componente principal, se obtienen del procedimiento de la diagonalización, procedimiento matemático que toma como base la matriz original o de referencia, de tal manera que la transforma en una matriz más simple con el uso de determinantes y se obtiene como resultado una matriz con valores de cero excepto la diagonal de la matriz, obteniendo así un conjunto de vectores con bases para graficar los datos y los auto vectores expresan la dirección de la variabilidad (Ver anexo 3 y 4).

Flechas cortas expresan poca variabilidad y no permiten identificar las variables relacionadas con los grupos de parcelas muestreadas, las variables con flechas más prolongadas representan una mayor variabilidad y pueden explicar mejor el comportamiento de las variables en los diferentes grupos de parcelas. (Gráfica 1)

GRÁFICA 1
ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES CON 23 VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS



Fuente: Investigación de Campo. 2 010.

Luego de elaborar el ACP con las 23 variables y 40 fincas, se estableció la tipología (clasificación o agrupación) de referencia, lo que permitió eliminar las variables que explicaban muy poco de la variabilidad entre parcelas, al eliminar variables con flechas cortas como se observa en el diagrama de correlaciones y distancia (Gráfica 1), resultó un grupo reducido de variables (indicadores). La mejor combinación, son las siguientes variables seleccionadas; el pH, Ca, Fe, Porosidad, % saturación de agua, Arena y Arcilla.

En anexos 3 y 4 aparecen los cuadros, con los resultados y se distinguen los valores más altos (positivos o negativos), criterio que sirvió para reducir el número de 23 variables y seleccionar el grupo reducido de 7 variables.

3.1.2 Análisis de componentes principales con 7 variables

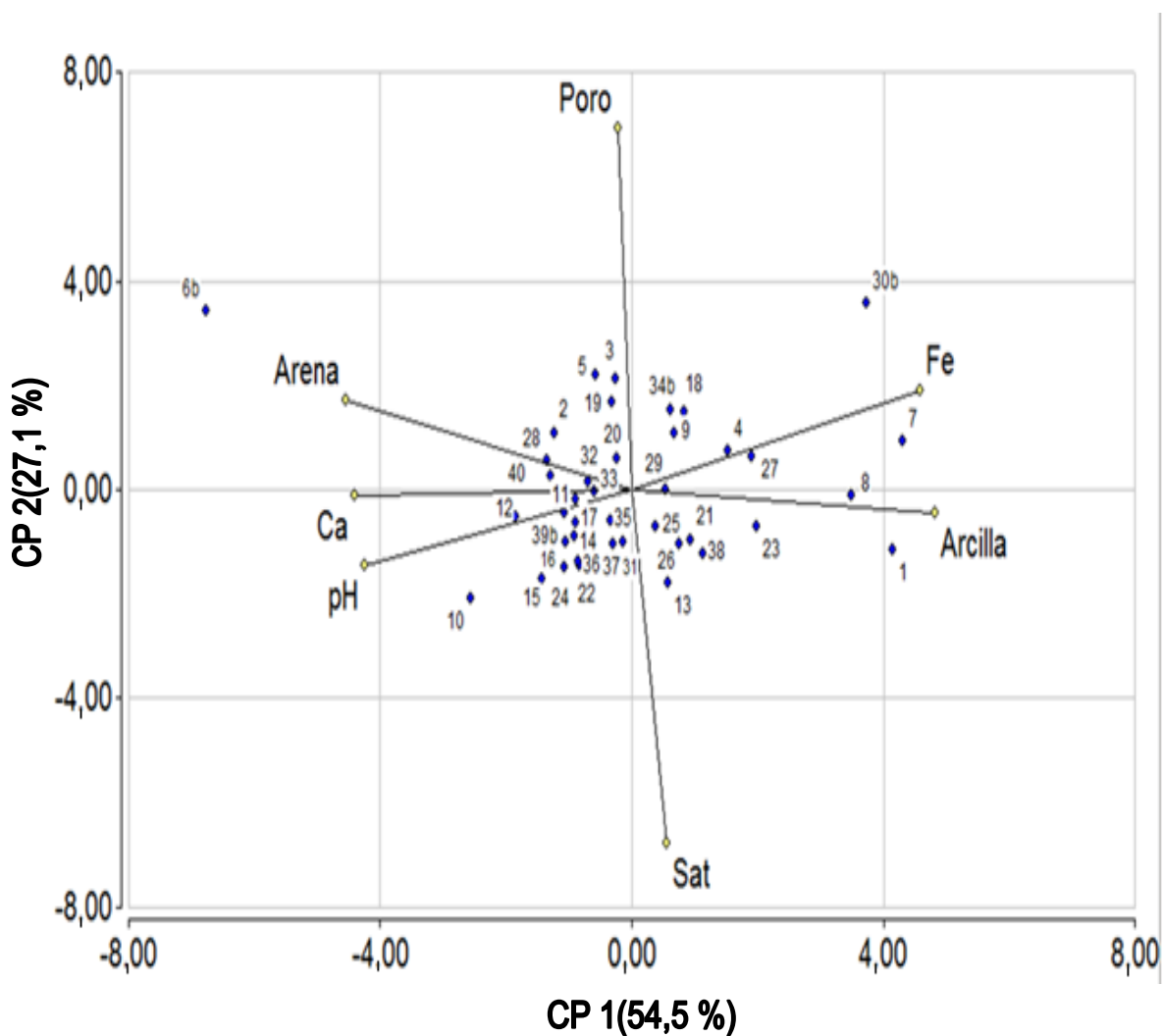
El grupo reducido de variables seleccionadas fueron analizados y evaluadas en los suelos de los sistemas agroforestales, cacao y bosques, siendo indicadores que ayudan a determinar la calidad de suelos¹⁴³. El grupo reducido de variables (pH, Ca, Fe, Porosidad, % saturación agua, Arena y Arcilla) presentaron las correlaciones altas en el análisis de componentes principales de las 23 variables (Gráfica 1) tipología de referencia. El grupo reducido de variables fue sometido a otro ACP para obtener una nueva tipología (Gráfica 2).

Con el ACP se analizaron los 36 cacaotales, 4 bosques y 7 variables (indicadores) seleccionadas, dio como resultado que los ejes X y Y representan un 81,6 % de la varianza de las 7 variables. El primer eje x (valor propio = 54,5 %) se relaciona con el Ca, pH y

¹⁴³ Roseau.

Arena opuesto a Fe y Arcilla, el segundo eje Y (valor propio = 27,1 %) se relaciona con la porosidad opuesta al % saturación de agua, tal como se observa en la gráfica 2

GRÁFICA 2 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES CON 7 VARIABLES



Fuente: Investigación de campo. 2 010.

3.1.3 Análisis de conglomerados

Con la reducción de las 23 variables físico-químicas del suelo y la selección de los 7 indicadores (pH, Ca, Fe, Porosidad, % saturación de agua, Arena y Arcilla), se realizó un análisis cluster o análisis de conglomerados para agrupar parcelas o cacaotales semejantes entre sí y ubicar a un grupo que pueda ser diferenciado entre otro, por tener un comportamiento diferente en las variables analizadas, los resultados se grafican en forma de árboles en la gráfica 3 (dendrograma).

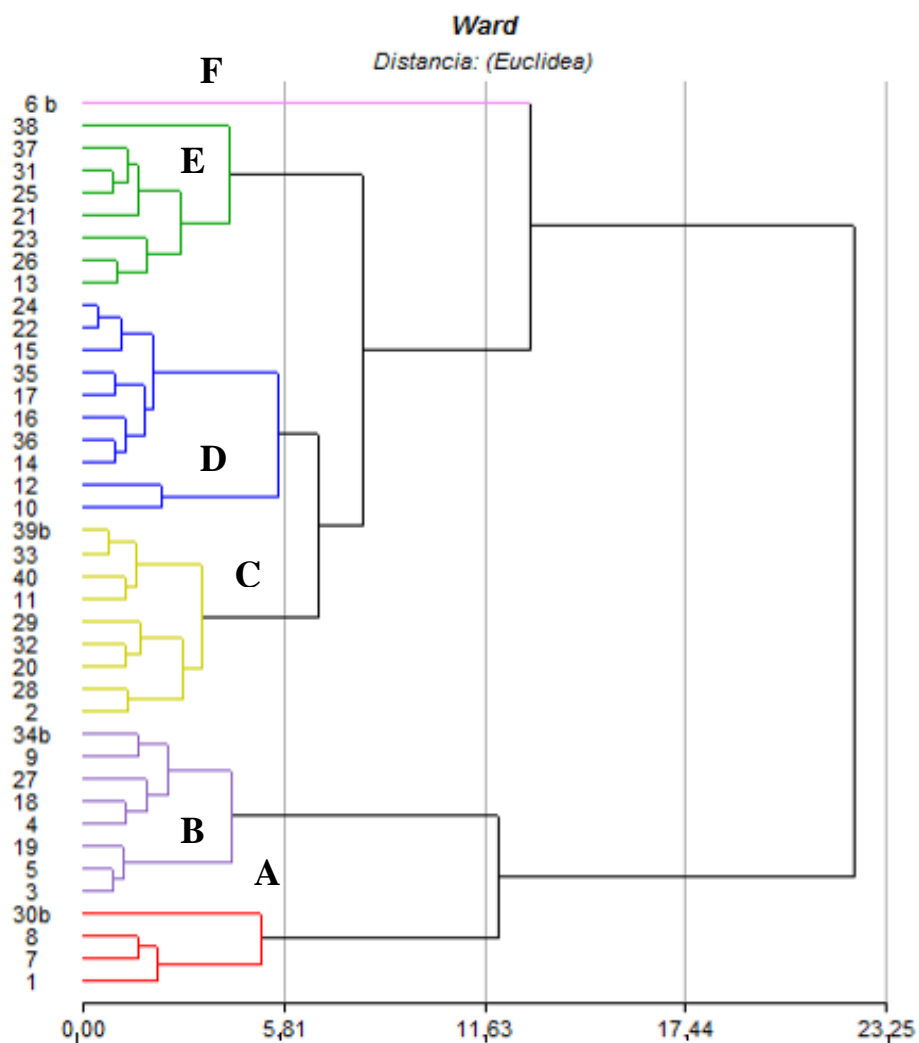
Para este análisis se obtuvo una matriz de datos con las 7 variables, mismos que fueron usados para el cálculo de agrupamiento; sin embargo el agrupamiento de parcelas se realizó con los valores de las variables, los cuales pudieron ser similares o contrastados con diferencias mínimas ó no, entre parcelas. Valores que incidieron en la formación de los conglomerados, de forma que el grado de asociación/similitud entre miembros del mismo conglomerado o grupo sea más fuerte que el grado de asociación/similitud entre miembros de diferentes grupos, por lo que cada grupo se identifica con la clase a la que sus miembros pertenecen, para este análisis se usó el método de *Ward* (varianza mínima).

Este método jerárquico une conglomerados y para ello realiza una ponderación (por el tamaño de cada grupo) de todos los conglomerados participantes, así en cada unión la pérdida de información es minimizada. Define la distancia entre grupos como la

suma de las sumas de cuadrados para datos con distribución normal y matrices de covarianzas homogéneas entre grupos.¹⁴⁴

El agrupamiento fue por medio del método de la medida de distancia euclídea, el cuál es la distancia entre 2 variables que generó una diferencia entre las misas.

GRÁFICA 3 DENDOGRAMA DEL ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS



Fuente: Investigación de campo. 2 010

¹⁴⁴ Mónica Balzarini, Et.Al. *Manual del usuario* (Córdoba, Argentina: Editorial Brujas, 2008): 181.

En el dendograma se puede observar la agrupación y se diferencian 6 grupos (A,B,C,D, E y F), cada grupo o cluster agrupó las parcelas semejantes al considerar la calidad de suelo, que incluye una característica de los 7 indicadores con la que mejor se correlacionaron.

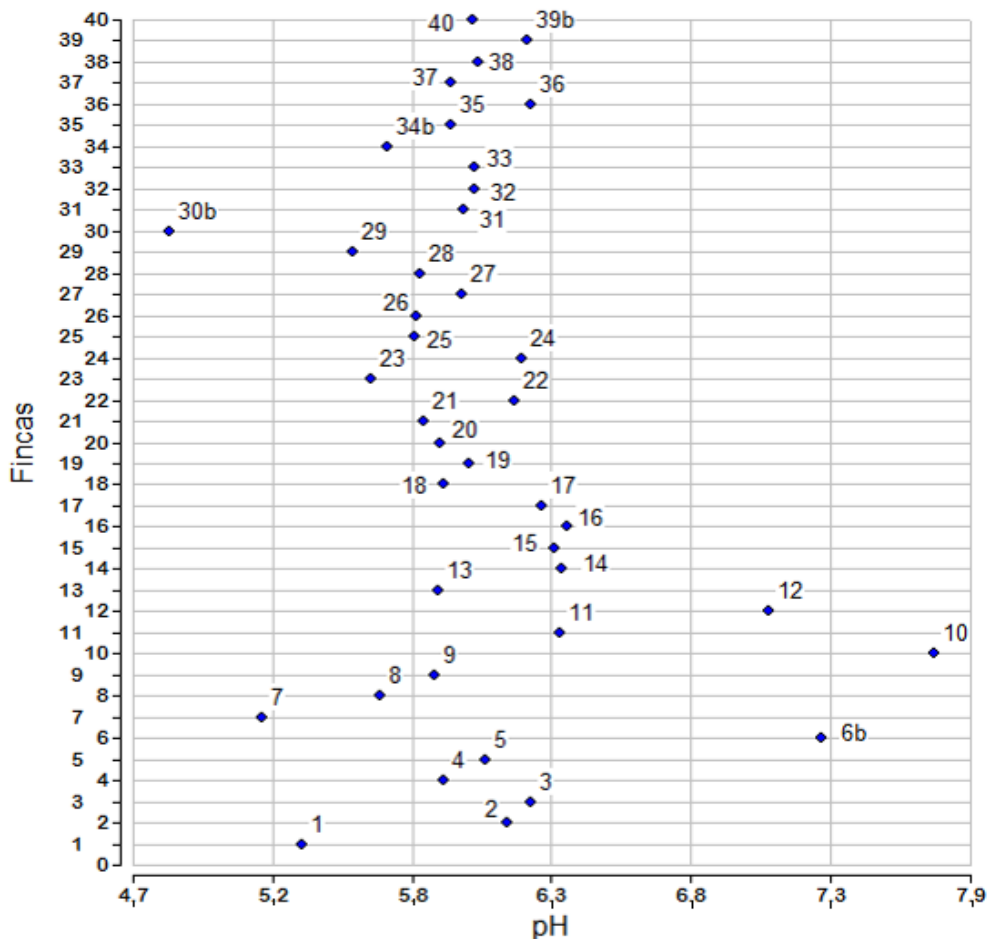
Se agruparon las fincas de acuerdo al indicador más determinante así, el grupo A (fincas: 1, 7, 8, 30b) se encuentra mayor relacionado por las variables Fe y pH, tal como se observa en las gráficas 4 y 6 con los rangos óptimos, el grupo B (fincas: 3, 4, 5, 9, 18, 19, 27, 34 b) se encuentra mayor relacionado por la variable Porosidad, el grupo C (fincas: 2, 11, 20, 28, 29, 32, 33, 39b, 40) se relacionan con las variables de Arena y Arcilla que corresponden a la textura, el grupo D (fincas: 10, 12, 14, 15, 16, 17, 22, 24, 35, 36) se relaciona con el Ca; el grupo E (fincas: 13, 21, 23, 25, 26, 31, 37, 38) se relaciona con él % saturación de agua y el último grupo F se representa con la finca 6b que corresponde a un bosque y se relaciona con la Arena.

Los otros 3 bosques se encuentran agrupados en los grupos A, B y C por lo que el sistema agroforestal del cacao se asemeja a las condiciones de suelo y servicios que los bosques brindan.

Para observar las similitudes de las 36 parcelas de cacaotales y 4 bosques con respecto a las variables físico-químicas (pH, Ca, Fe, Porosidad, % saturación, Arena y Arcilla), se realizaron los diagramas de dispersión por cada variable para observar el comportamiento por cada cacaotal o bosque. (Gráficas 4 a la 10)

GRÁFICA 4

DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

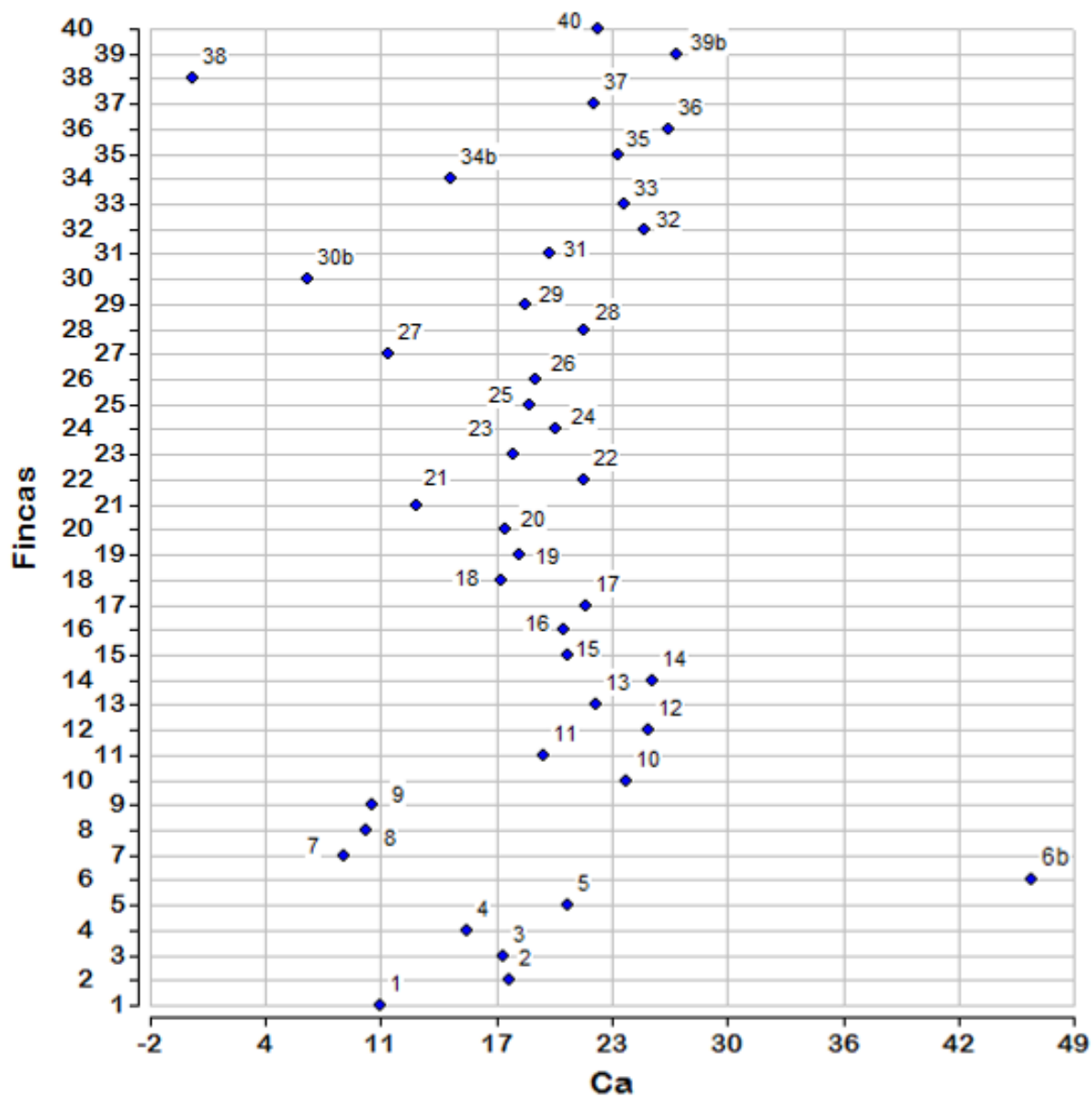


Fuente: Investigación de Campo. 2 010

El pH más adecuado para el cultivo de cacao se encuentra en el rango de 6 a 7 (Cuadro 4), el cultivo puede desarrollarse con pH próximo a la neutralidad y puede ser de un 5,5 que corresponde a una acidez moderada hasta un 7,5 con una alcalinidad muy débil.¹⁴⁵ El pH del suelo en los sistemas agroforestales de Cahabón se encuentra en un promedio de 6 (Cuadro 4); en la gráfica, las fincas o parcelas 30b, 7 y 1 se encuentran con un pH menor a 5,5, que forman parte del grupo A (Gráfica 3).

¹⁴⁵ Nosti, *Cacao, Café, Té*. 30

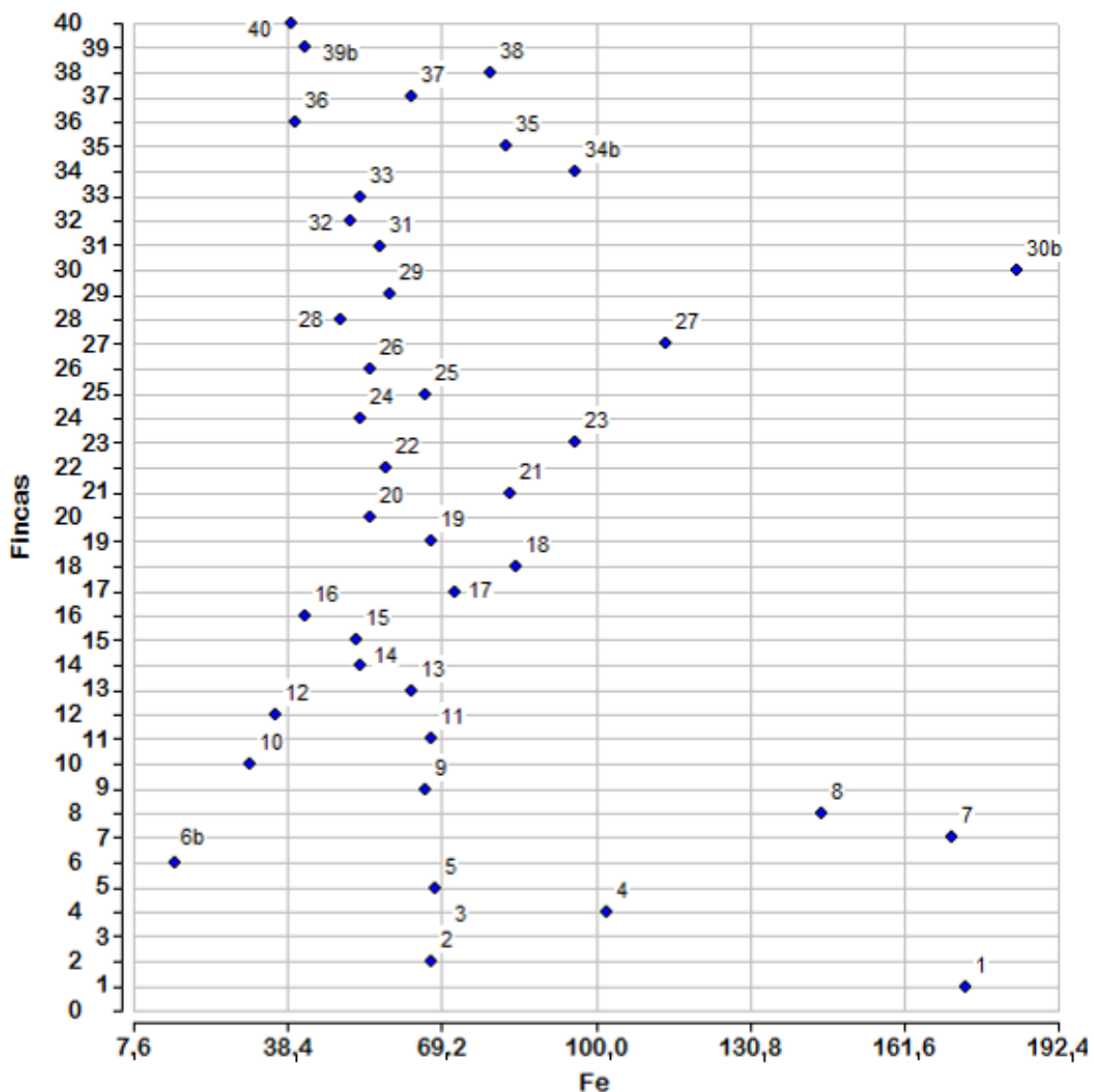
GRÁFICA 5
DIAGRAMA DE DISPERSIÓN CALCIO (Ca)



Fuente: Investigación de Campo. 2 010

El rango óptimo del Ca, es de 4 cmol/kg a 20 cmol/kg. Las fincas o parcelas 10, 12, 14, 15, 16, 17, 20, 22, 24, 35 y 36 se identifican con el grupo D quienes superan a 20 cmol/kg. Los suelos indican que existe disponibilidad de Ca.

GRÁFICA 6
DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE HIERRO (Fe)

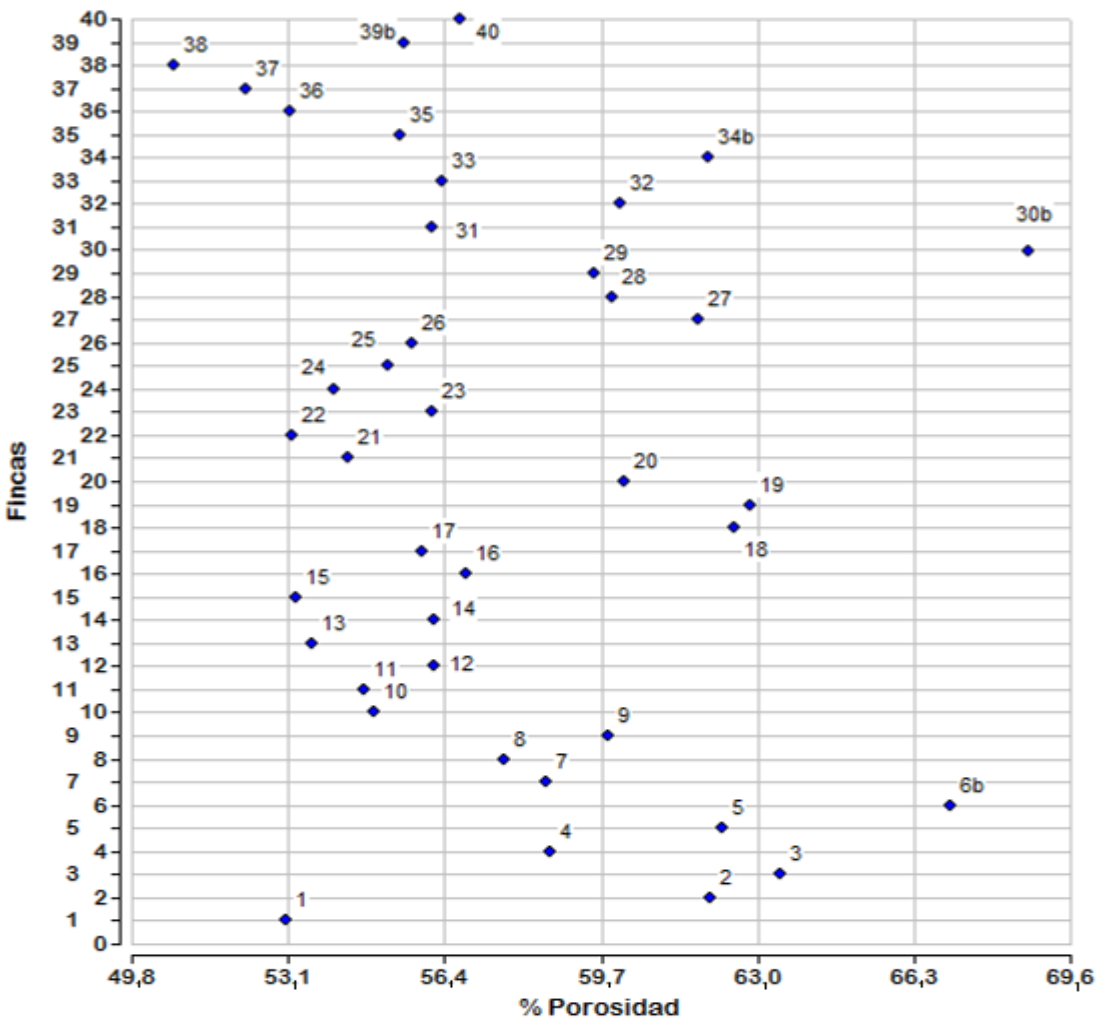


Fuente: Investigación de Campo. 2010

El Fe debe estar en concentraciones adecuadas con rangos de 10 mg/kg a 100 mg/kg, en los suelos muestreados de las parcelas de cacao en Santa María Cahabón se obtuvo un promedio de 73 mg/kg. Las parcelas 1, 7, 8 y 30b corresponden al grupo A (Gráfica 3), relacionados con un pH menor a 6, debido a que la disponibilidad del Fe es mayor en suelos ácidos.

GRÁFICA 7

DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE PORCENTAJE DE POROSIDAD

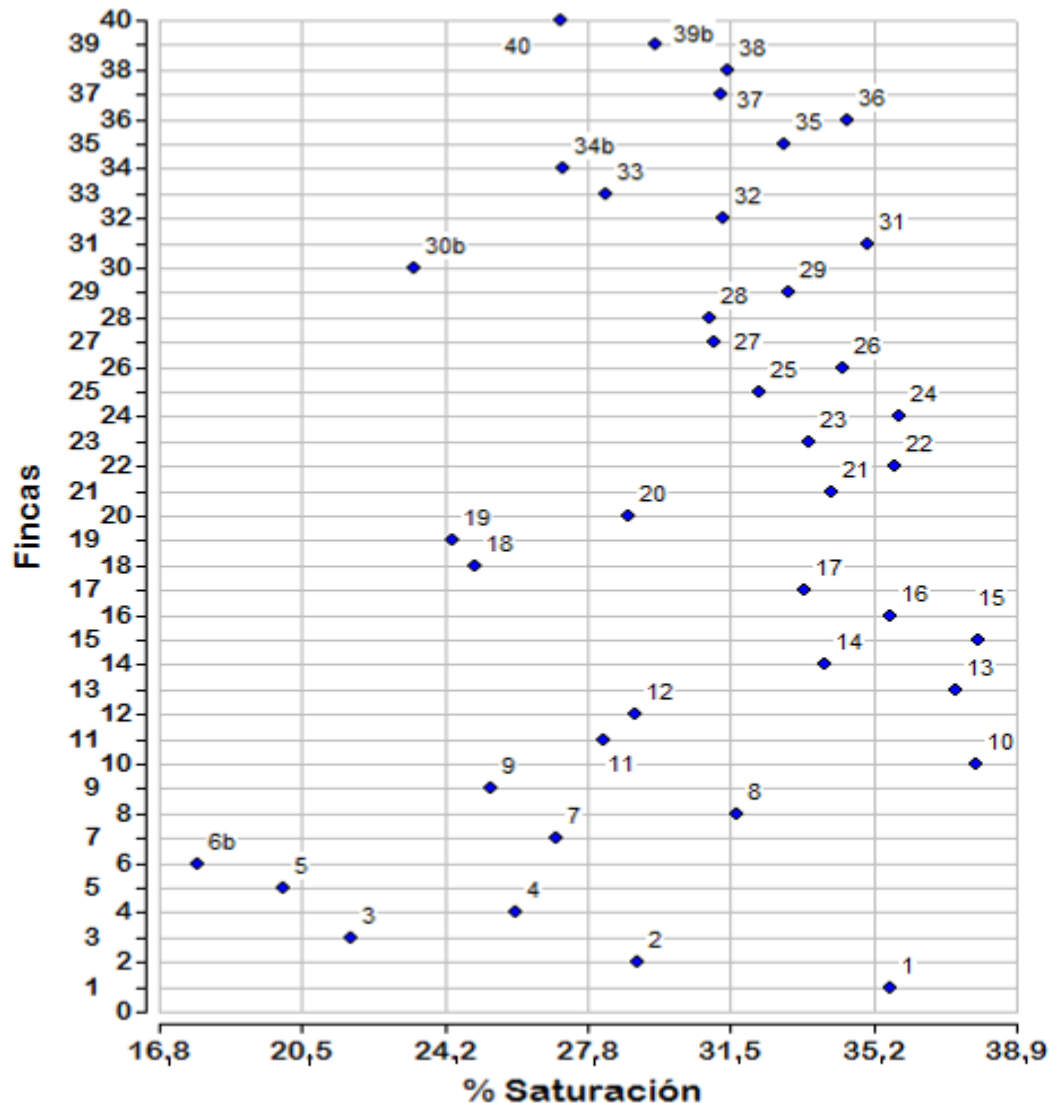


Fuente: Investigación de Campo. 2 010

La textura de los suelos muestreados es arcillosa y tienen un porcentaje de porosidad de 50 a 60, suelos que retienen mayor cantidad de agua pero muestran deficiencia en aireación. El grupo B (Gráfica 3) agrupa las parcelas 3, 4, 5, 9, 18, 19, 27 y 34b. El promedio en porcentaje total de poros de los suelos muestreados fue de 58 %, que corresponde al horizonte A con una combinación de materia orgánica formando humus. Este porcentaje de muestra que en épocas de invierno existe poca aireación pero buena retención de agua.¹⁴⁶

¹⁴⁶ Foth, *Fundamentos de la ciencia del suelo.*, 56.

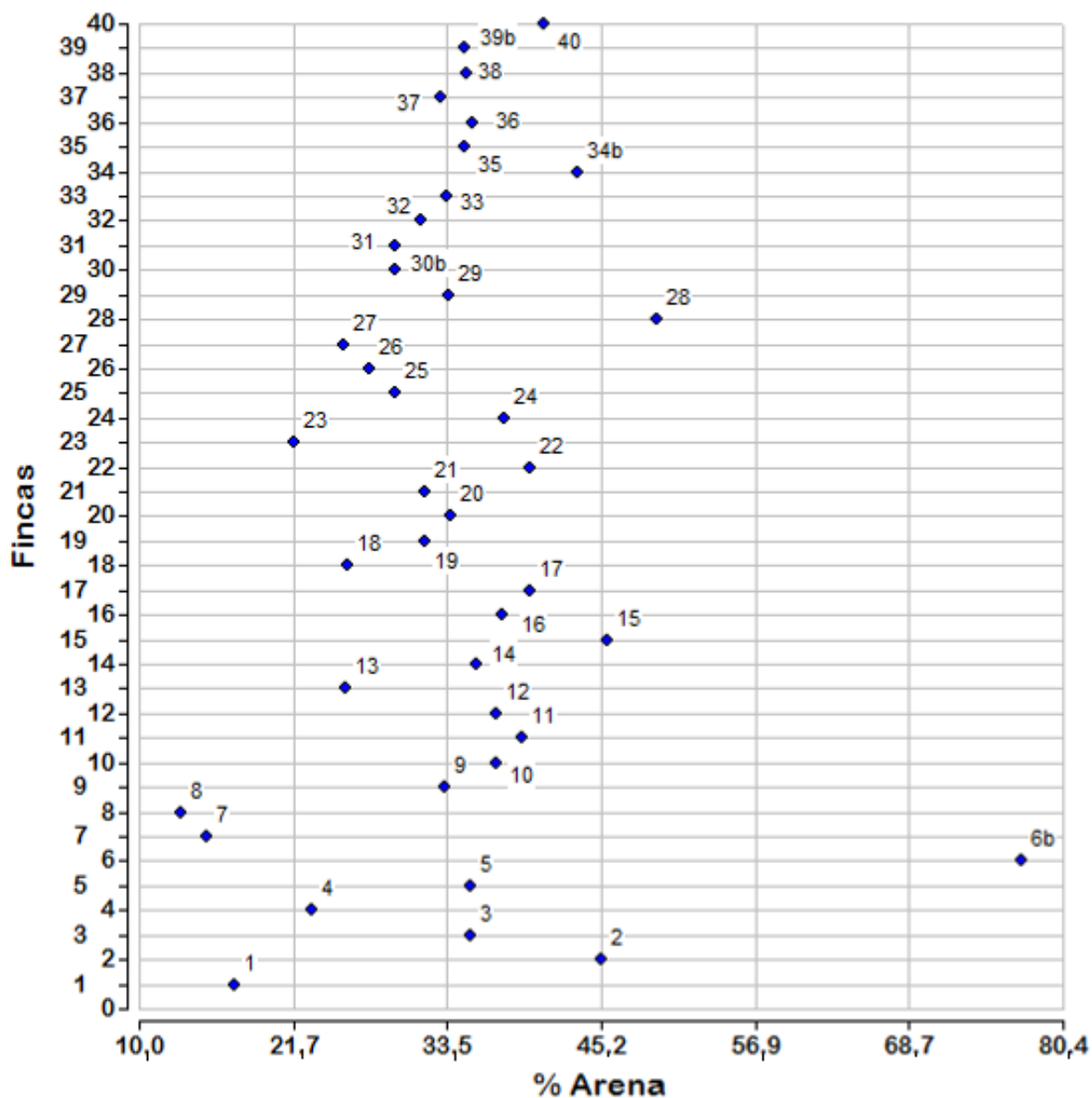
GRÁFICA 8
DIAGRAMA DE DISPERSIÓN
PORCENTAJE DE SATURACIÓN



Fuente: Investigación de Campo. 2010

El promedio del porcentaje de saturación de agua en los suelos de los sistemas agroforestales de cacao es 30 %, porcentajes más altos pueden tener problemas de infiltración y con pendientes muy pronunciadas se encuentran expuestos a erosión hídrica. Las parcelas 13, 21, 23, 25, 26, 31, 37 y 38 conforman el grupo E (Gráfica 3).

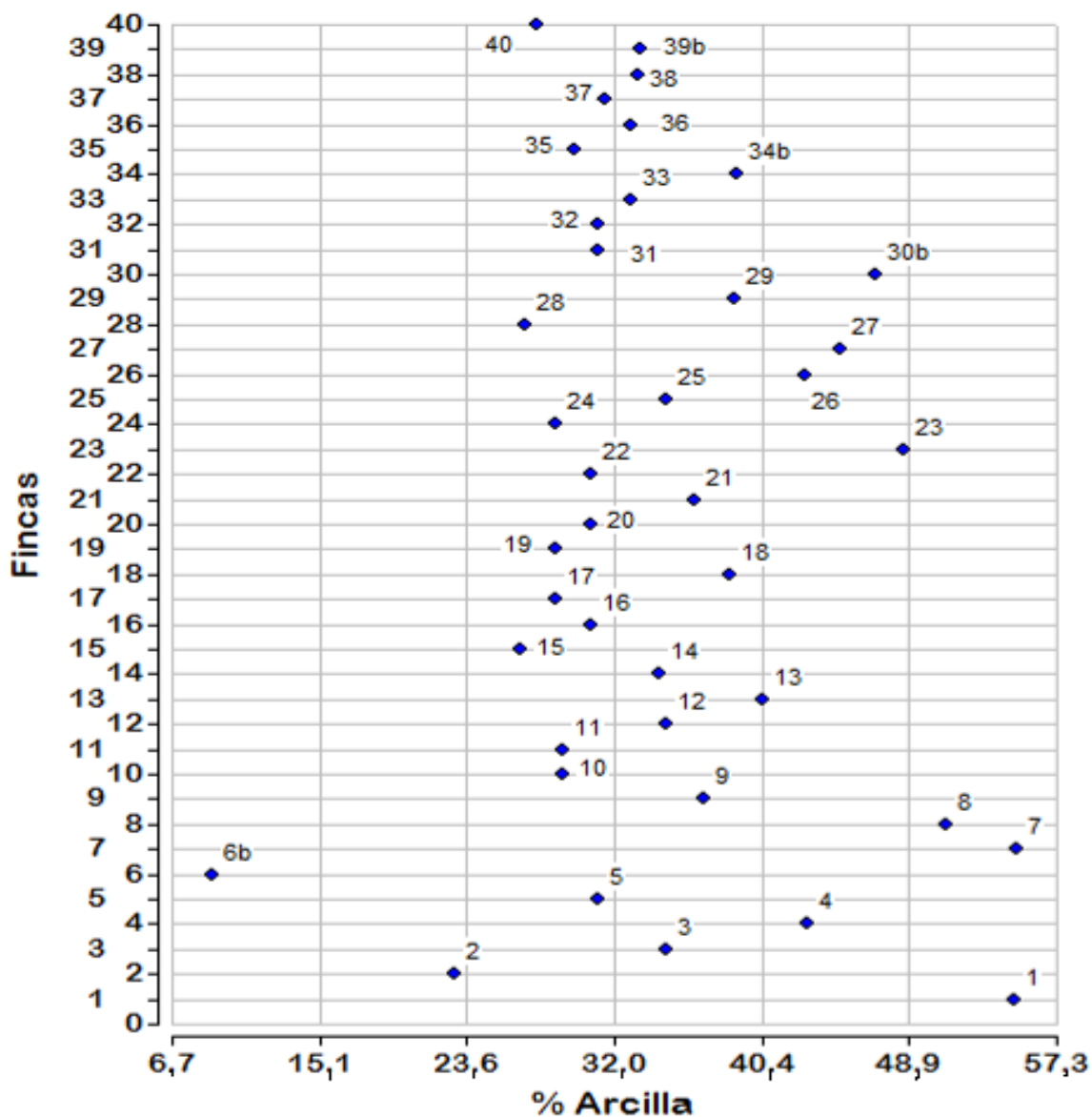
GRÁFICA 9
DIAGRAMA DE DISPERSIÓN, PORCENTAJE DE ARENA



Fuente: Investigación de Campo. 2010

El promedio del porcentaje de arena obtenida en los suelos de las parcelas fue de 34, por arriba de este los suelos son cascajosos o pedregosos. Las parcelas 2, 11, 20, 28, 29, 32, 33, 39b, y 40 conforman el grupo C; además la parcela 6b se nombra con la letra F (Gráfica 3).

GRÁFICA 10
DIAGRAMA DE DISPERSIÓN, PORCENTAJE DE ARCILLA



Fuente: Investigación de Campo. 2010

El promedio del porcentaje de arcilla obtenida en los suelos de las parcelas es de 35. Los suelos de las parcelas se diferencian en texturas desde franco, franco arcilloso hasta ser suelos arcillosos. Las parcelas 2, 11, 20, 28, 29, 32, 33, 39b, y 40 conforman el grupo C (Gráfica 3).

3.1.4 Macrofauna y sus relaciones con las variables físico-químicas del suelo

A continuación se presenta un resumen del total de individuos recolectados, que fueron clasificados en 25 grupos funcionales de macrofauna.

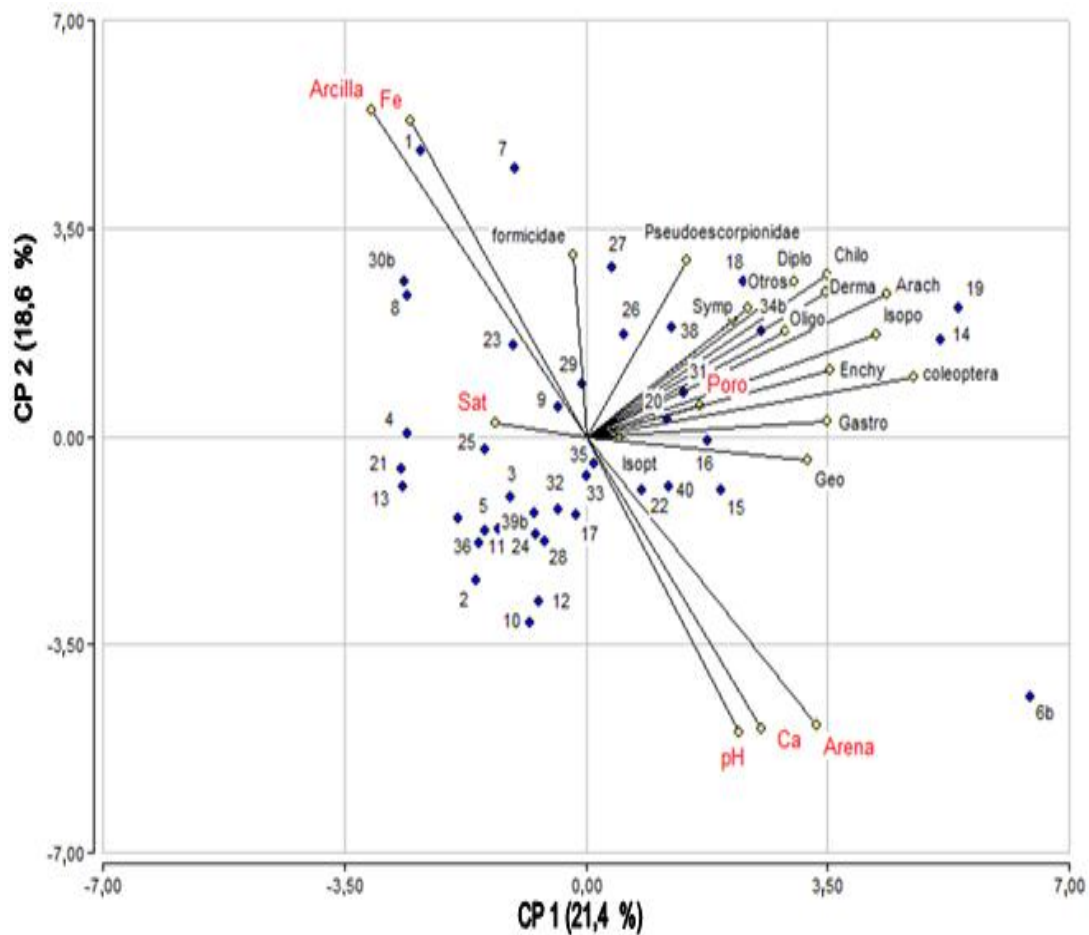
CUADRO 5
RESUMEN DE GRUPOS FUNCIONALES

Filo	Clase	Subclase	Orden	Fam.	Nombre común	Individuos	%
Artrópodo	Arácnidos		<i>Araneae</i>		Arañas	329	2,7
			<i>Seudoescorpión</i>		Falso escorpión	104	0,9
	Crustáceos		<i>Isópoda</i>		Cochinilla	111	0,9
	Insectos		<i>Coleóptera</i>		Escarabajos, larvas	880	7,3
			<i>Formícida</i>		Hormigas	5 319	44,3
			<i>Isóptera</i>		Termitas	394	3,3
			<i>Dermáptera</i>		Tijeretas	170	1,4
	Miriápodos		<i>Diplopoda</i>		Milpiés	647	5,4
			<i>Symphyla</i>		Sínfilos	101	0,8
			<i>Geophilomorpha</i>		Otros cien pies	97	0,8
		<i>Chilopoda</i>		Cien pies	181	1,5	
Anélidos		<i>Oligochaeta</i>			Lombrices	2 185	18,2
				<i>Enchitreidae</i>	Lombrices	751	6,3
Moluscos	Gasterópodos				Conchas, Caracoles, babosas	171	1,4
TOTAL						12 000	100

Fuente: Investigación de Campo. 2 010

Se recolectó un total de 12 000 macroinvertebrados, estos fueron identificados y diferenciados en 25 grupos funcionales, de los cuales, 14 conforman el 95,2 % del total de los individuos quienes se encontraron en mayor cantidad en el estrato de suelo muestreado, el 4,8 % restante está conformado por 11 grupos funcionales donde la cantidad o número de insectos recolectados fue poco. Las poblaciones de los grupos funcionales están distribuidas en las 36 parcelas con cacao y 4 bosques con una diversidad de especies.

GRÁFICA 11
RELACIÓN MACROFAUNA Y VARIABLES INDICADORAS FÍSICO-QUÍMICAS



Fuente: Investigación de campo 2 010

3.2 Discusión de resultados

3.2.1 Indicadores de la calidad de suelos

La calidad de suelo es la capacidad que se tiene para retener y proporcionar los elementos esenciales para la nutrición de las plantas y brindar las condiciones adecuadas, proporciones de materia mineral, materia orgánica, agua y aire, para la vida de numerosas especies de organismos dentro de un ecosistema.¹⁴⁷

La calidad de suelo por ser parte de un sistema ecológico, en el cual existen interacciones, puede ser afectada por erosión, salinidad, acidificación, pérdida de materia orgánica o contaminación química. La calidad es una forma de conocer las condiciones de suelo y producir de forma amigable con el ambiente y sin degradar el suelo.¹⁴⁸

En el municipio de Santa María Cahabón existen áreas donde la depredación de la cobertura vegetal y malas prácticas agrícolas han provocado la degradación de los suelos y pérdida de la calidad y salud de los mismos, en contraste con los sistemas agroforestales de cacao y bosques que aún se conservan, es necesario conocer sobre las propiedades de suelo y fauna que poseen.

En la investigación se evaluó la calidad de suelo por medio de 23 variables físicas y químicas. Con éstas variables tomadas como indicadores se obtuvo una tipología original de referencia, al ser analizadas estadísticamente con el método del ACP, se definió una

¹⁴⁷ “Qué es la calidad de suelo”, *Calidad del suelo y sus indicadores*, marzo 2010.

¹⁴⁸ Calidad y Salud del Suelo. <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/CalidadSalSuelo>.

nueva tipología de referencia con 7 variables (pH, Ca, Fe, Porosidad, % saturación de agua, Arena y Arcilla), las variables fueron seleccionadas por ser las que mayor correlación presentaron a diferencia del resto de las variables analizadas y responden a indicadores que han sido utilizadas para la evaluación de la calidad del suelo.

Entre las características físicas, en especial para los suelos de los sistemas agroforestales de cacao en Santa María Cahabón, sobresalen la porosidad, saturación, porcentajes de arena y arcilla.

El muestreo se realizó en época con mayor presencia de lluvia, esto influyó para conocer la cantidad máxima de agua en el suelo. En la gráfica 8 se ve que en la mayoría de parcelas superan un 30 por ciento de la humedad, en parcelas con mayor pendiente los suelos están expuestos por pérdida de los pocos elementos nutricionales por erosión hídrica y necesitan realizar métodos para evitar escurrimientos.

El porcentaje de arcilla o suelo arcilloso se caracteriza por su capacidad de retención de agua contra la fuerza de gravedad, una gran parte del agua es retenida como una película en la superficie de las partículas de arcilla y en las que se retienen algunos nutrientes.

La textura de los suelos en los sistemas agroforestales del municipio de Santa María Cahabón, por los análisis estadísticos realizados, es un indicador de calidad de suelo, en la gráfica 10 se representa el porcentaje de Arcilla en los suelos y en los resultados de laboratorio (ver anexo 1), se encuentran suelos desde franco, franco arcilloso hasta arcillosos. La diferencia de los suelos de un sistema agroforestal, comparado con suelos con otro tipo de

explotación agrícola sin riqueza de especies vegetales de estratos medio y alto, es por la riqueza de vegetación y la poca actividad de labranza del suelo, sin uso de pesticidas. La materia orgánica y su incorporación en los suelos durante años han provocado cambios.

El porcentaje de Arena tiene una porosidad total con poco porcentaje ocupados por micro poros y tiene un mayor porcentaje de macro poros, lo que permite una mayor circulación de aire pero poca retención de humedad y pérdida de nutrientes. En la gráfica 9, se nota la presencia de arena en los suelos, puesto que en éstos sistemas se encuentran suelos cascajosos con la combinación de mayor porcentaje de Arcilla que la de Arena.

Dentro de las características químicas, el pH es una propiedad que tiene influencia indirecta en los procesos químicos, en la disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y actividad microbiana.

El pH como indicador de calidad de suelo es fundamental, influye en la asimilación de macro y micro nutrientes, con un pH adecuado pueden estar disponibles los elementos necesarios para la planta de acuerdo a las exigencias del cultivo, en cacao se requiere suelos con pH neutro. En la gráfica 4 presenta el valor el pH para las 36 parcelas y 4 bosques, los valores adecuados con promedio de 6 a 7, pero en las parcelas 30b, 7 y 1 el pH del suelo es ácido, corresponden a 2 sistemas agroforestales y 1 bosque.

El Ca es una de las bases intercambiables en los suelos, uno de los macronutrientes secundarios necesarios para el crecimiento de las plantas, se requieren en menor proporción en comparación de los macronutrientes primarios (N,P,K).

Además, es importante como nutriente para mantener las condiciones físicas del suelo. Favorece el desarrollo de las raíces y también neutraliza los ácidos tóxicos. Se absorbe por las zonas jóvenes de las raíces como catión (Ca^{2+}); suelos con pH ácido imposibilitan la liberación de calcio y también sucede por estrés hídrico.

En los sistemas agroforestales se encuentran en concentraciones adecuadas de Ca, en el cuadro 4 se observa rangos óptimos de 4 mg/kg a 20 mg/kg, las concentraciones de Ca se mantienen en el rango óptimo en los suelos sistemas agroforestales de cacao.

El Fe, es parte de los cuatro cationes micronutrientes (Fe, Mn, Zn y Cu) estos cationes son mucho más solubles y asimilables bajo condiciones ácidas, por lo tanto se toma como uno de los indicadores de la calidad de suelo debido a que en suelos muy ácidos existe una abundancia relativa de los cuatro iones mencionados.¹⁴⁹ Por intemperización de los minerales, aparecen en la solución del suelo como cationes bivalentes disponibles para las plantas. El Fe se relaciona con el grupo A de la gráfica 3, con pH ácidos donde existe mayor concentración de Fe.

3.2.2 Elementos del cacao y bosques

En el municipio de Santa María Cahabón, A.V., el cacao se cultiva en condiciones con topografía ondulada y cerros redondeados, con pendientes suaves a muy fuertes. Donde se tienen características de rocas arcillosa la vegetación por ser un

¹⁴⁹ Harry Buckman, Nyle Brady. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. España: Editorial Hispano Americana. 1966., 480.

sistema agroforestal en su mayoría, los cacaotales tienen como sombra principal el madre cacao (*Gliricidia sepium*), combinado con cedro (*Cedrella odorata*), caoba (*Swietenia spp*), cítricos, musa paradisíaca, y otras especies frutales y maderables.

La vocación del suelo del municipio es forestal por las condiciones de topografía, suelos y texturas. Por las proporciones de Arena, Limo y Arcilla, la textura de los suelos de la red de parcelas de cacao y bosques muestreados dio como resultado en los análisis de laboratorio la siguiente clasificación; arcilloso, franco, franco arcilloso, franco arenoso, franco arcillo-arenoso.

En su mayoría los suelos de los 36 cacaotales y 3 bosques son suelos franco, franco arcillosos y arcillosos, el bosque 6 de la comunidad de Agrícola San Juan difiere por tener una textura franco arenosa. Los suelos apropiados para el cultivo de cacao van desde arcillosos hasta franco arenosos, se puede observar que los suelos donde se encuentran establecidos los cultivos de cacao cuentan con una textura adecuada para el desarrollo de las plantas de cacao.

La textura de los suelos muestra que son suelos de poca profundidad, lo que claramente se observó en la extracción de muestras de los suelos, la región se caracteriza por ser de suelos poco profundos y pobres en materia orgánica obteniendo poca fertilidad y bajos rendimientos.

Pero a diferencia de los resultados obtenidos en los sistemas agroforestales y el resultado de laboratorio (ver anexo 1) indica que en los sistemas agroforestales de cacao por la combinación de las especies, maderables, frutales, etc., y por el material vegetal que cae como ramas y hojas combinado con un proceso biológico, con

ayuda de organismos descomponedores son degradados para luego incorporarse al suelo, ayudan a proporcionar un buen porcentaje de materia orgánica por lo que en las parcelas de cacao se tiene un porcentaje promedio de 4 % aunque en general se estima un 5 % para obtener un buen porcentaje de materia orgánica. Estos datos de materia orgánica no difieren mucho en comparación con los bosques.

Dentro de las propiedades físicas del suelo sobresalieron en las parcelas y bosques con proporciones altas de Arcilla y de Arena, que en algunos sistemas eran suelos cascajosos, esto se relaciona con la textura del suelo que afecta en gran medida la productividad; suelos con un porcentaje elevado de arena, suelen ser incapaces de almacenar suficiente agua y poca capacidad de retención de nutrientes a falta de micelas (cristal coloidal de arcilla) esto hace que los elementos, minerales o bien los nutrientes, no estén disponibles para las plantas y no permitan un buen desarrollo de las mismas.

En la mayoría de los sistemas agroforestales de cacao se pudo observar un suelo con textura arcillosa, contienen una proporción mayor de partículas pequeñas, retienen mayor cantidad de agua y tienen mayor capacidad de adsorción de minerales con un intercambio catiónico alto que pueden ser utilizados con facilidad por la planta, atrayendo los iones por parte de los coloides que los hace tener un textura viscosa, además los suelos arcillosos por la época que se realizaron los muestreos con mayor precipitación hubo mayor porcentaje de saturación de agua que puede impedir con frecuencia una ventilación o circulación de oxígeno para el crecimiento natural de las plantas.

Los suelos del municipio de Santa María Cahabón reflejan condiciones que pueden afectar en la calidad de suelos para el sostenimiento de los cultivos, en este caso para el cultivo de cacao, en el análisis de componentes principales con las 23 variables físico-químicas permitió generar las nuevas variables, eliminando las que aportaban poca información y explicaran las causas de la variabilidad entre los datos.

De tal manera las variables reducidas responden a las condiciones de los suelos de esta región, por lo que la porosidad, % de saturación de agua y texturas arcillosas tienen relación. Por lo que en la mayoría de cacaotales son suelos franco arcillosos que en épocas con mayor precipitación los suelos se saturan de agua quedando muy poco para el aire y provoca una erosión hídrica por escorrentía además de la pérdida de nutrientes.

El % de porosidad está relacionado con la densidad aparente (DA) y materia orgánica, puesto que los suelos más pesados en este caso suelos arcillosos con materia orgánica tienen un porcentaje total de porosidad que va de 50 a 60 y responden a una DA de 1,0 a 1,2, rangos que se obtuvieron en laboratorio con las muestras de suelos de los cacaotales y bosques, suelos superficiales con textura fina, tienen más espacio poroso total y en mayor proporción es ocupada por poros pequeños con elevada capacidad para retener agua. En algunos suelos arenosos el espacio total de poros puede ser bajo y favorece la facilidad de movimiento del agua y aire debido a que parte del suelo está formado por poros grandes.¹⁵⁰

¹⁵⁰ Foth, 56.

Dentro de las variables químicas que más explican en el ACP, están el pH, Fe y Ca. El pH es una variable muy importante pues en concentraciones bajas puede provocar toxicidad, existe una menor disponibilidad de nutrientes, con una acidez alta se reduce la actividad microbiana y una lenta desintegración o degradación de materia orgánica, por lo que es muy importante para los cultivos.

En los suelos de los cacaotales y bosques es poca la variación pues los rangos se mantienen con un promedio de pH 6 (Cuadro 4), que es cercana a un pH neutro, en la mayoría de cultivos se prefiere un pH neutro pues existe un alto grado o contenido de bases cambiables, en el caso del cacao puede desarrollarse en condiciones de suelo con un pH que va de 6 a 7.

Con un pH adecuado en el suelo pueden estar disponibles nutrientes requeridos por el cultivo de cacao debido a que éste extrae del suelo principalmente en mayor proporción el K, seguido por el N, Ca y Mg.

El Fe es uno de los elementos que en suelos ácidos puede estar disponible para las plantas y existen algunos cacaotales con suelos ácidos que tienen un mayor contenido de él pero se mantiene un rango adecuado para la mayoría de los cacaotales (Cuadro 2), al igual que el Ca se mantienen en cantidades adecuadas.

Dentro de las propiedades de los suelos relacionados con su calidad y salud (Cuadro 2), el elemento que se encuentra más bajo es el P, elemento importante para que la planta tenga buen desarrollo radicular y mejore la adsorción de nutrientes este elemento puede ser estable pero poco soluble en agua, lo que

dificulta su transporte al interior de las plantas y puede ser una limitante.

3.2.3 Macrofauna y sus correlaciones con las variables físico - químicas del suelo

En suelos muestreados se encontró una riqueza de grupos funcionales de macroinvertebrados, que son benéficos y que ayudan a la transformación o degradación de materia orgánica para que los microorganismos realicen procesos biológicos de degradación para su incorporación en el suelo. Las condiciones son adecuadas pues las variables tomadas para la calidad de suelo la mayoría de los grupos funcionales de los insectos se relacionan con la porosidad (Gráfica 11), a pesar que en la región los suelos son arcillosos contienen una buena proporción de materia orgánica superficial y con un pH adecuado no muy ácido permite que exista una buena actividad microbiana.

La retención de humedad de los suelos permite la vida en el suelo, en las hojarascas existen muchos insectos benéficos como polinizadores y dentro de los 20 cm de suelo existen diversidad de poblaciones de grupos funcionales. Uno de las más abundantes como lo son lombrices que son los arquitectos de los suelos, esto demuestra que los sistemas agroforestales de cacao son similares a los bosques, las condiciones de suelo y la diversidad de vida que hay en ella pueden existir en éstos sistemas.

La humedad del suelo y que corresponde al porcentaje de saturación, crea las condiciones adecuadas para las lombrices que son consumidoras y mezcladoras del suelo, requieren de ambientes húmedos con un buen porcentaje de materia orgánica y proporción de Ca. La producción de excrementos, la mezcla de materiales y las

galerías dan condiciones al suelo con mayor porosidad y mejoran la infiltración del agua.

La mayoría de macroinvertebrados recolectados se encuentran dentro del filo de artrópodos (ver cuadro 5), que forman parte del grupo funcional de consumidores y descomponedores tales como; arácnidos, insectos, miriápodos y crustáceos. Estos artrópodos se alimentan otros seres vivos animal o vegetal, de tejidos muertos, humus y excrementos.

CONCLUSIONES

- a) De las 23 variables evaluadas para la calidad de suelo se seleccionó 7 (pH, Ca, Fe, Porosidad, % saturación de agua, Arena y Arcilla), quienes por medio del ACP presentaron mejor correlación y similitud en cuanto a distancias y una mayor proporción en la varianza total.
- b) Los cacaotales muestreados en la red experimental se encuentran de 212 msnm hasta 543 msnm, algunos con pendientes leves y otras con pendientes muy fuertes; los resultados obtenidos en las muestras de suelos demuestran que los elementos nutricionales disponibles en el suelo se encuentran entre los niveles óptimos y que cuentan con una riqueza de macrofauna que durante años ha influido en los procesos de descomposición.
- c) Dentro de las propiedades químicas evaluadas en los suelos de la región de Santa María Cahabón se ve claramente que el P se encuentra en bajas concentraciones (< 20 mg/kg) y está limitado para el cultivo de cacao, el pH varía (< a 6,5) de los rangos óptimos en algunas parcelas, esto imposibilita en parte la disponibilidad de P en los suelos.
- d) Las agrupaciones fueron obtenidas por el análisis de componentes principales y el análisis de conglomerados de acuerdo a las propiedades físicas y químicas de los 36 cacaotales y 4 bosques, se clasificaron en 6 grupos: A= Fe, pH (fincas: 1, 7, 8, 30b) con pH por debajo del adecuado o neutro y la relación con el Fe. En suelos ácidos existe mayor

- e) disponibilidad de Fe, el grupo B= % Porosidad (fincas: 3, 4, 5, 9, 18, 19, 27, 34 b), se encuentran dentro de un promedio adecuado, C = Arena y Arcilla (fincas: 2, 11, 20, 28, 29, 32, 33, 39b, 40), quienes se identifican con los suelos de textura franco arcillosa y arcillosa.
- f) El grupo D se relaciona con el Ca (fincas: 10, 12, 14, 15, 16, 17, 22, 24, 35, 36) superan moderadamente el promedio óptimo de 4 cmol/kg a 20 cmol/kg, el grupo E = % saturación de agua (fincas: 13, 21, 23, 25, 26, 31, 37, 38) algunos suelos sobrepasan un promedio de 30 % y puede haber problemas de encharcamiento o lavado y pérdida de nutrientes por erosión debido a la topografía de la región.
- g) El grupo F = Arena, en este último se encuentra el área de bosque con un suelo de textura franco arenosa que se diferencia de los demás suelos de los sistemas agroforestales de cacao y bosques que en su mayoría son franco arcillosos y arcillosos. Tres bosques no formaron un grupo independiente, esto es un indicador que los sistemas agroforestales de cacao son similares a los bosques, además estos sistemas también brindan servicios ambientales como la captura de C y preservan la vida para la calidad de los suelos. El bosque numero 6 formó un grupo aparte pues es el único que tiene un alto % de arena y contrasta con los demás datos físico-químicos.
- h) En los sistemas agroforestales de cacao, la diversidad y mayor densidad de macroinvertebrados es similar al sistema bosque además de las características físicas y químicas. La porosidad como resultado de la investigación es un buen indicador porque existe una relación entre porosidad y macroinvertebrados, habiendo mejores condiciones para la propagación de diferentes especies de macroinvertebrados que ayudan a la transformación y degradación de materiales inertes, logrando contabilizar 25 grupos funcionales y con una riqueza en promedio de 1 600 individuos por metro cuadrado.

RECOMENDACIONES

- a) Establecer sistemas agroforestales de cacao con una diversidad de especies forestales y frutales que aporten al suelo material vegetal, que pueda ser fácilmente degradable para obtener materia orgánica de calidad para los cultivos, además que aporte elementos necesarios como en el caso del madre cacao (*Glicidya sepium*) que aporta N al suelo, los aportes de las especies utilizadas de asocio, protección y sombra pueden contribuir con las propiedades físicas y químicas del suelo.
- b) Es necesario el aporte de abonos orgánicos ricos en P, las concentraciones son bajas en la mayoría de parcelas y la extracción de nutrientes de los sistemas agroforestales de cacao se pierden por las cosechas y podas; otra parte por erosión hídrica debida a las pendientes como parte de la topografía de la región, para evaluar los efectos en los rendimientos debidos a que agricultores de la región de Santa María Cahabón no aplican fertilizantes.
- c) Los efectos de la deforestación, quema y uso de herbicidas da como resultado la pérdida de flora y fauna en áreas de la región, provoca pérdidas de riqueza natural y nativa a comparación de los sistemas agroforestales de cacao se obtuvo un promedio de 1 600 individuos por metro cuadrado.
- d) Realizar enmiendas en suelos de cacaotales donde el pH es bajo para no provocar problemas en futuras cosechas. Además de poner mayor atención en cacaotales con pendientes muy pronunciados para trabajar técnicas de conservación de suelos.

- e) Evaluar el porcentaje de saturación de agua especialmente en el grupo F que sobrepasa el promedio y se relaciona con los suelos arcillosos de la región que tienen la capacidad de retener mayor cantidad, esto para observar si existen problemas de enfermedades y tomar medidas para evitar encharcamientos.

- f) El muestreo en los sistemas agroforestales de cacao se realizó en épocas de invierno, es necesario realizar un muestreo en épocas de verano para comparar los datos físicos y químicos, así como conocer la densidad de macrofauna.

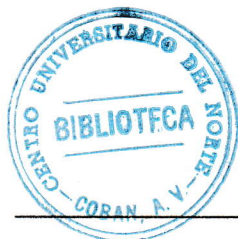
BIBLIOGRAFÍA

- Balzarini, Mónica. Et. Al. *Manual del usuario*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas, 2 008.
- Benito, José. *Paquete tecnológico de manejo integrado del cacao*. <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/9.pdf> (8 de octubre de 2 014).
- Beto, Pasan. *Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana*. <http://www.iiap.org.pe/publicaciones/folias12/articulo%205%20folia%2012pdf> (08 de febrero de 2 010).
- Buckman, Harry. Et.Al. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. España: Editorial Hispano Americana, 1 966.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza -CATIE-. *Proyecto Cacao Centroamerica*. <http://www.catie.ac.cr/guatemala> (8 de febrero de 2 010).
- Cerdas B., Rolando H. *Calidad de suelo en plantaciones de cacao (Theobroma cacao), banano (Musa AAA) y plátano ((Musa AAB) en el valle de Salamanca. Costa Rica*. Turrialba Costa Rica, 2 008.
- Cultivo del cacao*. www.infocafes.com/descargas/biblioteca/157.pdf. (10 de octubre de 2 014).
- Deheuvels, Olivier. Et. Al. *Protocolo de investigaciones*. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2 009.
- Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos*. http://www3.inecol.edu.mx/csmbgbd/images/stories/resultados_articulos_archivos/6%20DIVERSIDAD%20Y%20ROL%20FUNCIONAL%20DE%20LA%20MACROFAUNA%20EDAFICA.pdf. (5 de abril de 2 010).

- El suelo*. 2000. <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/suelos.html> (1 de abril de 2010).
- Fassbender, Hans. *Química de suelos*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1982.
- Forsythe, Warren. *Física de suelos*, San José de Costa Rica: Matilde de la Cruz M., 1975.
- Foth, Henry D. *Fundamentos de la ciencia del suelo*. México: Editorial Continental, 1987.
- Linares V., Dalia E. *Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en el parque nacional Tingo María, Huanuco Peru*. http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadeSolo/pdf/resumos/Poster_DaliaL.pdf (10 de marzo de 2010).
- Marcelo, G. Wilson, Et. Al. *Calidad del suelo: Indicadores de calidad del suelo*. 2007. http://www.inta.gov.ar/.../suelos/.../30222_051019_indi.htm (01 de abril de 2010).
- Muro, Elsa. *Calidad y salud del suelo*. 2014. <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/CalidadSalSuelo.htm> (27 de octubre de 2014).
- Navarro, Melba y Isidro Mendoza. *Cultivo del Cacao en sistemas agroforestales*. Managua, Nicaragua: snt., 2006.
- Nosti, N. Jaime, *Cacao: Café, té*. Barcelona Madrid España: Salvat Editores, 1963
- Paradis, Emmanuel. *R para principiantes*. Francia: snt., 2002.
- Philips, Wilbert y Rolando Cerda Bastillos. "Enfermedades del cacao en Centro América". 93., (2010): 24. Turrialba, Costa Rica: CATIE., 2010.
- Qué es la calidad de suelo: Calidad del suelo y sus indicadores*. 2004. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149> (5 de marzo de 2010).
- Rousseau, G.X., Deheuvels Et Al. Costa Rica. *indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage*. San José de Costa Rica: Asociación de Desarrollo Integral de la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, 2012.
- Rügnitz, Marcos, Et.Al., *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Brasil: snt., 2008.

Textura del suelo: Propiedades físicas del suelo. 2004, <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/FISICAS/fisicas.pdf> (5 de marzo de 2 010).

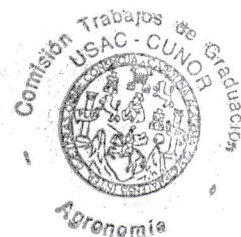
Thompson, Louis y Frederick Troeh. *Los suelos y su fertilidad.* España: Editorial Reverte, 1 980.



V.ºB.º

Adán García Véliz

Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa
BIBLIOTECARIO



ANEXO 1

TEXTURA DE SUELO DE 40 SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO DE CAHABÓN, A.V.



LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS.
 TEL: (506) 5582377. FAX (506)5582060. [Http://www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)

Nombre del Cliente: Proyecto PCC-CATIE.
Nombre Agricultor:
Dirección del sitio: Guatemala.
Tipo de muestra: Suelo.
Método Análisis: Granulometría por método de Bouyucos.
 Lectura Inicial: 40 segundos
 Lectura final: 2 horas

No. Reporte: NR10-055

No.	Identificación	Prof.	ARENA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA
Lab.		cm	%			
LS10- 1052	1 G1 AV	0-20	17,2	27,9	54,9	Arcilloso
LS10- 1053	2 G2 AV	0-20	45,2	31,9	22,9	Franco
LS10- 1054	3 G3 AV	0-20	35,2	29,8	35	Franco arcilloso
LS10- 1055	4 G4 AV	0-20	23,2	33,8	43	Arcilloso
LS10- 1056	5 G5 AV	0-20	35,2	33,8	31	Franco arcilloso
LS10- 1057	6 G6 AV	0-20	77,2	13,8	9	Franco arenoso
LS10- 1058	7 G7 AV	0-20	15,2	29,8	55	Arcilloso
LS10- 1059	8 G8 AV	0-20	13,2	35,8	51	Arcilloso
LS10- 1060	9 G9 AV	0-20	33,2	29,7	37,1	Franco arcilloso
LS10- 1061	10 G10 AV	0-20	37,2	33,7	29,1	Franco arcilloso
LS10- 1062	11 G11 AV	0-20	39,2	31,7	29,1	Franco arcilloso
LS10- 1063	12 G12 AV	0-20	37,2	27,8	35	Franco arcilloso
LS10- 1064	13 G13 AV	0-20	25,7	33,8	40,5	Arcilloso
LS10- 1065	14 G14 AV	0-20	35,7	29,8	34,5	Franco arcilloso
LS10- 1066	15 G15 AV	0-20	45,7	27,7	26,6	Franco
LS10- 1067	16 G16 AV	0-20	37,7	31,7	30,6	Franco arcilloso
LS10- 1068	17 G17 AV	0-20	39,7	31,7	28,6	Franco arcilloso
LS10- 1069	18 G18 AV	0-20	25,8	35,6	38,6	Franco arcilloso
LS10- 1070	19 G19 AV	0-20	31,7	39,7	28,6	Franco arcilloso
LS10- 1071	20 G20 AV	0-20	33,7	35,7	30,6	Franco arcilloso
LS10- 1072	21 G21 AV	0-20	31,7	31,7	36,6	Franco arcilloso
LS10- 1073	22 G22 AV	0-20	39,8	29,6	30,6	Franco arcilloso
LS10- 1074	23 G23 AV	0-20	21,8	29,6	48,6	Arcilloso
LS10- 1075	24 G24 AV	0-20	37,8	33,6	28,6	Franco arcilloso
LS10- 1076	25 G25 AV	0-20	29,5	35,6	34,9	Franco arcilloso
LS10- 1077	26 G26 AV	0-20	27,5	29,6	42,9	Arcilloso
LS10- 1078	27 G27 AV	0-20	25,5	29,6	44,9	Arcilloso
LS10- 1079	28 G28 AV	0-20	49,5	23,6	26,9	Franco arcillo-arenoso
LS10- 1080	29 G29 AV	0-20	33,5	27,6	38,9	Franco arcilloso
LS10- 1081	30 G30 AV	0-20	29,5	23,5	47	Arcilloso
LS10- 1082	31 G31 AV	0-20	29,5	39,5	31	Franco arcilloso
LS10- 1083	32 G32 AV	0-20	31,4	37,6	31	Franco arcilloso
LS10- 1084	33 G33 AV	0-20	33,4	33,6	33	Franco arcilloso
LS10- 1085	34 G34 AV	0-20	43,4	17,6	39	Franco arcilloso
LS10- 1086	35 G35 AV	0-20	34,8	35,5	29,7	Franco arcilloso
LS10- 1087	36 G36 AV	0-20	35,4	31,6	33	Franco arcilloso
LS10- 1088	37 G37 AV	0-20	32,9	35,6	31,5	Franco arcilloso
LS10- 1089	38 G38 AV	0-20	34,9	31,7	33,4	Franco arcilloso
LS10- 1090	39 G39 AV	0-20	34,8	31,7	33,5	Franco arcilloso
LS10- 1091	40 G40 AV	0-20	40,8	31,6	27,6	Franco arcilloso

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, CATIE Costa Rica.

ANEXO 2

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELO DE LOS 40 SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO DE CAHABÓN, A. V.



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS.
 TEL: (506) 25582377. FAX 25582060. [Http://www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)

Nombre del Cliente: Proyecto PCC-CATIE.

Nombre Agricultor:

Dirección del sitio:

Guatemala

Tipo de muestra:

Suelo.

Método Análisis:

Extracción en Olsen Modificado pH 8.5, para determinación de Cu, Zn, Mn, Fe, K y P.

Extracción en Cloruro de Potasio 1N para determinación de Ca, Mg y Acidez Intercambiable.

pH en agua.

Carbono y Nitrógeno total por combustión total en equipo autoanalizador Thermofinigan.

Carbono orgánico por combustión previa digestión de carbonatos con HCl 1+1.

No. Reporte: NR10-055

No.		Identificación	Prof.	pH	Acidez	Ca	Mg	K		P	Cu	Zn	Mn	Fe	N	C.T.
Laboratorio			cm	H ₂ O	cmol(+)/kg					mg/kg	mg/kg				%	%
LS10-	1052	1 G1 AV	0-20	5,34	1,16	10,56	8,93	1,12		2,2	7,2	7,5	25,5	174	0,26	3,09
LS10-	1053	2 G2 AV	0-20	6,11	0,07	17,68	8,37	0,44		5,5	1,6	4,3	8	67	0,22	2,68
LS10-	1054	3 G3 AV	0-20	6,2	0,05	17,33	1,57	1,01		4,6	2,4	4	4,2	70	0,32	3,93
LS10-	1055	4 G4 AV	0-20	5,87	0,1	15,33	7,44	0,79		5,5	4,5	6,7	24,1	102	0,22	2,6
LS10-	1056	5 G5 AV	0-20	6,03	0,08	20,91	1,68	0,25		1,8	2,1	2,8	12,9	68	0,23	3,08
LS10-	1057	6 G6 AV	0-20	7,3	0,1	46,44	3,3	0,16		3,7	0,7	2,1	3,2	16	1,12	15,29
LS10-	1058	7 G7 AV	0-20	5,19	0,33	8,59	4,16	0,4		1,8	5,7	5,9	28,3	171	0,26	2,88
LS10-	1059	8 G8 AV	0-20	5,63	0,14	9,74	5,59	0,38		1,5	5,3	5,7	27,2	145	0,22	2,63
LS10-	1060	9 G9 AV	0-20	5,84	0,05	10,15	2,27	0,38		1,6	2,4	3,2	12,5	66	0,24	3,16
LS10-	1061	10 G10 AV	0-20	7,72	0,06	24,1	3,03	0,38		11,8	2	2,4	4,9	31	0,2	3
LS10-	1062	11 G11 AV	0-20	6,31	0,05	19,55	3,87	0,46		8,1	2,5	3	11,3	67	0,23	2,47
LS10-	1063	12 G12 AV	0-20	7,1	0,05	25,3	5,3	0,35		5,8	3,1	6,5	17,3	36	0,21	2,62
LS10-	1064	13 G13 AV	0-20	5,85	0,09	22,42	3,78	0,32		4,5	2,3	2,6	17,9	63	0,19	2,19
LS10-	1065	14 G14 AV	0-20	6,32	0,05	25,5	3,61	0,37		5,3	2,9	3,9	25,8	53	0,32	3,65
LS10-	1066	15 G15 AV	0-20	6,29	0,05	20,89	4,7	0,39		4,4	2,2	2,6	32,6	52	0,31	3,74
LS10-	1067	16 G16 AV	0-20	6,34	0,05	20,63	4,68	0,46		4,2	2,4	3,6	30	42	0,28	3,25
LS10-	1068	17 G17 AV	0-20	6,24	0,05	21,83	4,6	0,39		9,7	2,9	3,6	21,7	72	0,28	3,41
LS10-	1069	18 G18 AV	0-20	5,87	0,06	17,22	9,56	0,19		2,3	3,6	4,7	29,7	84	0,29	3,92
LS10-	1070	19 G19 AV	0-20	5,97	0,08	18,16	12,16	0,09		1,1	3,5	1,8	15,5	67	0,23	3,31
LS10-	1071	20 G20 AV	0-20	5,86	0,09	17,42	11,81	0,06		1	4,1	2	22,2	55	0,19	2,95
LS10-	1072	21 G21 AV	0-20	5,8	0,24	12,51	8,44	0,54		6,3	2,9	4,3	40,7	83	0,18	1,89
LS10-	1073	22 G22 AV	0-20	6,14	0,08	21,73	5,29	0,31		5,4	2,3	2,5	29,4	58	0,23	2,74
LS10-	1074	23 G23 AV	0-20	5,6	0,24	17,85	4,19	0,3		1,9	4,3	4,9	64,3	96	0,29	3,02
LS10-	1075	24 G24 AV	0-20	6,17	0,05	20,22	6,14	0,47		2,9	3,3	3,5	31,7	53	0,23	2,83
LS10-	1076	25 G25 AV	0-20	5,76	0,08	18,78	4,35	0,17		2,2	5,2	4,2	29,3	66	0,24	2,84
LS10-	1077	26 G26 AV	0-20	5,77	0,11	19,05	8,53	0,48		2,1	4,8	3,6	22,9	55	0,2	2,34
LS10-	1078	27 G27 AV	0-20	5,94	0,05	10,96	8,36	1,05		2,4	6,5	10,3	24,1	114	0,27	3,21
LS10-	1079	28 G28 AV	0-20	5,78	0,1	21,75	5,35	0,29		1,1	2,3	2,7	12,4	49	0,2	2,15
LS10-	1080	29 G29 AV	0-20	5,53	0,17	18,49	7,09	0,52		3,6	3,3	1,9	10,6	59	0,23	2,52
LS10-	1081	30 G30 AV	0-20	4,84	2,79	6,57	5,1	0,3		1,9	4	3,9	51,8	184	0,33	3,98
LS10-	1082	31 G31 AV	0-20	5,95	0,05	19,89	8,34	0,64		3,7	3,2	5	17,3	57	0,31	3,75
LS10-	1083	32 G32 AV	0-20	5,99	0,05	25,13	5,68	0,55		2,7	3,3	3,7	16,1	51	0,33	3,76
LS10-	1084	33 G33 AV	0-20	5,99	0,12	23,99	4,8	0,26		1,7	2,6	1,8	15,7	53	0,24	2,64
LS10-	1085	34 G34 AV	0-20	5,66	0,08	14,4	2,09	0,08		0,9	2,6	3,4	23,2	96	0,5	5,74
LS10-	1086	35 G35 AV	0-20	5,9	0,05	23,65	4,99	0,37		6,6	3	5	11,1	82	0,3	3,69
LS10-	1087	36 G36 AV	0-20	6,2	0,05	26,48	4,54	0,38		7,4	3	4	7,9	40	0,22	2,43
LS10-	1088	37 G37 AV	0-20	5,9	0,07	22,29	4,17	0,25		2,8	2,9	3,4	25,5	63	0,19	2,11
LS10-	1089	38 G38 AV	0-20	6	0,06	0,2	0,22	0,38		2,3	2,7	3,3	8,6	79	0,19	2,32
LS10-	1090	39 G39 AV	0-20	6,19	0,06	26,85	3,56	0,16		1,5	3,4	2,5	11,6	42	0,23	2,58
LS10-	1091	40 G40 AV	0-20	5,98	0,12	22,59	3,7	0,17		1,5	2,7	3,1	18,7	39	0,18	1,83

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, CATIE Costa Rica.

ANEXO 3

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS 23 VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS, AUTO VALORES (VARIANZA)

Autovalores

Lambda	Valor	Proporción Prop	Acum
1	6,77	0,29	0,29
2	4,76	0,21	0,50
3	2,55	0,11	0,61
4	2,18	0,09	0,71
5	1,62	0,07	0,78
6	1,46	0,06	0,84
7	0,92	0,04	0,88
8	0,63	0,03	0,91
9	0,51	0,02	0,93
10	0,40	0,02	0,95
11	0,37	0,02	0,96
12	0,25	0,01	0,98
13	0,17	0,01	0,98
14	0,12	0,01	0,99
15	0,10	4,5E-03	0,99
16	0,08	3,4E-03	1,00
17	0,06	2,5E-03	1,00
18	0,03	1,5E-03	1,00
19	2,9E-03	1,2E-04	1,00
20	1,4E-03	5,9E-05	1,00
21	4,2E-04	1,8E-05	1,00
22	2,5E-11	1,1E-12	1,00
23	0,00	0,00	1,00

Fuente: Investigación de campo. 2010

ANEXO 4

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS 23 VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS, AUTO VECTORES

Autovectores

Variables	e1	e2
pH	0,24	0,26
Ca	0,21	0,30
Mg	-0,14	0,05
K	-0,21	0,06
P	0,02	0,33
Cu	-0,31	-0,06
Zn	-0,25	-0,02
Mn	-0,20	-0,03
Fe	-0,28	-0,22
KCaMg	0,15	0,31
N	0,25	-0,07
C	0,27	-0,08
C/N	0,14	-0,06
N/P	0,14	-0,30
Mg/K	0,06	-0,09
DA	-0,14	0,34
H2Op	-0,08	-0,01
H2Ov	-0,19	0,26
Poros	0,17	-0,34
Sat	-0,19	0,33
Arena	0,34	0,07
Limo	-0,16	0,16
Arcilla	-0,32	-0,18

Fuente: Investigación de campo. 2010

ANEXO 5

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS 7 VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS, AUTO VALORES (VARIANZA)

Autovalores

Lambda	Valor	Proporción	Prop	Acum
1	3,81	0,54		0,54
2	1,90	0,27		0,82
3	0,41	0,06		0,87
4	0,34	0,05		0,92
5	0,26	0,04		0,96
6	0,20	0,03		0,99
7	0,08	0,01		1,00

Autovectores

Variables	e1	e2
pH	-0,42	-0,14
Ca	-0,43	-0,01
Fe	0,45	0,19
Poros	-0,02	0,68
Sat	0,05	-0,67
Arena	-0,45	0,17
Arcilla	0,48	-0,04

Fuente: Investigación de campo. 2010

GALERIA DE FOTOS



Tomada por: Willy Mó. Año 2 010



Tomada por: Willy Mó. 2010



Tomada por: Willy Mó. Año 2 010



Tomada por: Willy Mó. Año 2 010





CUNOR

CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Universidad de San Carlos de Guatemala



15084

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:

"Calidad del suelo y macrofauna, de los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.), en el municipio de Chahabón del departamento de Alta Verapaz

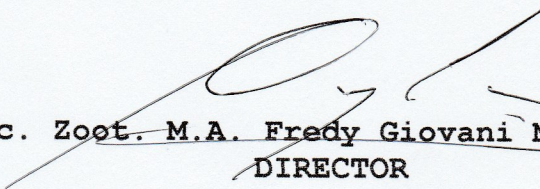
Presentado por el (la) estudiante:

Willy Estuardo Mó Coy

Autoriza el

IMPRIMASE

"Id y enseñad a todos"


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



Cobán, Alta Verapaz julio del 2015